

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

**Физический факультет**

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

Решением ученого совета ННГУ

протокол от

«30» ноября 2022 г. №13

## **Рабочая программа дисциплины**

**Специальные разделы механики твердого тела**

(наименование дисциплины)

**Уровень высшего образования**

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки**

**03.04.02 - Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы**

**Физика конденсированного состояния**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Квалификация (степень)**

**магистр**

(бакалавр / магистр / специалист)

**Форма обучения**

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород - 2023

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Специальные разделы механики твердого тела» (Б1.В.ДВ.06.04) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». Дисциплина является дисциплиной выбора для освоения на первом году обучения в магистратуре, в 1 семестре.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
Блок 1. Дисциплины (модули). Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.06.04 относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП направления подготовки 03.04.02 Физика

Целями освоения дисциплины являются:

- познакомить студентов с основными понятиями, законами и методами разрушения, научить использовать эти знания для решения задач, возникающих перед специалистами-материаловедами;
- научить описывать явления, протекающие в металлах и сплавах, а также в конструкциях, изготовленных из них, при деформационном воздействии на языке механики твердого тела с учетом наличия геометрических дефектов и конечных деформаций;
- научить эффективному использованию знаний в области теории ползучести и механики разрушения для решения практических задач по оценке состояния образцов, элементов конструкций и конструкций, выполненных из новых и перспективных материалов;
- выработать первичные навыки эффективной практической работы в современных пакетах прикладных программ, предназначенных для описания поведения изделий из материалов в условиях конечных деформаций с учетом фактора времени;
- выработать первичные навыки эффективной практической работы в современных пакетах прикладных программ, предназначенных для описания поведения изделий из материалов при условии наличия геометрических дефектов типа трещина;
- выработать навыки анализа результатов численного эксперимента, получаемых при исследовании сложных физических процессов.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1 Знание основных законов физики	31: Знать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики, необходимые для получения новых знаний и решения задач в области механики разрушения и теории ползучести.	Собеседование
		32: Знать теоретические основы механики разрушения и методов моделирования задач разрушения в механике	Собеседование

		сплошных сред. 33: Знать теоретические основы теории ползучести и методов моделирования задач ползучести и релаксации в механике сплошных сред. 34: Знать методы численного моделирования задач ползучести и разрушения, необходимые для получения новых знаний и решения задач в области проектирования перспективных материалов.	Собеседование  Собеседование Практические задания
	ПК-3.2 Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности	У1: Уметь соотносить знания различных разделов механики разрушения с профильными знаниями в области физического материаловедения, а также со знаниями в смежных областях. У2: Уметь использовать знания различных разделов механики разрушения для решения типовых (стандартных) задач в области механики твердого тела. У3: Уметь анализировать и обосновывать выбор оптимального решения задач механики разрушения и теории ползучести с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH. У4: Уметь применять навыки использования программного комплекса ANSYS WORKBENCH при самостоятельном решении научно исследовательских задач, выходящих за рамки курса.	Практические задания  Задачи Практические задания  Задачи Практические задания  Задачи Практические задания
	ПК-3.3 Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности	B1: Владеть методами, теориями и инструментарием разделов «Механика разрушения» и «Теория ползучести», базирующихся на различных разделах механики сплошных сред. B2: Владеть опытом	Задачи Практические задания  Задачи

		<p>постановок задач механики разрушения и теории ползучести с использованием численных дискретных моделей, построенных на основе метода конечных элементов.</p> <p>B3: Владеть способами постановок задач в конечных деформациях в рамках метода конечных элементов с применением современного программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p> <p>B4: Владеть способами постановок задач оценки трещиностойкости с использованием сингулярных конечных элементов в рамках современного программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p> <p>B5: Владеть способами постановок задач описания зарождения и роста трещин с использованием метода зоны связности в приложении для метода конечных элементов в рамках современного программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p> <p>B6: Владеть опытом решения задач в конечных деформациях в рамках метода конечных элементов с применением современного программного комплекса ANSYS WORKBENCH, в частности, при описании явлений ползучести и релаксации напряжений.</p> <p>B7: Владеть опытом решения задач оценки трещиностойкости в рамках современного программного комплекса ANSYS WORKBENCH с учетом смешанных мод разрушения.</p> <p>B8: Владеть опытом описания зарождения и роста трещин с</p>	<p>Практические задания</p> <p>Задачи Практические задания</p> <p>Задачи Практические задания</p> <p>Задачи Практические задания</p> <p>Задачи</p> <p>Задачи Практические задания</p> <p>Задачи Практические задания</p>
--	--	---	--



## **Краткое содержание основных разделов (тем) дисциплины «Специальные разделы механики твердого тела»**

### Тема 1. Теория ползучести

Кривые ползучести; механические модели деформируемого тела в наследственной теории ползучести; основные уравнения связи между напряжениями, деформациями и скоростями деформаций при линейном напряженном состоянии; законы ползучести и закономерности разрушения материалов при переменных температурах и напряжениях в условиях линейного напряженного состояния; основные уравнения теории ползучести в условиях сложного напряженного состояния; общие уравнения установившейся ползучести; основные уравнения и краевые задачи неуставившейся ползучести

Решение задач по различным разделам темы №1.

### Тема 2. Классическая механика разрушения

Теория Гриффитса; распределение напряжений и перемещений в окрестности кончика трещины; зона пластичности перед кончиком трещины, поправка Ирвина, модель Дагдейла, модель БКС, форма зоны пластичности; вязкость разрушения; R-кривые сопротивления росту трещины; комбинированное нагружение

Решение задач по различным разделам темы №2.

### Тема 3. Специальные разделы методов численного моделирования задач механики сплошных сред

Моделирование конечных деформации в методе конечных элементов; сингулярные конечные элементы; подход зоны связности при описании роста трещин

Решение задач по различным разделам темы №3.

Расчетно-графическая работа по теме №3.

В процессе изучения дисциплины «Основы механики твердого тела» используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения лекций, методы научной дискуссии. Лекции и семинарские занятия проводятся с использованием средств мультимедиа.

На практических занятиях применяются технологии интерактивного обучения, выполнение расчетно-графических работ с использованием современных пакетов конечно-элементного анализа, с презентацией полученных результатов (позволяющих получить компьютерные симуляции рассматриваемых физических процессов)

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий, включающих в себя использование современных пакетов конечно-элементного анализа.

В преподавании дисциплины (в части семинаров) активно используются интерактивные технологии групповой работы на практических занятиях, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) как индивидуально («преподаватель – студент»), так и в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений («преподаватель – группа студентов»). В ходе обсуждения преподаватель может высказывать конструктивные критические замечания к предлагаемым решениям, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого явления (обосновать сделанные выводы), а также предложить провести групповое обсуждение рассматриваемой проблемы и прийти к единому мнению.

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

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению расчетно-графических работ (практических занятий), анализ результатов, полученных в ходе выполнения проектов (расчетно-графических работ), а также решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на выполнение той части лабораторной работы, по которой имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике с установленным программным обеспечением ANSYS WORKBENCH.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине:

##### 5.1 Описание шкал оценивания

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
<b>Полнота знаний</b>	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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<b>Наличие умений</b>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения., Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<b>Наличие навыков (владение опытом)</b>	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
<b>Мотивация (личностное отношение)</b>	Полное отсутствие учебной активности и мотивации	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют	Учебная активность и мотивация низкие, слабо выражены, стремление решать задачи качественно	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на уровне выше среднего, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на высоком уровне	Учебная активность и мотивация проявляются на высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять все поставленные задачи на высоком уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на очень высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять нестандартные дополнительные задачи на высоком уровне качества

					уровне качества		
<b>Характеристика сформированности компетенции</b>	Компетенция в не сформирована. отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических (профессиональных) задач.
<b>Уровень сформированности компетенций</b>	Нулевой	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Очень высокий

Зачет-незачет по результатам сдачи отчета по проделанной расчетно-графической работе выставляется на основании следующих критериев:

<b>Оценка</b>	<b>Критерий выставления</b>
Зачет	<p>Отчет о проделанной расчетно-графической работе содержит ряд некритических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к расчетно-графической работе.</p> <p>При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по расчетно-графической работе) студент демонстрирует знание основного материала с рядом негрубых ошибок или погрешностей, наличие минимально необходимого множества навыков, понимание сути рассматриваемых процессов и явлений, умение обозначить проблемные ситуации, владение источниками, а также отвечает на большинство поставленных вопросов.</p> <p>В тексте отчета неправомерные заимствования отсутствуют.</p>
Незачет	<p>Отчет о проделанной расчетно-графической работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к расчетно-графической работе.</p> <p>При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по расчетно-графической работе) студент демонстрирует полное непонимание смысла проблем, присутствуют грубые ошибки в основном материале, студент не демонстрирует достаточно полное владение терминологией, а также отсутствуют один или несколько навыков, предусмотренных данной компетенцией.</p> <p>В тексте отчета встречаются элементы неправомерного заимствования, в том числе – текста расчетно-графических работ других студентов.</p>

При проверке отчета по расчетно-графической работе преподавателем оценивается:

- степень понимания целей работы;
- степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);
- качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;

- обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных экспериментальных результатов);
- умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;
- умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- тестирование (текущий контроль);
- индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются следующие процедуры и технологии:

- простые практические контрольные задания (задачи) (текущий контроль,);
- индивидуальная или групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль);

Для оценивания результатов обучения в виде владений (оценка навыков) используются следующие процедуры и технологии:

- комплексные практические задания (отчеты по расчетно-графическим работам) (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- практические контрольные задания повышенной сложности (факультативные задачи или практические задания) (текущий контроль).

Критерии и шкалы оценивания сформированности компетенций приведены в п.2.1 Фонда оценочных средств дисциплины «Основы механики твердого тела».

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

### 5.2.1 Типовые задачи

1. Дан плоский образец, выполненный из чистой меди, и находящийся в условиях низкотемпературной установившейся ползучести. Образец закреплен на одном торце, к другому торцу приложена растягивающая сила  $F$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние в образце через 5 часов после начала нагружения.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая низкотемпературной ползучести на стадии установившейся ползучести. Размеры образца  $100 \times 10 \times 20$  мм<sup>3</sup>. Сила  $F$  равна 2 кН. При расчетах рассмотреть случай как малых, так и конечных деформаций. Провести сравнение результатов.
2. Дан плоский образец, выполненный из титанового сплава ВТ1-0, и находящийся в условиях низкотемпературной неуставившейся ползучести. Образец закреплен на одном торце, к другому торцу приложена растягивающая сила  $F$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние в образце через 40 минут после начала нагружения.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая низкотемпературной ползучести на стадии неуставившейся ползучести. Размеры образца  $200 \times 10 \times 20$  мм<sup>3</sup>. Сила  $F$  равна 15 кН. При расчетах рассмотреть случай как малых, так и конечных деформаций. Провести сравнение результатов.
3. Дан круглый образец, выполненный из стали 09Г2С, и находящийся в условиях низкотемпературной ползучести. Образец закреплен на одном торце, к другому торцу приложена растягивающая сила  $F$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние в образце через 6 часов после начала нагружения.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая низкотемпературной ползучести. Размеры образца  $150 \times 10 \times 20$

мм<sup>3</sup>. Сила  $F$  равна 18 кН. При расчетах рассмотреть случай как малых, так и конечных деформаций. Провести сравнение результатов.

4. Дан круглый образец, выполненный из алюминиевого сплава АМг5, и находящийся в условиях высокотемпературной установившейся ползучести. Образец закреплен на одном торце, к другому торцу приложена растягивающая сила  $F$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние в образце через 5 часов после начала нагружения.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая высокотемпературной ползучести на стадии установившейся ползучести. Размеры образца 100×10×20 мм<sup>3</sup>. Сила  $F$  равна 5 кН. При расчетах рассмотреть случай как малых, так и конечных деформаций. Провести сравнение результатов.
5. Дан круглый образец, выполненный из титанового сплава ПТ7М, и находящийся в условиях высокотемпературной неустойчивой ползучести. Образец закреплен на одном торце, к другому торцу приложена растягивающая сила  $F$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние в образце через 40 минут после начала нагружения.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая высокотемпературной ползучести на стадии неустойчивой ползучести. Размеры образца 200×10×20 мм<sup>3</sup>. Сила  $F$  равна 20 кН. При расчетах рассмотреть случай как малых, так и конечных деформаций. Провести сравнение результатов.
6. Дан плоский образец, выполненный из стали 08Х18Н10Т, и находящийся в условиях высокотемпературной ползучести. Образец закреплен на одном торце, к другому торцу приложена растягивающая сила  $F$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние в образце через 6 часов после начала нагружения.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая высокотемпературной ползучести. Размеры образца 150×10×20 мм<sup>3</sup>. Сила  $F$  равна 18 кН. При расчетах рассмотреть случай как малых, так и конечных деформаций. Провести сравнение результатов.
7. Дан цилиндрический образец из чистой меди. Образец сжат до появления сжимающих осевых напряжений равных  $0.7\sigma_T$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние образца через 300 мин. После начала эксперимента.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая релаксации. Диаметр образца 10 мм, а высота 20 мм. Предел текучести материала равен 120 МПа.
8. Дан цилиндрический образец из алюминиевого сплава Д16Т. Образец сжат до появления сжимающих осевых напряжений равных  $0.8\sigma_T$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние образца через 400 мин. После начала эксперимента.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая релаксации. Диаметр образца 15 мм, а высота 30 мм. Предел текучести материала равен 320 МПа.
9. Дан цилиндрический образец из хромистой бронзы БрХ0,7. Образец сжат до появления сжимающих осевых напряжений равных  $0.95\sigma_T$ . *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH напряженно-деформированное состояние образца через 500 мин. После начала эксперимента.* При расчетах принять, что для материала образца известна экспериментальная кривая релаксации. Диаметр образца 2 мм, а высота 4 мм. Предел текучести материала равен 250 МПа.
10. Дан цилиндрический образец, выполненный из стали 09Г2С. В центре образца содержится внутренняя дискообразная трещина, лежащая в плоскости поперечного сечения образца. *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH коэффициенты интенсивности напряжений по первой, второй и третьей модам разрушения в вершине трещины.* При расчетах принять, что образец находится в состоянии растяжения. Сила, с которой растягивается образец, равна 5 кН. Длина образца равна его

шести диаметрам. Диаметр дискообразной трещина равен 0.5 диаметра образца. Диаметр образца равен 10 мм.

11. Дан цилиндрический образец, выполненный из стали 08X18H10T. В центре образца содержится внутренняя дискообразная трещина, лежащая в плоскости поперечного сечения образца. *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH коэффициенты интенсивности напряжений по первой, второй и третьей модам разрушения в вершине трещины.* При расчетах принять, что образец находится в состоянии чистого изгиба: один и торцов жестко зашпелен, а к другому приложен изгибающий момент 1 кНм. Длина образца равна его шести диаметрам. Диаметр дискообразной трещина равен 0.5 диаметра образца. Диаметр образца равен 15 мм.
12. Дан цилиндрический образец, выполненный из стали 40X. В центре образца содержится внутренняя дискообразная трещина, лежащая в плоскости, наклоненной под углом 45° к плоскости поперечного сечения образца. *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH коэффициенты интенсивности напряжений по первой, второй и третьей модам разрушения в вершине трещины.* При расчетах принять, что образец находится в состоянии растяжения. Сила, с которой растягивается образец, равна 10 кН. Длина образца равна его шести диаметрам. Диаметр дискообразной трещина равен 0.5 диаметра образца. Диаметр образца равен 20 мм.
13. Дан цилиндрический образец, выполненный из титанового сплава ПТ7М. В центре образца содержится внутренняя дискообразная трещина, лежащая в плоскости, наклоненной под углом 60° к плоскости поперечного сечения образца. *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH коэффициенты интенсивности напряжений по первой, второй и третьей модам разрушения в вершине трещины.* При расчетах принять, что образец находится в состоянии чистого изгиба: один и торцов жестко зашпелен, а к другому приложен изгибающий момент 1 кНм. Длина образца равна его шести диаметрам. Диаметр дискообразной трещина равен 0.3 диаметра образца. Диаметр образца равен 18 мм.
14. Дан цилиндрический образец, выполненный из стали 45. В центре образца содержится внутренняя дискообразная трещина, лежащая в плоскости осевого продольного сечения образца. *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH коэффициенты интенсивности напряжений по первой, второй и третьей модам разрушения в вершине трещины.* При расчетах принять, что образец находится в состоянии растяжения. Сила, с которой растягивается образец, равна 10 кН. Длина образца равна его шести диаметрам. Диаметр дискообразной трещина равен 0.4 диаметра образца. Диаметр образца равен 20 мм.
15. Дан цилиндрический образец, выполненный из технического чистого титана ВТ1-0. В центре образца содержится внутренняя дискообразная трещина, лежащая в плоскости осевого продольного сечения образца. *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH коэффициенты интенсивности напряжений по первой, второй и третьей модам разрушения в вершине трещины.* При расчетах принять, что образец находится в состоянии чистого изгиба: один и торцов жестко зашпелен, а к другому приложен изгибающий момент 2 кНм. Длина образца равна его шести диаметрам. Диаметр дискообразной трещина равен 0.5 диаметра образца. Диаметр образца равен 20 мм.
16. Дан цилиндрический образец, выполненный из алюминиевого сплава В95. В центре образца содержится внутренняя дискообразная трещина, лежащая в плоскости осевого продольного сечения образца. *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH коэффициенты интенсивности напряжений по первой, второй и третьей модам разрушения в вершине трещины.* При расчетах принять, что образец находится в состоянии сжатия. Сила, с которой сжимается образец, равна 3 кН. Длина образца равна его двум диаметрам. Диаметр дискообразной трещина равен 0.3 диаметра образца. Диаметр образца равен 24 мм.

17. Дана двойная консольная балка выполнения из стали 09Г2С. Свободные края консоли раздвигаются силам, приложенными по нормали к оси балки (в балке реализуется первая мода разрушения). *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH, применяя метод зоны связности, напряженное состояние в вершине трещины, а так же произошел ее рост или нет.* При моделировании воспользоваться специальными конечными элементами. Длина консоли в двойной консольной балке составляет 100 мм. Длина двойной консольной балки 200 мм. Ширина балки 10 мм, а высота 20 мм. Консольные фрагменты балки смещены на 15 мм каждый в свою сторону.
18. Дана двойная консольная балка выполнения из алюминиевого сплава АМг5. Свободные края консоли раздвигаются силам, приложенными вдоль оси балки (в балке реализуется вторая мода разрушения). *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH, применяя метод зоны связности, напряженное состояние в вершине трещины, а так же произошел ее рост или нет.* При моделировании воспользоваться специальными конечными элементами. Длина консоли в двойной консольной балке составляет 120 мм. Длина двойной консольной балки 200 мм. Ширина балки 10 мм, а высота 20 мм. Консольные фрагменты балки смещены на 15 мм каждый в свою сторону.
19. Дана двойная консольная балка выполнения из титанового сплава ПТ7М. Свободные края консоли раздвигаются силам, приложенными по нормали к оси балки и перпендикулярными к плоскости балки (в балке реализуется третья мода разрушения). *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH, применяя метод зоны связности, напряженное состояние в вершине трещины, а так же произошел ее рост или нет.* При моделировании воспользоваться специальными конечными элементами. Длина консоли в двойной консольной балке составляет 110 мм. Длина двойной консольной балки 200 мм. Ширина балки 10 мм, а высота 20 мм. Консольные фрагменты балки смещены на 15 мм каждый в свою сторону.
20. Дана двойная консольная балка выполнения из стали 08Х18Н10Т. Свободные края консоли раздвигаются силам, приложенными по нормали к оси балки (в балке реализуется первая мода разрушения). *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH, применяя метод зоны связности, напряженное состояние в вершине трещины, а так же произошел ее рост или нет.* При моделировании воспользоваться контактными конечными элементами. Длина консоли в двойной консольной балке составляет 100 мм. Длина двойной консольной балки 200 мм. Ширина балки 10 мм, а высота 20 мм. Консольные фрагменты балки смещены на 15 мм каждый в свою сторону.
21. Дана двойная консольная балка выполнения из алюминиевого сплава Д16Т. Свободные края консоли раздвигаются силам, приложенными вдоль оси балки (в балке реализуется вторая мода разрушения). *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH, применяя метод зоны связности, напряженное состояние в вершине трещины, а так же произошел ее рост или нет.* При моделировании воспользоваться контактными конечными элементами. Длина консоли в двойной консольной балке составляет 120 мм. Длина двойной консольной балки 200 мм. Ширина балки 10 мм, а высота 20 мм. Консольные фрагменты балки смещены на 15 мм каждый в свою сторону.
22. Дана двойная консольная балка выполнения из титанового сплава ВТ1-0. Свободные края консоли раздвигаются силам, приложенными по нормали к оси балки и перпендикулярными к плоскости балки (в балке реализуется третья мода разрушения). *Определить с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH, применяя метод зоны связности, напряженное состояние в вершине трещины, а так же произошел ее рост или нет.* При моделировании воспользоваться контактными конечными элементами. Использовать опцию смещенных мод разрушения. Длина консоли в двойной консольной балке составляет 80 мм. Длина двойной консольной балки 200 мм. Ширина балки 10 мм, а высота 20 мм. Консольные фрагменты балки смещены на 8 мм каждый в свою сторону.

### 5.2.2 Тематика расчетно-графических работ

1. Исследование напряженно-деформированного состояния образца типа двойная лопатка в условиях ползучести при наличии конечных деформаций
2. Моделирование процесса релаксации напряжений в стальном цилиндрическом образце, находящимся в состоянии осевого сжатия.
3. Моделирование условия распространения трещины и кинетики ее роста в случае анализа трещины в образце из керамического материала, испытываемого по схеме с балки с двойным кручением.

Полные контрольные задания для текущего и промежуточного (итогового) контроля сформированности компетенций приведены в п.3 Фонда оценочных средств дисциплины «Специальные разделы механики твердого тела».

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература

1. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1988. 712 с. [14 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
2. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. 744 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975. 400 с. [9 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 544 с. [Доступ через ЭБС EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Zenkevich1975ru.djvu>].
5. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Cherepanov1974ru.djvu>].
6. Нотт Дж. Основы механики разрушения. М.: Металлургия, 1978. 256 с. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Nott1978ru.djvu>]
7. Броек Д. Основы механики разрушения. М.: Высш. шк., 1980. 368 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
8. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. М.: Наука, 1990. 240 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
9. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 752 с. [Доступ через ЭБС EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Rabotnov1966ru.djvu>]
10. Разрушение/ по ред. Г. Либовиц. Т.2. М.: Мир, 1975. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
11. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошных сред. Практическое руководство, Под ред. А.К. Любимова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. 227 с. [55 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

### б) дополнительная литература

1. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. Справ. Пособ. /Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Киев: Наукова Думка, 1981. 496 с. [1 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/PisarenkoMozharovskij1981ru.djvu>].
2. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М.: Мир: 1984. 428 с. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
3. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. – М.: Мир, 1976. 464 с. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
4. Работнов Ю.В. Введение в механику разрушения. М.: Наука, 1987. 80 с. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Берендеев Н.Н. Исследование влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы/ Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний

Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. 50 с. [Доступ на сайте ННГУ: <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/ivuvtsvbk.pdf>]

6. Берендеев Н.Н. Методы решения задач усталости в пакете ANSYS WORKBENCH/ Электронное учебно- методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. 64 с. [Доступ на сайте ННГУ: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/mrzupaw.doc](http://www.unn.ru/books/met_files/mrzupaw.doc)]

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Для проведения семинарских занятий и выполнения лабораторных работ со стороны предоставляется доступ к компьютерам с установленным лицензионным пакетом ANSYS WORKBENCH.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 – Физика и с учетом рекомендаций ООП ВО направленности «Физика конденсированного состояния».

Автор к.ф.-м.н., доцент Берендеев Н.Н.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Рецензенты: зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от «17» ноября 2022 года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ

\_\_\_\_\_ / Перов А.А. /