

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ и ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Нижнетагильский технологический институт

УТВЕРЖДАЮ

Директор

В.В. Потанин

« 28 » 06 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
Программа аспирантуры Механика деформируемого твердого тела	Код ПА 1.1.8
Группа специальностей Математика и механика	Код 1.1
Федеральные государственные требования (ФГТ)	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951
Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» №315/03 от 31.03.2022

Нижний Тагил
2023 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение
1	Хмельников Е.А	д.т.н., доцент	заведующий кафедрой	Специальное машиностроение

Рекомендовано:

учебно-методическим советом Нижнетагильского технологического института

Протокол № 6 от 28.06.2023 г.

Председатель УМС института

согласовано в эл. виде

М.В. Миронова

Согласовано:

Начальник ОООД

согласовано в эл. виде

С.Е. Четвериков

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

1.1. Аннотация содержания дисциплины

Учебная дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» входит в блок «Дисциплины» образовательного компонента учебного плана и является обязательной дисциплиной подготовки аспирантов по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

При изучении данной дисциплины у аспирантов должны сформироваться компетенции, необходимые для научной и научно-педагогической деятельности в области механики и ее приложений в промышленности, а также знания, умения и владения, необходимые в дальнейшей профессиональной деятельности, в том числе и для успешной сдачи кандидатского экзамена по указанной научной специальности.

1.2. Язык реализации дисциплины - русский

1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- моделирование быстропротекающих процессов;
- физические особенности взрывных, детонационных, ударно-волновых и ударных процессов; основные закономерности, физико-математические модели и методики расчета взрывных и ударных процессов;
- критерии разрушения твердых тел;
- модели твердых тел и их применение при описании условий нагружения
- современные прикладные программы численного расчета параметров взрывных и ударных процессов;

Уметь:

- использовать математические методы, физические законы и химические закономерности для решения научных задач в области проектирования изделий с учетом экологических последствий;
- использовать при проектировании и объективно оценивать результаты исследований и разработок и информационные технологии;
- применять новые методы исследования в самостоятельной научно-исследовательской деятельности и в области профессиональной деятельности;
- применять современные прикладные программы численного расчета параметров быстропротекающих процессов;

Владеть:

- методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;
- навыками выбора конструктивных решений для выполнения поставленных задач;
- новыми методами исследования и их применением в самостоятельной научно-исследовательской деятельности при расчете параметров конструкции и действия, оптимизации параметров конструкции и оценки эффективности ее действия.

1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4

3.	Практические занятия	-	-	-
4.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104	15,6	104
5.	Промежуточная аттестация	Э	1	Э
6.	Общий объем по учебному плану, час.	108		108
7.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Структура твердых тел и типы их разрушения.	<p>Понятие сплошной среды (материального континуума). Гипотезы механики сплошных сред. Понятие о тензоре как математическом объекте. Тензоры 0-го, 1-го, 2-го и 3-го рангов, их структура, возможные формы представления через ковариантные, контрвариантные и смешанные компоненты. Симметричные и антисимметричные тензоры второго ранга. Фундаментальный метрический тензор. Силы в механике сплошных сред, теория напряжений.</p> <p>Вектор полного напряжения как мера интенсивности внутренних сил. Тензор напряжений как характеристика напряженного состояния в точке сплошной среды. Главные площадки, главные оси тензора напряжений, главные напряжения. Инварианты тензора напряжений - основные и производные (среднее напряжение и интенсивность напряжений). Шаровой тензор напряжений и девиатор тензора напряжений. Внешние силы: объемные и поверхностные. Граничные условия в напряжениях. Условия равновесия материального континуума в объеме тела.</p>
P2	Модели и критерии прочности твердых тел.	<p>Понятие модели деформируемой среды, физического и механического поведения сплошных сред, определяющие уравнения, физические соотношения. Физическое поведение деформируемых сред, уравнение состояния, свойство сжимаемости. Механическое поведение деформируемых сред, свойства упругости, пластичности, вязкости. Понятие о склерономных и реономных свойствах деформируемых сред, свойства - релаксации и последействия. Простые модели сплошных сред, их определяющие уравнения, физические соотношения, термодинамические особенности, примеры использования при моделировании взрывных и ударных процессов.</p> <p>Модель идеальной жидкости или идеального газа, частные случаи модели - баротропная жидкость, совершенный газ. Вязкая жидкость, закон Навье-Стокса. Идеально упругая среда - обобщенный закон Гука и его</p>

		<p>частные проявления. Модуль объемного сжатия, модуль сдвига, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и их взаимосвязь. Модель упругопластической среды. Идеализированные диаграммы механического поведения, идеальная упругопластическая среда, упругопластическая среда с упрочнением, жесткопластическая среда. Деформационная теория пластичности, прямые и обратные физические соотношения для процесса нагрузки упругопластической среды. Определяющие уравнения и физические соотношения для процесса разгрузки упругопластической среды. Условие пластичности и поверхность пластичности, критерий пластичности Мизеса. Теория пластического течения как более адекватная модель описания физико-механического поведения металлов при взрывном и ударном нагружении. Физические соотношения модели упругопластической среды по теории пластического течения, уравнения Прандтля-Рейсса. Соотношения Сен-Венана-Мизеса для несжимаемой жесткопластической среды как частный случай теории пластического течения.</p>
P3	Волны напряжений в твердых телах	<p>Упругие, пластические и ударные волны в твердых телах. Соотношения Ренкина - Гюгонио. Ударная адиабата. Волны Рэлея. Фазовые переходы в твердых телах, полиморфизм железа, температурный и ударный фазовые переходы в стали. Структура ударных волн и волн разгрузки в железе (стали). Образование ударной волны разрежения.</p>
P4	Основы теории макроскопического разрушения	<p>Критерии макроскопического разрушения. Понятие поврежденности. Кинетическое уравнение поврежденности. Принцип линейного суммирования повреждений. Интеграл накопления повреждений. Флуктуационная кинетическая теория прочности, принцип температурно-временной суперпозиции, функция долговечности Журкова. NAG- модель для процесса множественного разрушения. Критерии механики рассеянных повреждений. Концентрация напряжений в вершине хрупкой трещины. Основные принципы решения плоских задач линейной теории упругости. Напряженно-деформированное состояние в вершине трещины. Классические условия хрупкого разрушения и распространения трещин, условие Гриффитса, критерий Ирвина. Модели трещин с немалой концевой зоной. Кинематика хрупких трещин отрыва, предельная скорость распространения хрупкой трещины, ветвление трещин. Масштабный эффект энергетической и статистической природы при разрушении.</p>
P5	Механика вязкого разрушения и разрушения сколом	<p>Связь типов разрушения с механизмами распространения трещин. Феноменология вязкого разрушения для различных кристаллических решеток. Микромеханизм процесса вязкого разрушения для идеальной модели, влияние дефектов структуры,</p>

		образования и слияния пор. Роль пластической деформации при разрушении, модели Орована и Ирвина для хрупкого разрушения пластичных материалов. Работа пластической деформации как мера трещиностойкости материала. Модель упругопластической трещины Дагдейла. Характерные особенности и условия разрушения сколом. Влияние на разрушение сколом напряженного состояния, надреза. Дислокационные модели зарождения скола.
Р6	Динамическое разрушение твердых тел в волнах разрежения.	Построение профиля волны разрежения. Откольное разрушение в волнах разрежения. Откольная прочность материалов, ее характеристики. Критерии откольной прочности. Фазовые отколы. Механизмы процессов разгрузки от трещин при их зарождении и распространении. Классификация конструкций боеприпасов с точки зрения оценки прочности. Порядок оценки прочности изделий. Расчетная схема конструкции. Силы, действующие на боеприпасы при их функционировании. Напряженно-деформированное состояние конструкции. Оценка прочности конструкций в соответствии с выбранным критерием прочности.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Практические занятия

Не предусмотрено

3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

3.2.1. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Тема реферата аспиранту выдается с учетом тематики его диссертации и отрасли защиты. Выполненный реферат должен быть оформлен в виде отчета. Методические указания к выполнению реферата представлены в Приложении 1.

3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Индивидуальное задание выполняется в рамках выполнения самостоятельной работы – выполнении реферата и ряда практических работ. Тема реферата должна быть выбрана в соответствии с темой диссертации и отраслью защиты конкретного аспиранта и отражена в индивидуальном учебном плане (подробнее – в методических рекомендациях по выполнению реферата. Задание для моделирования в рамках практических работ преподаватель ставит в соответствии с темой диссертации (подробнее – в перечне тем и методических рекомендациях по выполнению практических работ).

Перечень тем и методические указания по выполнению индивидуальных работ представлены в Приложении 2.

4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
Личностные качества	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

4.4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.4.1. Перечень примерных вопросов для вступительного экзамена

Вопросы к экзамену

1. Механические явления в твердых телах.
2. Реальное строение металлических кристаллов.
3. Дефекты кристаллической решетки.
4. Теоретическая прочность материала. Уравнение Орована.
5. Классификация типов разрушения.
6. Теория напряжений. Тензор напряжений. Инварианты тензора напряжений.
7. Шаровой тензор и девиатор напряжений.
8. Интенсивность напряжений. Параметры Лоде-Надаи.
9. Теория деформаций. Соотношения Коши. Логарифмическая деформация.
10. Инварианты тензора деформаций. Девиатор деформаций. Интенсивность деформаций.
11. Тензор скорости деформаций.
12. Плоское напряжение и плоское деформированное состояние. Поверхность текучести.
13. Обобщенный закон упругости

14. Теории пластичности. Деформационная теория пластичности.
15. Теории пластичности. Теория пластического течения.
16. Уравнения Прандтля-Рейса.
17. Уравнения Леви- Мизеса
18. Ассоциированный закон течения.
19. Модели деформирования твердых тел. Упругое, упруго-пластическое, жестко-пластическое тело.
20. Модели вязких тел.
21. Явление релаксации. Упруго-вязкое релаксируемое тело. Идеально пластически-вязкое тело.
22. Факторы, влияющие на прочность и пластичность твердых тел.
23. Основные принципы построения критериев прочности и пластичности.
24. Классические критерии прочности. Критерий наибольших нормальных напряжений.
25. Критерий наибольших линейных деформаций.
26. Критерий наибольших касательных напряжений.
27. Критерий максимальной удельной энергии формоизменения.
28. Критерии прочности для материалов, неодинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию. Критерий Мора.
29. Критерий Баландина.
30. Критерий Смирнова-Аляева.
31. Критерий Шлейхера- Надаи. Критерий Давиденкова-Фримана.
32. Историческая справка по формированию критериев прочности.
33. Структурное упрочнение деформируемых твердых тел.
34. Деформационное упрочнение деформируемых твердых тел.
35. Концентрация напряжений
36. Напряженно-деформированное состояние в вершине трещины
37. Классические условия хрупкого разрушения и распространения трещин
38. Классические критерии Гриффитса и Ирвина.
39. Модели трещин с немалой концевой зоной. Модель хрупкой трещины Леонова — Панасюка.
40. Модели трещин с немалой концевой зоной. Модель хрупкой трещины Баренблатта.
41. Кинематика хрупких трещин отрыва
42. Масштабный эффект статистической и энергетической природы
43. Упругие и пластические ударные волны в твердых телах. Соотношения Ренкина – Гюгонио. Ударная адиабата.
44. Волны Рэлея.
45. Фазовые переходы в твердых телах, полиморфизм железа.
46. Температурный и ударный фазовый переход в стали. Структура ударных волн и волн разгрузки в металлах.
47. Связь типов разрушения с механизмами распространения трещин.
48. Микромеханизм процесса вязкого разрушения для идеальной модели, влияние дефектов структуры, образования и слияния пор.
49. Модели Орована и Ирвина для хрупкого разрушения пластичных материалов. Работа пластической деформации как мера трещиностойкости материала.
50. Модель упругопластической трещины Дагдейла. Характерные особенности и условия разрушения сколом. Влияние на разрушение сколом напряженного состояния, надреза.
51. Построение профиля волны разрежения. Откольное разрушение в волнах разрежения. Откольная прочность материалов, ее характеристики. Критерии откольной прочности. Фазовые отколы.
52. Механизмы процессов разгрузки от трещин при их зарождении и распространении.
53. Напряженно-деформированное состояние конструкции. Оценка прочности конструкций в соответствии с выбранным критерием прочности.

4.4.1. Перечень примерных вопросов для кандидатского экзамена

1. Механика и термодинамика сплошных сред

- 1.1. Понятие сплошной среды. Кинематика сплошной среды в переменных Эйлера и Лагранжа. Переход от координат Эйлера к координатам Лагранжа и обратно.
- 1.2. Деформация сплошной среды. Тензоры деформации Коши-Грина и Альманси, геометрический смысл компонент этих тензоров. Малые деформации и малые вращения среды. Условия совместности деформаций, формулы Чезаро.
- 1.3. Типы сил в механике сплошной среды: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Теория напряженного состояния, тензоры напряжений Коши и Пиолы-Кирхгофа. Геометрическая интерпретация напряженного состояния: круги Мора. Простейшие виды напряженных состояний.
- 1.4. Интегральная и дифференциальная форма законов сохранения массы, импульса, момента импульса и энергии.
- 1.5. Термодинамика сплошной среды. Работа, количество тепла, внутренняя энергия, температура и энтропия термодинамической системы. Первый и второй законы термодинамики.

2. Теория упругости

- 2.1. Упругая деформация твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела. Закон Гука для изотропного и анизотропного твердого тела. Тензор упругих модулей. Упругие модули изотропного тела, их механический смысл.
- 2.2. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами-Митчелла в напряжениях. Постановка краевых задач математической теории упругости. Теорема существования и единственности решения. Принцип Сен-Венана.
- 2.3. Общие теоремы теории упругости и вариационные принципы. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Теорема о минимуме потенциальной энергии деформаций (вариационный принцип Лагранжа). Теорема о минимуме дополнительной энергии (вариационный принцип Кастильяно).
- 2.4. Методы решения пространственных задач эластостатики. Действие сосредоточенной силы в неограниченной упругой среде. Тензор фундаментальных решений Грина. Задача Буссинеска.
- 2.5. Двумерные задачи эластостатики. Плоская деформация. Обобщенное плоское напряженное состояние. Функции напряжений Эри, краевая задача для функции напряжений. Метод комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили. Примеры решений.
- 2.6. Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы. Деформация срединной поверхности. Внутренние усилия и моменты. Граничные условия. Постановка задач теории пластин и оболочек. Безмоментная теория.
- 2.7. Температурные задачи теории упругости. Закон Дюамеля-Неймана. Система основных уравнений термоупругости. Методы решения задач термоупругости.
- 2.8. Динамические задачи теории упругости. Уравнения движения в форме Ламе. Типы упругих волн в неограниченной изотропной среде. Плоские гармонические волны.

3. Теория пластичности

- 3.1. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластичности. Дислокации. Локализация пластических деформаций. Линии Людерса-Чернова.
- 3.2. Модели идеального упругопластического и жесткопластического тела. Критерий текучести и поверхность текучести в пространстве напряжений. Критерий Треска, критерий Мизеса. Геометрическая интерпретация условий текучести в пространстве главных напряжений.
- 3.3. Модели упрочняющегося упругопластического и жесткопластического тела. Параметр упрочнения и поверхность нагружения.
- 3.4. Теория пластического течения. Принцип Мизеса, постулат Друккера. Ассоциированный закон течения. Краевые задачи теории течения.
- 3.5. Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры.

3.6. Кручение призматического тела за пределом упругости. Предельное состояние при кручении. Поверхность напряжений как поверхность естественного ската. Аналогия Прандтля-Надаи.

3.7. Пластическое плоское деформированное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей. Характеристики. Свойства линий скольжения. Задача Прандтля о вдавливании штампа.

3.8. Деформационная теория пластичности Генки-Ильюшина. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе под действием внутреннего давления.

3.9. Уругоупругие волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации.

4. Теория вязкоупругости и ползучести

4.1. Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Кельвина-Фойхта. Время релаксации.

4.2. Определяющие соотношения теории вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации.

4.3. Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерра, применение интегрального преобразования Лапласа.

4.4. Теории старения, течения, упрочнения и наследственности. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Определяющие соотношения.

5. Механика разрушения

5.1. Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Критерии разрушения. Критерии длительной и усталостной прочности. Коэффициент запаса.

5.2. Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Энергетический подход Гриффитса. Силовой подход в механике разрушения. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина.

5.3. Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Коэффициенты интенсивности напряжений, методы их вычисления и оценки. 5.4. J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса и его инвариантность. Вычисление потока энергии в вершину трещины.

5.5. Локализованное пластическое течение у вершины трещины. Модель трещины Леонова-Панасюка-Дагдейла с узкой зоной локализации пластических деформаций.

6. Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела

6.1. Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей дифференциальных уравнений теории упругости.

6.2. Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Методы Рэлея-Ритца и Бубнова-Галеркина в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии.

6.3. Метод конечных элементов в теории упругости. Пределы применимости метода конечных элементов.

6.4. Формула Соммильяны и метод граничных интегральных уравнений (метод граничных элементов).

6.5. Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности. Область влияния и область зависимости решения гиперболической краевой задачи.

6.6. Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Рекомендуемая литература

5.1.1. Основная литература

1. Мкртычев, О. В. Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг : учебное пособие по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика / О. В. Мкртычев, В. Б.

- Дорожинский. — Москва : МИСИ-МГСУ, ЭБС АСВ, 2021. — 66 с. — ISBN 978-5-7264-2872-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/110332.html> (дата обращения: 05.12.2022). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей
2. Прикладная механика. Основы конструирования : учебное пособие / Д. И. Чернявский, И. Ю. Лесняк, А. Н. Абакумов, Н. В. Захарова. — Омск : Омский государственный технический университет, 2021. — 148 с. — ISBN 978-5-8149-3264-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/124868.html> (дата обращения: 05.12.2022). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей
 3. Бабкин А. В. Прикладная механика сплошных сред : учебник для вузов : в 3 т. Т. 1 : Основы механики сплошных сред. — 4-е изд., испр. / А.В. Бабкин, В.В. Селиванов. - Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. - 255 с. - ISBN 978-5-7038-4947-7.
 4. Селиванов В. В. Прикладная механика сплошных сред : учебник для вузов : в 3 т. Т. 2 : Механика разрушения деформируемого тела. — 3-е изд., испр. / В.В. Селиванов. - Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. - 272 с. - ISBN 978-5-7038-4948-4.
 5. Бабкин А. В. Прикладная механика сплошных сред : учебник для вузов : в 3 т. Т. 3 : Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов. — 3-е изд., испр. / А. В. Бабкин, В. И. Колпаков, В. Н. Охитин, В. В. Селиванов. - Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. - 376 с. - ISBN 978-5-7038-4949-1.

5.1.2. Дополнительная литература

1. Роджер, Темам Математическое моделирование в механике сплошных сред / Темам Роджер, Миранвиль Ален ; под редакцией Г. М. Кобелькова ; перевод И. О. Арушанян. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 321 с. — ISBN 978-5-93208-542-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/89112.html> (дата обращения: 05.12.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Механика сплошных сред : учебно-методическое пособие / составители С. В. Кара-Мурза, Н. В. Корчикова, А. Г. Сильчева. — Луганск : Книта, 2021. — 120 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/111211.html> (дата обращения: 05.12.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Папуша, А. Н. Механика сплошных сред / А. Н. Папуша. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 688 с. — ISBN 978-5-4344-0715-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91963.html> (дата обращения: 05.12.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
4. Пивнев, П. П. Механика сплошных сред. Жидкости и газы : учебное пособие / П. П. Пивнев, С. П. Тарасов, А. П. Волощенко. — Ростов-на-Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. — 137 с. — ISBN 978-5-9275-3096-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/95791.html> (дата обращения: 05.12.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

5.2. Методические разработки

Не используются

5.3. Программное обеспечение

1. MathCad 15
2. Siemens NX 10
3. КОМПАС-3D V19
4. Master professional v1.03

5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Автоматизированные информационно-поисковые системы:

1. «Малый калибр»
2. «Средний калибр»
3. «Минометные мины»
4. «Боеприпасы ближнего боя»
5. «Неуправляемые ракеты»
6. «Неуправляемые авиационные средства поражения»
7. «Взрыватели»

5.5. Электронные образовательные ресурсы

1. Контракт № 111-06/2021 от 17.12.2021. ООО «НексМедиа» ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-42287 от 11.10.2010, свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620554 от 27.09.2010, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613851 от 18.05.2011). Доступ: 18.01.2022 по 17.01.2023
2. Контракт № 146-09/2022 от 20.10.2022. ООО «НексМедиа» ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-42287 от 11.10.2010, свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620554 от 27.09.2010, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613851 от 18.05.2011). Доступ: 18.01.2023 по 17.01.2024
3. Лицензионный договор № 9594/22П от 25.10.2022. ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа» Цифровой образовательный ресурс IPRsmart ЭБС IPRbooks (Электронно-библиотечная система IPRBOOKSHOP.RU) (свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022620333 от 10.02.2022; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021664034 от 27.08.2021). Доступ: 01.01.2023 по 01.01.2024
4. Антиплагиат: Лицензионный договор № РКТ-___/22/43-12/1460-2022 от 07.11.2022. Общество с ограниченной ответственностью «Национальный цифровой ресурс «Рукопт» (ООО «НЦР «Рукопт»). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программный комплекс для поиска текстовых заимствований «РУКОПТтекст» № 2016612522 от 01.03.2016). Доступ: 07.11.2022 по 06.11.2023.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

№ п\п	Вид занятий	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции Консультации Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и практического типа, групповых и индивидуальных консультаций	Парты (15 шт.), стулья (30 шт.), стол преподавательский (1 шт.), стул преподавательский (1 шт.) доска учебная меловая (2 шт.), демонстрационные материалы – стенды (20 шт.) Компьютерная техника: комплект переносного	Операционная система Microsoft Windows, офисный пакет Microsoft Office

			проекционного оборудования: ноутбук, проектор, проекционный экран.	
2	Самостоятельная работа студентов	Учебная аудитория для проведения практических занятий и выполнения курсовых работ/проектов. Зал ПЭВМ	Компьютер (8 шт.), стол компьютерный (8 шт.), стул компьютерный (8 шт.), стол для самостоятельной работы студента (2 шт.), стул (2 шт.), экран переносной (1 шт.), проектор переносной (1 шт.), принтер (3 шт.), сканер (2 шт.), демонстрационные материалы – плакаты (6 шт.)	Операционная система Microsoft Windows, офисный пакет Microsoft Линейка продуктов 3DMAX 2019, AutoCAD 2019, Inventor 2019 Средства разработки Microsoft Visual Studio .NET MathCad 15 Siemens NX 10 КОМПАС-3D V16 Master professional v1.03 Автоматизир. информ.-поисковые системы на опт. диске: "Малый калибр", "Средний калибр", Миномётные мины", "Боеприпасы ближн. боя", "Неупр. ракеты", "Неупр. авиационные ср-ва пораж.", "Взрыватели"

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РЕФЕРАТА

Реферат имеет своей целью показать, что аспирант имеет необходимые теоретические и практические знания по выбранному направлению своей научной деятельности, умеет аналитически работать с научной литературой, систематизировать материалы и делать обоснованные выводы. Реферат должен носить характер творческой самостоятельной научно-исследовательской работы. Изложение материала не должно ограничиваться лишь описательным подходом к раскрытию выбранной темы, но также должно отражать авторскую аналитическую оценку состояния исследуемой проблемы и собственную точку зрения на возможные варианты ее решения.

Реферат состоит из 3-х частей:

- введение (обоснование выбора темы, ее актуальность, основные цели и задачи исследования);

- основная часть состоит из 2-3 параграфов, в которых раскрывается суть исследуемой проблемы, оценка существующих в литературе основных теоретических подходов к ее решению, изложение собственного взгляда на проблему и пути ее решения и т.д.;

- заключение (краткая формулировка основных видов и результатов, полученных в ходе исследования).

Объем работы 25-30 страниц (формат А4) печатного текста (шрифт № 14 Times New Roman, через 1,5 интервала, поля: верхнее и нижнее - 2 см, левое - 2,5 см, правое - 1,5 см.). Текст может быть иллюстрирован таблицами, графиками, диаграммами, причем наиболее ценными из них являются те, что самостоятельно составлены автором. Громоздкие иллюстративные материалы должны даваться в составе приложения (Объем приложений не ограничивается, но в общий объем работы не засчитывается).

Необходимой частью реферата является список литературы, использованной в ходе работы над выбранной темой. Список составляется в соответствии с правилами библиографического описания (источники должны быть перечислены в алфавитной последовательности - по первым буквам фамилий авторов или по названиям сборников; необходимо указать место издания, название издательства, год издания). При выполнении работы нужно обязательно использовать книги, статьи, статистические сборники, фактическую информацию, материалы официальных сайтов Интернет. Ссылки на использованные источники, в том числе электронные – обязательны.

Реферат представляется на рецензирование в печатном и электронном виде. Работы, не соответствующие установленным требованиям или скачанные из Интернета, не принимаются. Реферат рецензируется.

**ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАБОТ**

Практическая работа №1 «Исследование объемного напряженного состояния в точке тела»
Напряженное состояние в точке тела задано девятью компонентами: (рис. 1).

Требуется:

- 1) определить и главные напряжения и проверить правильность их нахождения;
- 2) определить положение одной из главных площадок (вычислить направляющие косинусы нормали к этой площадке);
- 3) определить положения двух других главных площадок (вычислить направляющие косинусы нормалей к этим площадкам);
- 4) показать на схеме нормали к главным площадкам. Числовые данные взять из табл.1

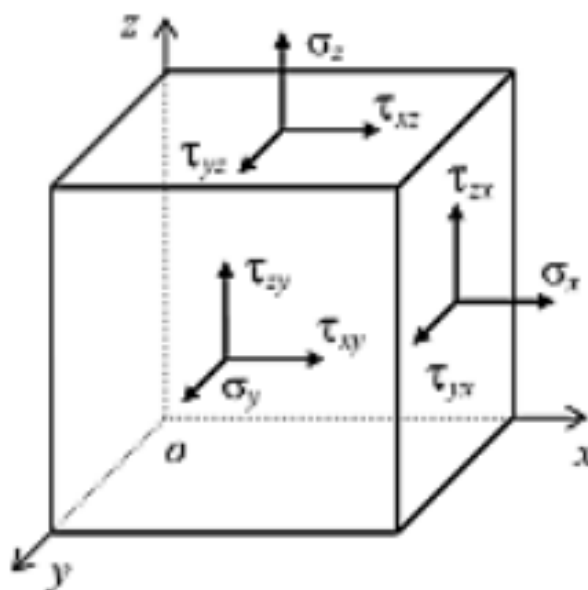


Рисунок 1.

Таблица 1.

Варианты	σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{xz}	τ_{yz}
1	30	-30	30	-30	30	-30
2	40	-40	40	-40	40	-40
3	50	-50	50	-50	50	-50
4	60	-60	60	-60	60	-60
5	70	-70	70	-70	70	-70
6	80	-80	80	-80	80	-80
7	90	-90	90	-90	90	-90
8	100	-100	100	-100	100	-100
9	110	-110	110	-110	110	-110
0	120	-120	120	-120	120	-120

Практическая работа №2 «Аналитическое и численное решение задачи о равновесии упругих тел».

Реализуется в форме практической подготовки. Привести аналитическое и/или численное решение задачи. Численное решение выполняется, в том числе с помощью САЕ-систем.

Примеры заданий: 1

1. Одноосное сжатие стержня (3D);
2. Одноосное растяжение стержня под собственным весом (3D);
3. Одноосное сжатие стержня под собственным весом (2D);
4. Чистый изгиб стержня (3D);
5. Кручение стержня (круглое сечение) (3D);

6. Решить задачу Ламе (2D);
7. Чистый изгиб стержня (2D). 8. Изгиб прямоугольной пластины (3D)
9. Изгиб круглых пластинок и т.д

Задача и параметры выдаются преподавателем в виде индивидуального задания в соответствии с выбранной темой диссертации.

Отчет по выполнению задания должен содержать:

- 1) Выбор математической модели твердого тела
- 2) Граничные условия
- 3) Схему нагружения
- 4) Выбор метода(-ов) решения
- 5) Аналитический и/или численный расчет поставленной задачи.
- 6) Анализ и интерпретацию полученного решения
- 7) Последовательность и результат расчета в одном из пакетов программ инженерного анализа.

Практическая работа №3 «Основные уравнения, методы решения задач и теоремы теории пластичности и ползучести»

Задание 1. Толстое кольцо (внутренний радиус a , внешний b) испытывает внутреннее равномерное радиальное давление p_a . Найти то значение p_a (предел пластического сопротивления кольца), при достижении которого вся труба вовлекается в пластическое состояние.

Задание 2. Найти кривую деформации обратной ползучести для стандартного линейного твердого тела при законе нагружения: σ_0 при $0 \leq t \leq 2t_0$ и при $t > 2t_0$.

Задание 3 Решение задачи чистого изгиба стержня в условиях ползучести.

Практическая работа №4 «Аналитическое и численное решение задач теории пластичности» Реализуется в форме практической подготовки. Привести аналитическое и/или численное решение задачи. Численное решение выполняется, в том числе с помощью CAE-систем. Задача и параметры выдаются преподавателем в виде индивидуального задания в соответствии с выбранной темой диссертации.

Примеры заданий:

1. Вдавливание плоского штампа в жесткопластическое полупространство.
2. Сжатие пластического слоя между двумя параллельными жесткими шероховатыми поверхностями (плитами).
3. Задача о нагружении толстостенной трубы внутренним давлением.
4. Тело с цилиндрической полостью, растягиваемое на бесконечности (решение Л.А. Галина).
5. Бесконечная пластинка с круговым отверстием, по контуру которого действует равномерное давление.
6. Растяжение полосы, ослабленной круговыми вырезами.
7. Кручение круглого стержня (вала) переменного диаметра.
8. Упругопластическое деформирование толстостенного цилиндра под действием переменного внутреннего давления и т.д

Отчет по выполнению задания должен содержать:

- 1) Выбор математической модели твердого тела
- 2) Граничные условия
- 3) Схему нагружения
- 4) Выбор метода(-ов) решения
- 5) Аналитический и/или численный расчет поставленной задачи.
- 6) Анализ и интерпретацию полученного решения
- 7) Последовательность и результат расчета в одном из пакетов программ инженерного анализа.