

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»

Институт информационных технологий, математики и механики  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

решением Ученого совета ННГУ  
от 30.11.2022 г. протокол № 13

**Рабочая программа дисциплины**

**Моделирование процессов разрушения**

Уровень высшего образования

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**01.04.03 Механика и математическое моделирование**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Информационное и программное обеспечение. Инженерия**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.16, Моделирование процессов разрушения</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

## 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	
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.	Знать: структуру жизненного цикла проекта, необходимые при исследовании экономических аспектов механики разрушения. Уметь адаптировать жизненный цикл под специфику конкретных проектов при решении исследовательских задач механики разрушения Владеть методами управления проектом на всех этапах его жизненного цикла	
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	Знает основные вопросы механики разрушения.	собеседование
	ОПК-1.2. Умеет формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук.	Умеет формулировать, анализировать и решать задачи механики разрушения	собеседование
	ОПК-1.3 Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики.	Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач механики разрушения	собеседование
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.	Знает основные положения, терминологию и методологию в области моделирования процессов разрушения	Задача (практическое задание)
	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.	Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения задач моделирования процессов разрушения	Задача (практическое задание)
	ОПК-2.3. Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач профессиональной и	Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач	Задача (практическое задание)

	научной деятельности	механики разрушения	
ПК-2 Способен самостоятельно анализировать поставленную задачу, выбирать 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.	Знает теоретические основы и методологию построения решений фундаментальных задач механики разрушения Умеет самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач механики разрушения Имеет практический опыт решения задач механики разрушения в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов.	Задача (практическое задание)

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 з.е.</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
- занятия лекционного типа	
- занятия семинарского типа	
- занятия лабораторного типа	<b>32</b>
- текущий контроль (КСР)	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация – Зачет</b>	

#### 3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				СР <sup>1</sup> , часы
		из них				
		ЗЛеТ <sup>2</sup>	ЗСеТ <sup>3</sup>	ЗЛаТ <sup>4</sup>	Всего	
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					7
Моделирование процесса разрушения и накопления повреждений в случае быстропротекающих процессов	20			10	10	10
Текущий контроль (КСР)	1				1	
ИТОГО	72			32	33	39

Очная форма обучения				
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе		
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы		
		из них		
		ЗЛеТ <sup>2</sup>	ЗСеТ <sup>3</sup>	ЗЛаТ <sup>4</sup>
				Всего
<sup>1</sup> Самостоятельная работа обучающегося.				
<sup>2</sup> Занятия лекционного типа.				
<sup>3</sup> Занятия семинарского типа.				
<sup>4</sup> Занятия лабораторного типа.				

### *Краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)*

**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. Случай роста, зарождения и взаимодействия пор (Модель материала GURSON (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 занятия) 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 занятий) в форме практической подготовки отводится 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: разработки, анализа и внедрения эффективных алгоритмов и специализированных программных комплексов (разработки новых методов математического моделирования для решения задач механики разрушения).
- компетенций - УК-2; ОПК-1; ОПК-2; ПК-2.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лабораторного типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *задач (практических заданий)*, и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к экзамену.

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
<b>плохо</b>	<b>не зачтено</b>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
<b>удовлетворительно</b>	<b>зачтено</b>	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недо-
<b>хорошо</b>				

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
		негрубых ошибок	Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	четами.
очень хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
отлично		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
превосходно		Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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»
незачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Контрольные вопросы

№	Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1.	Виды и классификация разрушений.	ОПК-1
2.	Влияние окружающей среды на разрушение. Теоретическая и техническая прочность. Влияние дислокационных механизмов.	ОПК-1
3.	Критерии прочности и пластичности. Эквивалентное напряжение. Теории прочности.	ОПК-1
4.	Напряженное состояние в зоне разрушения. Типы трещин. Силовой подход в механике разрушения. Классическая и неклассическая схемы разрушения.	ОПК-1
5.	Решение Кирша. Решение Колосова — Инглиса. Коэффициент концентрации напряжений.	ОПК-1
6.	Задача Г.В. Колосова, Н.И. Мусхелишвили, Г. Вестергарда.	ОПК-1
7.	Коэффициенты интенсивности напряжений. Силовой критерий Дж.Р. Ирвина начала роста трещины (разрушения). «У — тарировки».	ОПК-1
8.	Основные положения теории Гриффитса.	ОПК-1
9.	Концепция Гриффитса-Орована-Ирвина.	ОПК-1
10.	Деформированное состояние в вершине трещины.	ОПК-1
11.	Пластическая зона при вершине трещины. Поправка Дж.Р. Ирвина на пластичность	ОПК-1
12.	Пластическая зона при вершине трещины. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла.	ОПК-1
13.	Пластическая зона при вершине трещины. Модель Хана-Розенфельда (условный предел текучести).	ОПК-1
14.	Раскрытие трещины.	ОПК-1
15.	Энергетические критерии разрушения. J-интеграл. Критерий Черепанова – Райса.	ОПК-1
16.	Экспериментальные методы определения критериев разрушения. Диаграмма разрушения. Критерий критического раскрытия трещины.	ОПК-1
17.	Расчеты на прочность при статическом нагружении.	ОПК-1
18.	Расчеты на прочность с учетом температурного фактора. Хрупкие разрушения.	ОПК-1
19.	Расчеты на прочность и живучесть при циклическом нагружении. Уравнение Пэриса.	ОПК-1
20.	Расчеты на прочность и живучесть при циклическом нагружении. Скорость развития трещин - как функция размаха КИН. Степенное уравне-	ОПК-1

№	Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
	ние Пэриса. Уравнение Формана. Уравнение Яремы.	
21.	Расчеты долговечности на стадии развития трещины (живучести).	ОПК-1
22.	Расчеты на прочность при длительном нагружении.	ОПК-1
23.	Управление сопротивлением разрушению строительных композиционных материалов. Способы торможения роста, развития и распространения трещин в материале.	ОПК-1
24.	Механические характеристики материалов, определяемые при испытании на растяжение. Типы образцов. Способы измерения деформаций.	ОПК-1
25.	Характер разрушения пластичных и хрупких материалов при растяжении.	ОПК-1
26.	Диаграмма растяжения и деформирования. Условная и истинная диаграмма. Скорость деформирования в ходе эксперимента.	ОПК-1
27.	МнЦУ. Усталость материала. Выносливость материала. Характеристики для оценки сопротивления усталости.	ОПК-1
28.	МнЦУ. В чем разница между мягким и жестким нагружением? Основные параметры цикла нагружения. Методика определения предела выносливости.	ОПК-1
29.	МнЦУ. Понятие кривой усталости, ее параметры. Основные схемы нагружения образцов при усталостных испытаниях. Виды образцов.	ОПК-1
30.	МЦУ. Мягкое и жесткое нагружение. В чем разница между малоцикловым и многоцикловым нагружением? Почему малоцикловое нагружение называют статической выносливостью?	ОПК-1
31.	МЦУ. Упрочняющиеся, разупрочняющиеся и стабильные материалы к действию переменных нагрузок?	ОПК-1
32.	МЦУ. Конструктивные особенности образцов, используемых для малоцикловых испытаний при симметричном цикле нагружения при растяжении-сжатии. Основные параметры цикла нагружения.	ОПК-1

### 5.2.2. Контрольные задания

Лабораторная работа: Моделирование развития поврежденной зоны в области пластины с круговым вырезом в условиях осевого растяжения.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Нотт Дж. - Основы механики разрушения. - М.: Металлургия, 1978. - 256 с. (2 экз.)
2. Брок Д. - Основы механики разрушения: [пер. с англ.]. - М.: Высшая школа, 1980. - 368 с. (2 экз.)
3. Работнов Ю. Н. - Ползучесть элементов конструкций. - М.: Наука, 1966. - 725 с. (1 экз.)
4. Качанов Л. М. - Основы механики разрушения. - М.: Наука, 1974. - 311 с. (5 экз.)
5. Морозов Н. Ф. - Математические вопросы теории трещин. - М.: Наука, 1984. - 255 с. (3 экз.)
6. Партон В. З., Борисковский В. Г. - Динамика хрупкого разрушения. - М.: Машиностроение, 1988. - 239 с. (1 экз.)
7. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. изд-ние 3-е. М.: УРСС книжный дом «Либроком», 2010. 256 с. (4 экз.)



8. "Сопротивление усталости. Основы" Учебно-методическое пособие 03.12.10  
<http://www.unn.ru/books/resources.html>
9. "Методы решения задач усталости в пакете ANSYS WORKBENCH" Учебно-методическое пособие. 06.03.13  
<http://www.unn.ru/books/resources.html>
10. "Исследование влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы". Электронное учебно-методическое пособие. 02.11.12  
<http://www.unn.ru/books/resources.html>

**б) дополнительная литература:**

7. Казаков Д. А., Капустин С. А., Коротких Ю. Г - Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций: монография. - Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1999. - 226 с. (1 экз.)
8. Разрушение деформируемых сред при импульсных нагрузках: монография./Глушак Б. Л., Новиков С. А., Рузанов А. И., Садырин А. И. - Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1992. - 192 с. (5 экз.)
9. Левин В.А. и др. Избранные нелинейные задачи механики разрушения. М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2004. 408 с.  
<https://e.lanbook.com/book/59369>
10. 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/>

**в) 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

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: 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 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

Автор

к.т.н., доцент Жегалов Д. В.

Заведующий кафедрой  
теоретической, компью-  
терной и эксперименталь-  
ной механики

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики  
от 30.11.2022 года, протокол № 3