

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Ухтинский государственный технический университет»**  
**(УГТУ)**



**УТВЕРЖДАЮ**

Советник при ректорате по науке

*[Signature]* Д. А. Борейко

« 20 » марта 2024 г.

**ПРОГРАММА**  
**ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ ПО**  
**НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**  
**1.1.8. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Одобрено на заседании каф. механики, протокол № 10 от 26.03.2024 г.

Составитель программы:

Канд. техн. наук, доцент,  
Зав. каф. механики

*[Signature]*

В.Л. Савич

Доктор ф-м. наук,  
профессор,  
Профессор каф. механики

*[Signature]*

В.Г. Малинин

**СОГЛАСОВАНО:**  
Начальник НИЧ

*[Signature]*

М. А. Денисов

УХТА 2024

## Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: механика и термодинамика сплошных сред, теория упругости, теория пластичности, теория вязкоупругости, теория ползучести, механика разрушения, численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела.

### Форма и методы вступительных испытаний

Оценка освоения прохождения вступительных испытаний осуществляется с использованием следующих методов: подготовка ответов в письменном виде; собеседование во время вступительных испытаний по основным разделам механики деформируемого твердого тела.

Основной формой испытания является экзамен.

В рамках экзамена необходимо ответить на 2 теоретических вопроса и пройти собеседование.

Время экзамена — 90 минут.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

#### 1. Основы механики деформируемого твердого тела

1. Понятие сплошного тела. Основные принципы МДТТ. Деформация элемента сплошной среды.

2. Лагранжево и эйлерово описание деформаций и течения. Переход от Эйлерова описания к Лагранжеву и обратно.

3. Основные механические свойства твердых тел. Упругость, пластичность, вязкость.

4. Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы.

5. Тензор напряжений Коши. Понятие главных осей и главных напряжений. Круги напряжений Мора. Понятие девиатора и шарового тензора напряжений.

6. Условия пластичности и разрушения. Критерий Сен-Венана. Критерий Мизеса. Дифференциальные уравнения равновесия и движения.

7. Тензор деформации Коши-Грина. Геометрический смысл компонент тензора деформации Грина. Тензор деформации Альманси. Геометрический смысл компонент тензора деформации Альманси. Условия совместности деформаций. Формулировка условий совместности

деформаций в цилиндрической и сферической системе координат.

8. Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии.

9. Существующие теории прочности: их содержание и применение к решению инженерных задач.

## 2. Теория упругости

1. Упругое деформирование твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела. Упругие модули изотропного тела.

2. Основные задачи статики упругого тела. Основные уравнения. Прямая и обратная задачи теории упругости.

3. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами—Митчелла в напряжениях. Граничные условия. Постановка краевых задач математической теории упругости. Основные краевые задачи. Принцип Сен-Венана.

4. Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Плоская задача теории упругости. Метод комплексных потенциалов Колосова—Мусхелишвили. Комплексное представление напряжений и перемещений. Уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах. Смешанная задача для полуплоскости. Задача Гриффитса.

5. Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы. Полная система уравнений теории пластин и оболочек. Граничные условия. Постановка задач теории пластин и оболочек. Безмоментная теория. Краевые эффекты. Задача о круглой симметрично нагруженной пластине.

6. Фундаментальное решение динамических уравнений теории упругости для пространства. Плоские гармонические волны. Коэффициенты отражения, прохождения и трансформации. Полное отражение. Поверхностные волны Релея, Волны Лява.

7. Установившиеся колебания упругих тел. Частоты и формы собственных колебаний. Вариационный принцип Релея.

8. Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости.

## 3. Теория пластичности

1. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести.

Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения.

2. Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений.

Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения.

3. Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Функция нагружения, поверхность нагружения. Параметры упрочнения.

4. Законы связи между напряженным и деформированным состояниями в теории течения. Принцип Мизеса. Постулат Друккера. Ассоциированный закон пластического течения.

5. Краевые задачи теории течения. Теоремы единственности. Теория течения. Вариационные принципы теории течения.

6. Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры.

7. Пластическое плоское деформированное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей. Статически определимые и неопределимые задачи. Характеристики. Свойства линий скольжения. Методы решения основных краевых задач теории плоской пластической деформации.

8. Деформационные теории пластичности. Теория Генки. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке. Метод упругих решений.

9. Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара.

#### **4. Теория вязкоупругости и ползучести**

1. Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона. Время релаксации. Время запаздывания.

2. Определяющие соотношения теории вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации. Непрерывные ядра и ядра со слабой особенностью. Термодинамические ограничения на выбор ядер ползучести и релаксации.

3. Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы



решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерры, применение интегрального преобразования Лапласа, численные методы. Теорема о единственности решения.

4. Вариационные принципы в линейной вязкоупругости. Применение вариационного метода к задачам изгиба.

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

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СОБЕСЕДОВАНИЮ

### 5. Механика разрушения

1. Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений: растяжение упругой полуплоскости с круговым и эллиптическим отверстиями.

2. Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный. Критерии длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности.

3. Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Метод разложения по собственным функциям в задаче о построении асимптотик полей напряжений и перемещений у вершины трещины в упругом теле. Коэффициент интенсивности напряжений, методы его вычисления и оценки.

4. Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Энергетический подход Гриффитса в механике разрушения. Силовой подход в механике разрушения: модели Баренблатта и Ирвина. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина.

5. Динамическое распространение трещин. Динамический коэффициент интенсивности напряжений. Предельная скорость трещины хрупкого разрушения (теоретическая оценка и экспериментальные данные).

6. Локализованное пластическое течение у вершины трещины. Оценка линейного размера пластической зоны у вершины трещины по Ирвину. Модель трещины Леонова—Панасюка—Дагдейла с узкой зоной локализации пластических деформаций.

7. Кинетическая концепция прочности твердых тел. Формула Журкова. Кинетическая теория трещин. Рост трещин в условиях ползучести.

8. Понятие об усталостном разрушении. Малоцикловая и

многоцикловая усталость. Основные законы роста усталостных трещин.

### Список рекомендованной литературы

№№ п-п	Автор и наименование	Вид пособия	Год издания	Кол-во экз. в библиотеке
основная литература:				
ОЛ-1	<b>Лурье А. И.</b> Теория упругости / А. И. Лурье. - Москва : Наука, 1970. - 939 с	УП	1970	Библиотека кафедры механики, 213 Л <a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm</a>
ОЛ-2	<b>Биргер И.А., Мавлютов Р.Р.</b> Сопротивление материалов / И. А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. - Москва : Наука, 1986. - 560 с.	УП	1986; 2-изд. 2019	Библиотека кафедры механики, 213 Л <a href="http://allformgsu.ru/load/sopromat/soprotivlenie_materialov_birger_i_a_mavljutov_r_r/26-1-0-159">http://allformgsu.ru/load/sopromat/soprotivlenie_materialov_birger_i_a_mavljutov_r_r/26-1-0-159</a>
ОЛ-3	<b>Лихачев В.А., Малинин В.Г.</b> Структурно-аналитическая теория прочности / В. А. Лихачев, В.Г. Малинин. - СПб : Наука, 1993. - 471 с.	Др.	1993	Библиотека кафедры механики, 213 Л
ОЛ-4	<b>Самуль В.И.</b> Основы теории упругости и пластичности / В. И. Самуль. - М : «Высш. школа», 1970. - 288 с.	УП	1970; 2-е изд 1982	Библиотека кафедры механики, 213 Л
ОЛ-5	<b>Малинин Н.Н.</b> Прикладная теория пластичности и ползучести / Н. Н. Малинин. - М : «Машиностроение», 1975. - 400 с.	У	1975; 3-е изд. 2020.	<a href="https://lib-bkm.ru/11060">https://lib-bkm.ru/11060</a> ; <a href="http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm</a>
ОЛ-6	<b>Партон В.З., Морозов Е.М.</b> Механика упругопластического разрушения / В. З. Партон, Е.М. Морозов. - М : Наука, 1985. - 504 с.	Др.	1985; 3-е изд. 2008.	<a href="https://www.studmed.ru/parton-v3-morozov-em-mehanika-uprugoplasticheskogo-razrusheniya_436ca02a096.html">https://www.studmed.ru/parton-v3-morozov-em-mehanika-uprugoplasticheskogo-razrusheniya_436ca02a096.html</a>
ОЛ-7	<b>Партон В.З., Морозов Е.М.</b> Механика упругопластического разрушения: Специальные задачи механики разрушения / В. З. Партон, Е.М. Морозов. - М : ЛЕНАНД, 2017. - 192 с.	Др.	2017	Библиотека кафедры механики 213 Л
ОЛ-8	<b>Батышева А.И., Смолькина А.А.</b> Материаловедение и технология материалов: учеб. пособие / под ред. А.И. Батышева и А.А. Смолькина. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 288 с.	УП	2018	Режим доступа: <a href="http://znanium.com/catalog/product/946206">http://znanium.com/catalog/product/946206</a>

ОЛ-9	<b>Коптяева Г. Б.</b> Основы материаловедения: учебное пособие. - Ухта: Изд-во Ухтинского государственного технического университета, 2013. - 182 с.	УП	2013	46/ Режим доступа: <a href="http://lib.ugtu.net/book/13582">http://lib.ugtu.net/book/13582</a>
ОЛ-10	<b>Гадалов В. Н., Сальников В.Г. и др.</b> Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами : монография / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. — Москва : ИНФРА-М, 2018.	Др	2018	Режим доступа: <a href="https://znanium.com/catalog/product/944900">https://znanium.com/catalog/product/944900</a>
ОЛ-11	<b>Савич, В. Л., Малинин В.Г.</b> Теоретические основы расчетов прочности : учебное пособие / В. Л. Савич. – Ухта : Изд-во Ухтинского государственного технического университета, 2022.	УП	2022	Режим доступа: <a href="http://lib.ugtu.net/book/41912/">http://lib.ugtu.net/book/41912/</a>
нормативная литература:				
НЛ-1	<b>РД ЭО 1.1.2.05.0330-2012</b> Руководящий документ эксплуатирующей организации. Руководство по расчету на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК, ВВЭР и ЭГП на стадии эксплуатации, включая эксплуатацию за пределами проектного срока службы	НД	2012	<a href="https://www.studmed.ru/rd-eo-1-1-2-05-0330-2012-rukovodyaschiy-dokument-ekspluatiruyushey-organizacii-rukovodstvo-po-raschetu-na-prochnost-oborudovaniya-i-truboprovodov-reaktornyh-ustanovok-rbmk-vver-i-egp-na-stadii-ekspluatacii-vklyuchaya-ekspluatsiyu-za-predelami-proektnogo_fd5de4bd985.html">https://www.studmed.ru/rd-eo-1-1-2-05-0330-2012-rukovodyaschiy-dokument-ekspluatiruyushey-organizacii-rukovodstvo-po-raschetu-na-prochnost-oborudovaniya-i-truboprovodov-reaktornyh-ustanovok-rbmk-vver-i-egp-na-stadii-ekspluatacii-vklyuchaya-ekspluatsiyu-za-predelami-proektnogo_fd5de4bd985.html</a>
НЛ-2	<b>Еврокод 3</b> <b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b>	НД	2009	<a href="http://don-st.ru/wp-content/uploads/2015/05/ТКР_EN_1993-1-1-2009.pdf">http://don-st.ru/wp-content/uploads/2015/05/ТКР_EN_1993-1-1-2009.pdf</a>
дополнительная литература:				
ДЛ-1	<b>Попов А.С., Юнин Е.К.</b> Математические основы механики сплошной среды : Учеб. пособие / Е.К. Юнин, А.С. Попов. - Ухта : Изд-во УГТУ, 2006. - 48 с. : ил.	УП	2006	<a href="http://lib.ugtu.net/book/6392/">http://lib.ugtu.net/book/6392/</a>
ДЛ-2	<b>Атапин, В. Г.</b> Сопротивление материалов : учебник и практикум	у	2020	<a href="https://urait.ru/bcode/450626">https://urait.ru/bcode/450626</a>

	для вузов / В. Г. Атапин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 342 с. — (Высшее образование).			
ДЛ-3	Валишвили, Н.В. Сопротивление материалов и конструкций : учебник для вузов / Н.В. Валишвили, С. С. Гаврюшин. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 429 с. — (Высшее образование).	У	2020	<a href="https://urait.ru/viewer/s-oprotivlenie-materialov-i-konstrukciy-450893#page/2">https://urait.ru/viewer/s-oprotivlenie-materialov-i-konstrukciy-450893#page/2</a>
ДЛ-4	Александров, А.В. Сопротивление материалов в 2 ч. Часть 1 : / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин : под редакцией А. В. Александрова. — 9 изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 293 с. — (Высшее образование).	У	2020	<a href="https://urait.ru/viewer/s-oprotivlenie-materialov-v-2-ch-chast-1-450567#page/1">https://urait.ru/viewer/s-oprotivlenie-materialov-v-2-ch-chast-1-450567#page/1</a>
ДЛ-5	Малинин, Н.Н. Расчёты на ползучесть элементов машиностроительных конструкций : учебное пособие для вузов / Н.Н. Малинин. — 2-е изд., испр. доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 221 с. — (Высшее образование).	УП	2020	<a href="https://urait.ru/viewer/r-aschety-na-polzuchest-elementov-mashinostroitelnyh-konstrukciy-454132#page/2">https://urait.ru/viewer/r-aschety-na-polzuchest-elementov-mashinostroitelnyh-konstrukciy-454132#page/2</a>