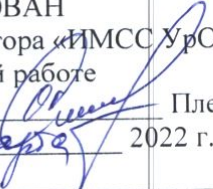





Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Пермский федеральный исследовательский центр  
Уральского отделения  
Российской академии наук

<p>СОГЛАСОВАН Зам.директора «ИМСС УрО РАН» по научной работе д.ф.-м. н.  Плехов О.А. «21»  2022 г.</p>	<p>Утверждаю Директор ПФИЦ УрО РАН академик РАН А.А. Барях  «21»  2022 г.</p>
--	---



**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**  
кандидатского экзамена по специальности 1.1.8.  
«МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА»

Пермь, 2022

Дополнительная программа является приложением к основной программе-минимуму кандидатского экзамена по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела. Дополнительная программа более глубоко раскрывает отдельные разделы МДТТ, получившие развитие в последние годы, в том числе отражающие научные направления «ИМСС УрО РАН». Программа разработана ведущими специалистами по механике деформируемого твердого тела «ИМСС УрО РАН».

### **1. Тензорное исчисление в механике сплошной среды**

Безиндексная запись тензорных выражений. Понятие тензора как линейного отображения векторного пространства на себя. Операции сложения, умножения, скалярного умножения, транспонирования тензоров. Тензорное произведение векторов. Внешнее произведение векторов. Дифференцирование векторной функции по векторному аргументу. Понятие единичного, обратного, симметричного, антисимметричного (кососимметричного), ортогонального, собственно ортогонального (поворота), положительно определенного и индифферентного тензоров. След тензора. Собственные векторы и собственные числа тензора. Инварианты тензора. Отсчетная и актуальная конфигурации. Градиенты вектора в отсчетной и актуальной конфигурациях. Дивергенция вектора и тензора в отсчетной и актуальной конфигурациях. Деформационный градиент. Полярное разложение деформационного градиента. Правый и левый тензоры растяжения. Правый и левый тензоры Коши-Грина. Кратности удлинения. Тензорные функции. Мера Генки. Тензор скоростей растяжения. Спин. Объективные производные тензоров. Контравариантные, ковариантные и смешанные компоненты тензоров. Физические компоненты. Символы Кристоффеля. Компонентная запись уравнений механики сплошной среды в криволинейной системе координат.

### **2. Принципы термодинамики**

Определяющие соотношения механики деформируемого твердого тела. Принцип детерминизма. Принцип локального действия. Принцип материальной независимости от системы отсчета. Дополнительные неравенства в теории упругости. Термодинамические процессы. Первый принцип термодинамики. Принцип физического равноправия всех инерциальных систем отсчета. Второй принцип термодинамики. Неравенство Клаузиуса-Дюгема. Приведенное неравенство диссипации. Невозможность создания вечных двигателей первого и второго рода.

Внутренняя энергия, свободная энергия и энтропия деформируемой сплошной среды. Дифференциальные модели деформируемого твердого тела. Интегральные модели. Материалы с наложенными связями. Несжимаемые среды.

Формулировка первого и второго принципов термодинамики для полярной среды. Формулировка первого и второго принципов термодинамики смеси континуумов. Баланс массы, уравнение движения и уравнение теплопроводности смеси континуумов.

#### **Литература к разделам 1 и 2**

1. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970.
2. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980.
3. Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М.: Мир, 1975.

4. Гольденблат И.И. Нелинейные проблемы теории упругости. М.: Наука, 1969.
5. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1, 2. М.: Наука, 1983, 1984.
6. Жилин П.А. Рациональная механика сплошных сред : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012.
7. Жилин П.А. Векторы и тензоры второго ранга в трехмерном пространстве. СПб.: Нестор, 2001.
8. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975.
9. Жермен П. Курс механики сплошных сред. Общая теория. М.: Высшая школа, 1983.

### **3. Теория устойчивости**

Концепция устойчивости упругих и вязкопластических систем. Устойчивость упругих и упругопластических сжатых стержней. Решений Эйлера, Энгессера, Кармана. Концепция устойчивости Шенли. Постановка задач об устойчивости стержней за пределом упругости в догружающихся и разгружающихся конструкциях Ильюшина, Зубчанинова. Методы временных поддерживающих систем и упругопластической тренировки для повышения устойчивости конструкций. Выпучивание стержней за пределом упругости при продольном изгибе.

Теория устойчивости оболочек и пластины в пределах и за пределом упругости. Теория устойчивости Ильюшина. Ее обобщение на случай использования частных теорий пластичности при сложном нагружении. Теории устойчивости оболочек и пластины за пределом упругости Зубчанинова при сложном нагружении. Бифуркации оболочек и пластины в условиях ползучести. Выпучивание и устойчивость сжатых элементов конструкций в условиях ползучести.

### **4. Механика композиционных материалов. Основы мезомеханики**

Механика армированного слоя. Микромеханика монослоя. Микромеханика упругих свойств монослоя. Микромеханика ползучести монослоя. Микромеханика кратковременной и длительной прочности. Диссипативные свойства монослоя. Термоупругие свойства слоистых композитов. Диссипативные свойства слоистых композитов. Свойства конструкционных композиционных материалов.

Мезомеханика структурно-неоднородных сред. Мезомеханика разрушения. Физическая мезомеханика материалов. Мезомеханика функциональных материалов с эффектом памяти формы. Структурно-аналитическая теория прочности Лихачева—Малинина. Структурно-аналитическая теория мезомеханики материалов.

### **5. Динамика неупругих сред**

Механические свойства материалов при динамических нагрузках. Влияние скорости деформирования на основные механические характеристики (предел текучести, предел прочности, остаточная деформация, диаграмма деформирования). Законы сохранения массы и импульса на фронте ударной волны. Ударная адиабата. Упрочнение металлов в ударных волнах и фазовые переходы. Структура ударных волн.

Модели упруго – вязкопластических сред. Распространение возмущений. Модель Рахматуллина – Кармана. Модель Соколовского – Малверна. Модель Пэжины. Модель Работнова – Суворовой. Модель Григоряна для грунтов. Распространение упруго - пластических волн в стержне. Прохождение волн через границу раздела двух сред.

Модели разрушения при ударно – волновом нагружении. Характерные особенности разрушения в ударных волнах. Тильный откол. Множественный откол. Разрушение при взаимодействии ударника с преградой (прокол, сдвиг пробки, образование лепестков). Приближенные способы описания механизмов разрушения преграды. Сопротивление преграды динамическому внедрению ударника при проколе.

#### **Литература к разделам 3, 4, 5**

- Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: Мир, 1987.  
Демидов С.П. Теория упругости. М.: Высш. шк., 1979.  
Зубчанинов В.Г. Механика сплошных деформируемых сред. Тверь: ТГТУ, 2000.  
Зубчанинов В.Г. Математическая теория пластичности. Тверь: ТГТУ, 2000.  
Ильюшин А.А. Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М.: Наука, 1970.  
Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. СПб.: Наука, 1993.  
Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1980.  
Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1974.  
Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966.  
Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988.  
Седов Л.И. Механика сплошной среды: В 2-х томах. М.: Наука, 1983, 1984.  
Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1990.  
Качанов Л.М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974.  
Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. М.: Мир, 1974.  
Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970.  
Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974.

#### **6. Экспериментальные методы механики деформируемого твердого тела**

Современная аппаратура для проведения исследований механических свойств деформируемых материалов. Измерительная аппаратура для получения данных по перемещениям. Датчики силы. Обработка экспериментальных данных. Природа экспериментальных ошибок. Систематические и случайные ошибки. Способы выявления и устранения систематических ошибок. Характеристики случайных ошибок. Аппаратура и образцы для исследования поведения материала при кручении, сдвиге, растяжении по двум осям. Измерение объемных изменений. Методы измерения комплексных динамических модулей. Усталостные испытания. Исследование ползучести. Использование температурно-временной аналогии при изучении релаксационных свойств полимерных материалов. Температурные испытания.

Аппаратура для получения информации о структуре материалов и ее изменении при деформировании. Оптические, электронные, атомно-силовые и туннельные микроскопы. Ядерный магнитный резонанс. Акустические методы. Датчики для осуществления измерений в точках конструкции. Тензометрирование моделей и конструкций. Методы лаковых и оптически чувствительных покрытий. Метод муаровых полос. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений.

#### **Литература к разделу 6**

- Кобаяси А. Экспериментальная механика. Книга 1 и 2. М.: Мир, 1990.  
Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М.: Мир, 1972.
-

- Адлер Ю.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.
- Деденко Л.Г., Керженцев В.В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. Изд-во МГУ, 1977.
- Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1981.
- Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. М.: Машиностроение, 1985.
- Герасимович А.И. Математическая статистика. М.: Высшая школа, 1983.
- Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. М.: Машиностроение, 1983.
- Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. Справочное пособие /под ред. Касаткина/. Киев.: Наукова думка, 1981.
- Соловьев В.А., Яхонтова В.Е. Элементарные методы обработки результатов измерений. Изд-во ЛГУ, 1977.
- Белл Дж. Экспериментальные основы механики деформируемого твердого тела. М.: Мир, 1984.
- Александров А.Я., Ахметзянов М.Х. Поляризациино-оптические методы механики деформируемого тела. М.: Наука, 1973.