

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Моделирование процессов разрушения

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Направленность образовательной программы

Информационное и программное обеспечение. Инженерия

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.16 Моделирование процессов разрушения относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
УК-2: Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1: Знать структуру жизненного цикла проекта УК-2.2: Уметь адаптировать жизненный цикл под специфику конкретных проектов УК-2.3: Владеть методами управления проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1: Знать: структуру жизненного цикла проекта, необходимые при исследовании экономических аспектов механики разрушения. УК-2.2: Уметь адаптировать жизненный цикл под специфику конкретных проектов при решении исследовательских задач механики разрушения. УК-2.3: Владеть методами управления проектом на всех этапах его жизненного цикла.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ОПК-1: Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики	ОПК-1.1: Знает основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук ОПК-1.2: Умеет формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения	ОПК-1.1: Знает основные вопросы механики разрушения. ОПК-1.2: Умеет формулировать, анализировать и решать задачи механики разрушения. ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	актуальных задач математики и механики			
ОПК-2: Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	ОПК-2.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования ОПК-2.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения задач профессиональной и научной деятельности на основе теоретических знаний в области математических и компьютерных наук ОПК-2.3: Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач профессиональной и научной деятельности	ОПК-2.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области моделирования процессов разрушения. ОПК-2.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения задач моделирования процессов разрушения. ОПК-2.3: Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач механики разрушения.	Практическое задание	Зачёт: Практическое задание
ПК-2: Способен анализировать поставленную задачу, использовать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах, реализовывать в них новые алгоритмы	ПК-2.1: Знает теоретические основы и методологию построения решений фундаментальных задач механики, основы информационных технологий ПК-2.2: Умеет самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач профессиональной деятельности ПК-2.3: Имеет практический опыт решения задач механики в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов	ПК-2.1: Знает теоретические основы и методологию построения решений фундаментальных задач механики разрушения. ПК-2.2: Умеет самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач механики разрушения. ПК-2.3: Имеет практический опыт решения задач механики разрушения в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов.	Практическое задание	Зачёт: Практическое задание

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Моделирования процесса накопления повреждений в композиционных материалах (с использованием блока CONCRETE системы ANSYS)	4		2	2	2
Моделирование разрушения на основе методов зоны связности	20		10	10	10
Моделирование процесса вязкого разрушения	20		10	10	10
Моделирование роста трещин в теле с использованием процедуры «рождения и умирания» элементов	7			0	7
Моделирование процесса разрушения и накопления повреждений в случае быстропотекающих процессов	20		10	10	10
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Моделирования процесса накопления повреждений в композиционных материалах (с использованием блока CONCRETE системы ANSYS): ознакомление с особенностями моделирования процесса накопления повреждений в неоднородных (армированных) материалах, на примере мостовой балки из железобетона в условиях статического нагружения. Особенности континуальной механики повреждений при описании накопления повреждений в анизотропных материалах. Условия возникновения повреждений. Условия разрушения. Моделирование появления повреждения. Проведение компьютерного моделирования с использованием КЭ системы (ANSYS).

2. Моделирование разрушения на основе методов зоны связности: ознакомление с особенностями моделирования процесса разрушения с использованием метода зоны связности. (Модель материала CZM в системе ANSYS). Случай мод 1 и 2. Случай смешанных мод. Учет пластичности материала. Модель Дагдейла. Проведение компьютерного моделирования с использованием КЭ системы (ANSYS).
3. Моделирование процесса вязкого разрушения: ознакомление с особенностями моделирования вязкого разрушения, определяемого зарождение и ростом пор. Модель пластичности Гурсона. Случаи роста, зарождения и взаимодействия пор (Модель материала GUR-SON (GURS) в системе ANSYS). Пример стального стержня в условиях одноосного растяжения. Проведение компьютерного моделирования с использованием КЭ системы (ANSYS).
4. Моделирование роста трещин в теле с использованием процедуры «рождения и умирания» элементов: ознакомление с особенностями компьютерного моделирования процесса роста трещин на примере балки в условиях четырехточечного асимметричного нагружения. Основные принципы моделирования роста трещин в методе конечных элементов. Процедура «рождения и умирания» элементов. Влияние размера сетки на моделирования процесса роста трещин. Особенности выбора способа определения направления роста трещины. Условия продвижения трещины. Условия статического и циклического нагружения. Проведение компьютерного моделирования с использованием КЭ системы (ANSYS)
5. Моделирование процесса разрушения и накопления повреждений в случае быстро протекающих процессов: Ознакомление с особенностями решения динамических задач в системах численного моделирования в рамках Лагранжева подхода (ANSYS AUTODYN). Ознакомление с методом гидродинамических сглаженных частиц (SPH). Моделирование поведения вязкого и хрупкого материалов при динамическом разрушении с использованием моделей Johnson-Cook и Johnson-Holmquist на примере задачи об исследовании баллистического предела материала. Проведение компьютерного моделирования с использованием системы (ANSYS AUTODYN).

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 2 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям лабораторного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лабораторного типа),
- лабораторные работы по компьютерному моделированию механических процессов с использованием пакетов прикладных программ (в течение семестра, студенты выполняют

лабораторные работы и сдают отчеты к каждому занятию),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (экзамен, зачет).

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-2:

Упругая задача

1. Растяжение пластины с центральной трещиной (образец типа1 по ГОСТ 25.506-85).
2. Растяжение плоского образца с двумя краевыми трещинами.
3. Трехточечный изгиб прямоугольного образца с краевой трещиной.
4. Растяжение плоского прямоугольного образца с одной краевой трещиной.
5. Внецентренное растяжение компактного образца.
6. Внецентренное растяжение С-образного образца.
7. Растяжение цилиндрического образца с кольцевой трещиной.
8. Растяжение пластины с боковой наклонной трещиной.
9. Растяжение пластины с наклонной фронтальной трещиной.
10. Проверка степени зависимости результатов расчета коэффициента интенсивности напряжений от размера конечно-элементной сетки.
11. Проверка степени зависимости результатов расчета коэффициента интенсивности напряжений от контура аппроксимации перемещения берегов трещины.
12. Проверка независимости J-интеграла от контура интегрирования.

Упругопластическая задача

1. Растяжение пластины с центральной трещиной (образец типа1 по ГОСТ 25.506-85).
2. Растяжение плоского образца с двумя краевыми трещинами.
3. Трехточечный изгиб прямоугольного образца с краевой трещиной.
4. Растяжение плоского прямоугольного образца с одной краевой трещиной.
5. Внецентренное растяжение компактного образца.
6. Внецентренное растяжение С-образного образца.
7. Растяжение цилиндрического образца с кольцевой трещиной.
8. Растяжение пластины с боковой наклонной трещиной.
9. Растяжение пластины с наклонной фронтальной трещиной.
10. Распределение J -интеграла вдоль фронта образца.
11. Обработка результатов испытаний по определению характеристик трещиностойкости на С-образных образцах малого размера.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

1. Что является предметом механики разрушения?
2. Какие критерии роста трещин вы знаете?
3. В чем заключается критерий Гриффитса?

4. Концентрация напряжений. Что такое коэффициент концентрации напряжений?
5. Опишите напряжённое и деформированное состояние в зоне раскрытия трещины.
6. Виды и классификация разрушений.
7. Влияние окружающей среды на разрушение. Теоретическая и техническая прочность. Влияние дислокационных механизмов.
8. Критерии прочности и пластичности. Эквивалентное напряжение. Теории прочности.
9. Напряжённое состояние в зоне разрушения. Типы трещин. Силовой подход в механике разрушения. Классическая и неклассическая схемы разрушения.
10. Решение Кирша. Решение Колосова — Инглиса. Коэффициент концентрации напряжений.
11. Задача Г.В. Колосова, Н.И. Мухелишвили, Г. Вестергарда.
12. Коэффициенты интенсивности напряжений. Силовой критерий Дж.Р. Ирвина начала роста трещины (разрушения). «Y — тарировки».
13. Основные положения теории Гриффитса.
14. Концепция Гриффитса-Орована-Ирвина.
15. Деформированное состояние в вершине трещины.
16. Пластическая зона при вершине трещины. Поправка Дж.Р. Ирвина на пластичность
17. Пластическая зона при вершине трещины. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла.
18. Пластическая зона при вершине трещины. Модель Хана-Розенфельда (условный предел текучести).
19. Раскрытие трещины.
20. Энергетические критерии разрушения. J-интеграл. Критерий Черепанова – Райса.
21. Экспериментальные методы определения критериев разрушения. Диаграмма разрушения. Критерий критического раскрытия трещины.
22. Расчеты на прочность при статическом нагружении.
23. Расчеты на прочность с учетом температурного фактора. Хрупкие разрушения.
24. Расчеты на прочность и живучесть при циклическом нагружении. Уравнение Пэриса.
25. Расчеты на прочность и живучесть при циклическом нагружении. Скорость развития трещин - как функция размаха КИН. Степенное уравнение Пэриса. Уравнение Формана. Уравнение Яремы.
26. Расчеты долговечности на стадии развития трещины (живучести).
27. Расчеты на прочность при длительном нагружении.
28. Управление сопротивлением разрушению строительных композиционных материалов. Способы торможения роста, развития и распространения трещин в материале.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Упругая задача

1. Растяжение пластины с центральной трещиной (образец типа 1 по ГОСТ 25.506-85).
2. Растяжение плоского образца с двумя краевыми трещинами.
3. Трехточечный изгиб прямоугольного образца с краевой трещиной.
4. Растяжение плоского прямоугольного образца с одной краевой трещиной.
5. Внецентренное растяжение компактного образца.
6. Внецентренное растяжение С-образного образца.
7. Растяжение цилиндрического образца с кольцевой трещиной.
8. Растяжение пластины с боковой наклонной трещиной.
9. Растяжение пластины с наклонной фронтальной трещиной.
10. Проверка степени зависимости результатов расчета коэффициента интенсивности напряжений от размера конечно-элементной сетки.
11. Проверка степени зависимости результатов расчета коэффициента интенсивности напряжений от контура аппроксимации перемещения берегов трещины.
12. Проверка независимости J-интеграла от контура интегрирования.

Упругопластическая задача

1. Растяжение пластины с центральной трещиной (образец типа 1 по ГОСТ 25.506-85).
2. Растяжение плоского образца с двумя краевыми трещинами.
3. Трехточечный изгиб прямоугольного образца с краевой трещиной.
4. Растяжение плоского прямоугольного образца с одной краевой трещиной.
5. Внецентренное растяжение компактного образца.
6. Внецентренное растяжение С-образного образца.
7. Растяжение цилиндрического образца с кольцевой трещиной.
8. Растяжение пластины с боковой наклонной трещиной.
9. Растяжение пластины с наклонной фронтальной трещиной.
10. Распределение J -интеграла вдоль фронта образца.
11. Обработка результатов испытаний по определению характеристик трещиностойкости на С-образных образцах малого размера.

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Механические характеристики материалов, определяемые при испытании на растяжение. Типы образцов. Способы измерения деформаций.
2. Характер разрушения пластичных и хрупких материалов при растяжении.
3. Диаграмма растяжения и деформирования. Условная и истинная диаграмма. Скорость деформирования в ходе эксперимента.
4. МнЦУ. Усталость материала. Выносливость материала. Характеристики для оценки сопротивления усталости.
5. МнЦУ. В чем разница между мягким и жестким нагружением? Основные параметры цикла нагружения. Методика определения предела выносливости.
6. МнЦУ. Понятие кривой усталости, ее параметры. Основные схемы нагружения образцов при усталостных испытаниях. Виды образцов.
7. МЦУ. Мягкое и жесткое нагружение. В чем разница между малоцикловым и многоцикловым нагружением? Почему малоцикловое нагружение называют статической выносливостью?
8. МЦУ. Упрочняющиеся, разупрочняющиеся и стабильные материалы к действию переменных нагрузок?

9. МЦУ. Конструктивные особенности образцов, используемым для малоцикловых испытаний при симметричном цикле нагружения при растяжении-сжатии. Основные параметры цикла нагружения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными недочетами и,	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				с недочетами		выполнены все задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции УК-2

Упругая задача

1. Растяжение пластины с центральной трещиной (образец типа1 по ГОСТ 25.506-85).
2. Растяжение плоского образца с двумя краевыми трещинами.
3. Трехточечный изгиб прямоугольного образца с краевой трещиной.

4. Растяжение плоского прямоугольного образца с одной краевой трещиной.
5. Внецентренное растяжение компактного образца.
6. Внецентренное растяжение С-образного образца.
7. Растяжение цилиндрического образца с кольцевой трещиной.
8. Растяжение пластины с боковой наклонной трещиной.
9. Растяжение пластины с наклонной фронтальной трещиной.
10. Проверка степени зависимости результатов расчета коэффициента интенсивности напряжений от размера конечно-элементной сетки.
11. Проверка степени зависимости результатов расчета коэффициента интенсивности напряжений от контура аппроксимации перемещения берегов трещины.
12. Проверка независимости J-интеграла от контура интегрирования.

Упругопластическая задача

1. Растяжение пластины с центральной трещиной (образец типа 1 по ГОСТ 25.506-85).
2. Растяжение плоского образца с двумя краевыми трещинами.
3. Трехточечный изгиб прямоугольного образца с краевой трещиной.
4. Растяжение плоского прямоугольного образца с одной краевой трещиной.
5. Внецентренное растяжение компактного образца.
6. Внецентренное растяжение С-образного образца.
7. Растяжение цилиндрического образца с кольцевой трещиной.
8. Растяжение пластины с боковой наклонной трещиной.
9. Растяжение пластины с наклонной фронтальной трещиной.
10. Распределение J-интеграла вдоль фронта образца.
11. Обработка результатов испытаний по определению характеристик трещиностойкости на С-образных образцах малого размера.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Виды и классификация разрушений.
2. Влияние окружающей среды на разрушение. Теоретическая и техническая прочность. Влияние дислокационных механизмов.
3. Критерии прочности и пластичности. Эквивалентное напряжение. Теории прочности.
4. Напряженное состояние в зоне разрушения. Типы трещин. Силовой подход в механике разрушения. Классическая и неклассическая схемы разрушения.
5. Решение Кирша. Решение Колосова — Инглиса. Коэффициент концентрации напряжений.
6. Задача Г.В. Колосова, Н.И. Мухелишвили, Г. Вестергарда.
7. Коэффициенты интенсивности напряжений. Силовой критерий Дж.Р. Ирвина начала роста трещины (разрушения). «Y — тарировки».
8. Основные положения теории Гриффитса.
9. Концепция Гриффитса-Орована-Ирвина.
10. Деформированное состояние в вершине трещины.
11. Пластическая зона при вершине трещины. Поправка Дж.Р. Ирвина на пластичность.
12. Пластическая зона при вершине трещины. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла.
13. Пластическая зона при вершине трещины. Модель Хана-Розенфельда (условный предел текучести).
14. Раскрытие трещины.
15. Энергетические критерии разрушения. J-интеграл. Критерий Черепанова – Райса.
16. Экспериментальные методы определения критериев разрушения. Диаграмма разрушения. Критерий критического раскрытия трещины.
17. Расчеты на прочность при статическом нагружении.

- 18.Расчеты на прочность с учетом температурного фактора. Хрупкие разрушения.
- 19.Расчеты на прочность и живучесть при циклическом нагружении. Уравнение Пэриса.
- 20.Расчеты на прочность и живучесть при циклическом нагружении. Скорость развития трещин - как функция размаха КИН. Степенное уравнение Пэриса. Уравнение Формана. Уравнение Яремы.
- 21.Расчеты долговечности на стадии развития трещины (живучести).
- 22.Расчеты на прочность при длительном нагружении.
- 23.Управление сопротивлением разрушению строительных композиционных материалов. Способы торможения роста, развития и распространения трещин в материале.
- 24.Механические характеристики материалов, определяемые при испытании на растяжение. Типы образцов. Способы измерения деформаций.
- 25.Характер разрушения пластичных и хрупких материалов при растяжении.
- 26.Диаграмма растяжения и деформирования. Условная и истинная диаграмма. Скорость деформирования в ходе эксперимента.
- 27.МнЦУ. Усталость материала. Выносливость материала. Характеристики для оценки сопротивления усталости.
- 28.МнЦУ. В чем разница между мягким и жестким нагружением? Основные параметры цикла нагружения. Методика определения предела выносливости.
- 29.МнЦУ. Понятие кривой усталости, ее параметры. Основные схемы нагружения образцов при усталостных испытаниях. Виды образцов.
- 30.МЦУ. Мягкое и жесткое нагружение. В чем разница между малоцикловым и многоцикловым нагружением? Почему малоцикловое нагружение называют статической выносливостью?
- 31.МЦУ. Упрочняющиеся, разупрочняющиеся и стабильные материалы к действию переменных нагрузок?
- 32.МЦУ. Конструктивные особенности образцов, используемых для малоцикловых испытаний при симметричном цикле нагружения при растяжении-сжатии. Основные параметры цикла нагружения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Механические характеристики материалов, определяемые при испытании на растяжение. Типы образцов. Способы измерения деформаций.
2. Характер разрушения пластичных и хрупких материалов при растяжении.
3. Диаграмма растяжения и деформирования. Условная и истинная диаграмма. Скорость деформирования в ходе эксперимента.

4. МнЦУ. Усталость материала. Выносливость материала. Характеристики для оценки сопротивления усталости.
5. МнЦУ. В чем разница между мягким и жестким нагружением? Основные параметры цикла нагружения. Методика определения предела выносливости.
6. МнЦУ. Понятие кривой усталости, ее параметры. Основные схемы нагружения образцов при усталостных испытаниях. Виды образцов.
7. МЦУ. Мягкое и жесткое нагружение. В чем разница между малоцикловым и многоцикловым нагружением? Почему малоцикловое нагружение называют статической выносливостью?
8. МЦУ. Упрочняющиеся, разупрочняющиеся и стабильные материалы к действию переменных нагрузок?
9. МЦУ. Конструктивные особенности образцов, используемых для малоцикловых испытаний при симметричном цикле нагружения при растяжении-сжатии. Основные параметры цикла нагружения.

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Механические характеристики материалов, определяемые при испытании на растяжение. Типы образцов. Способы измерения деформаций.
2. Характер разрушения пластичных и хрупких материалов при растяжении.
3. Диаграмма растяжения и деформирования. Условная и истинная диаграмма. Скорость деформирования в ходе эксперимента.
4. МнЦУ. Усталость материала. Выносливость материала. Характеристики для оценки сопротивления усталости.
5. МнЦУ. В чем разница между мягким и жестким нагружением? Основные параметры цикла нагружения. Методика определения предела выносливости.
6. МнЦУ. Понятие кривой усталости, ее параметры. Основные схемы нагружения образцов при усталостных испытаниях. Виды образцов.
7. МЦУ. Мягкое и жесткое нагружение. В чем разница между малоцикловым и многоцикловым нагружением? Почему малоцикловое нагружение называют статической выносливостью?
8. МЦУ. Упрочняющиеся, разупрочняющиеся и стабильные материалы к действию переменных нагрузок?
9. МЦУ. Конструктивные особенности образцов, используемых для малоцикловых испытаний при симметричном цикле нагружения при растяжении-сжатии. Основные параметры цикла нагружения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Нотт Дж. Основы механики разрушения / пер. с англ. Д. В. Лаптева ; под ред. В. Г. Кудряшова. - М. : Металлургия, 1978. - 256 с. : ил. - 1.70., 2 экз.
2. Броек Давид. Основы механики разрушения : [пер. с англ.]. - М. : Высшая школа, 1980. - 368 с. : ил. - 2.00., 2 экз.
3. Работнов Юрий Николаевич. Ползучесть элементов конструкций. - М. : Наука, 1966. - 725 с. : ил. - 3.06., 1 экз.
4. Качанов Лазарь Меерович. Основы механики разрушения. - М. : Наука, 1974. - 311 с. : ил. - 1.34., 3 экз.
5. Морозов Никита Федорович. Математические вопросы теории трещин. - М. : Наука, 1984. - 255 с. : ил. - 2.30., 3 экз.
6. Партон Владимир Залманович. Динамика хрупкого разрушения. - М. : Машиностроение, 1988. - 239 с. : ил. - ISBN 5-217-00031-7 (в пер.) : 2.80., 1 экз.
7. Морозов Евгений Михайлович. Метод конечных элементов в механике разрушения. - М. : Наука, 1980. - 254 с. : ил. - 2.40., 3 экз.
8. Берендеев Николай Николаевич. Сопротивление усталости. Основы : учебно-методическое пособие / Н. Н. Берендеев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 11 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=849908&idb=0>.
9. Берендеев Н. Н. Методы решения задач усталости в пакете ansys workbench : учебно-методическое пособие / Берендеев Н. Н. - 2-е изд., испр. и доп. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 73 с. - Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов ИНГУ, обучающихся по направлениям подготовки: 03.03.02 «Физика» и 03.04.02 «Физика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=783339&idb=0>.
10. Берендеев Николай Николаевич. Исследование влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы : учебно-методическое пособие / Н. Н. Берендеев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 50 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851269&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Казаков Дмитрий Александрович. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций : монография / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 1999. - 226 с. - 20.00., 1 экз.
2. Разрушение деформируемых сред при импульсных нагрузках : монография / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 1992. - 192 с. : ил. - ISBN 5-230-04163-3 : 0.00., 4 экз.
3. Левин Владимир Анатольевич. Избранные нелинейные задачи механики разрушения / под ред. В. А. Левина. - М. : Физматлит, 2004. - 408 с. - ISBN 5-9221-0514-0 : 51.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm>

1. MS PowerPoint

2. FEA пакет ANSYS

3. Морозов Е. М., Муйземнек А.Ю.,Щадский А. С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. Изд. 2-е, испр.М.: ЛЕНАНД, 2010. — 456 с.

<http://lib-bkm.ru/12903> , <https://ru.scribd.com/doc/313981973/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран). Терминал-класс.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

Автор(ы): Жегалов Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук

Кожанов Дмитрий Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.