

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

**УТВЕРЖДЕНА**

Решением научно-технического совета  
протокол № 1 от «24» января 2022 г.

Председатель НТС, первый проректор -  
проректор по научно-исследовательской  
работе \_\_\_\_\_ А.Б. Прокофьев

Ученый секретарь НТС \_\_\_\_\_ Л.В. Родионов



**ПРОГРАММА  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по научной специальности  
**1.1.8. Механика деформируемого твердого тела**

Самара 2022

## **РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ В МЕХАНИКУ СПЛОШНЫХ СРЕД**

### **Тема 1. Элементы тензорного анализа**

Криволинейные координаты. Ковариантные и контравариантные компоненты вектора. Понятие о тензоре. Метрический тензор. Дискриминантный тензор. Алгебра тензоров. Простейшие свойства тензоров. Дифференцирование координатных тензоров. Символы Кристоффеля. Ковариантное дифференцирование. Свойства ковариантного дифференцирования. Основные дифференциальные и интегральные операции. Ортогональные координаты. Физические компоненты тензоров (векторов). Симметричный тензор второго ранга. Главные направления, главные значения и инварианты.

### **Тема 2. Общие соотношения механики сплошных сред**

Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент. Два способа описания деформации сплошного тела. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Тензор деформации Грина. Геометрический смысл тензора деформации Грина. Вычисление тензора деформации Грина. Тензор деформации Альманси. Геометрический смысл тензора деформации Альманси. Вычисление тензора деформации Альманси. Условие совместности деформаций. Линеаризация тензоров деформаций и ее обоснование. Условие совместности малых деформаций. Формулировка условий совместности малых деформаций в цилиндрической и сферической системах координат. Вычисление тензоров малых деформаций по заданному полю перемещений. Формулы Чезаро. Распределение скоростей в элементе сплошного тела. Тензор скорости деформации. Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Теорема о существовании тензора напряжений. Тензоры напряжений Коши, Пиола и Кирхгофа. Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии. Понятие об определяющих уравнениях. Простейшие классические среды. Энергетически сопряженные пары напряжений и деформаций. Поверхности разрыва в сплошных средах. Кинематические и геометрические условия совместности. Формулировка законов сохранения на поверхностях разрыва. Постановка задач механики сплошных сред. Упрощенные постановки: установившиеся процессы, уменьшение размерности по координатам, учет симметрии, автомодельность, линеаризация, замена граничных условий. Анализ размерностей и П–теорема. Применение методов теории размерностей. Механическое подобие. Критерии механического подобия.

## **РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

### **Тема 1. Теория упругости**

Обобщенный закон Гука. Закон Гука для изотропного однородного тела. Упругие постоянные и связь между ними. Формула Клайперона и формула Кастильяно. Формула Бетти. Основные уравнения и задачи теории упругости. Основные уравнения статики упругого тела. Прямая и обратная задача теории упругости. Уравнения упругого равновесия в перемещениях. Общее решение уравнений в перемещениях. Основные уравнения теории упругости в напряжениях. Полуобратный метод Сен-Венана. Принцип Сен-Венана. Простейшие задачи теории упругости. Метод суперпозиции. Общие теоремы и вариационные принципы теории упругости. Теорема Клайперона. Теорема о единственности решения. Теорема Бетти. Вариационные

принципы. Принцип минимума потенциальной энергии. Принцип минимума дополнительной работы. Вариационный принцип Рейсснера. Метод Ритца. Метод Бубнова-Галеркина. Метод Канторовича. Метод Трэффца. Уравнения теории упругости в криволинейных координатах. Компоненты метрического тензора и символы Кристоффеля для некоторых ортогональных криволинейных координат. Уравнения в полярных координатах. Уравнения в цилиндрических координатах. Уравнения в сферических координатах. Кручение прямых брусьев. Постановка задачи и основные уравнения. Перемещения при кручении призматических брусьев и теорема о циркуляции касательного напряжения. Функция кручения. Теорема о максимуме касательного напряжения. Мембранная аналогия. Изгиб прямых брусьев. Постановка задачи и основные уравнения. Центр изгиба. Изгиб бруса эллиптического поперечного сечения. Изгиб бруса прямоугольного поперечного сечения. Плоская задача теории упругости. Плоская деформация. Функция напряжений. Плоское напряженное состояние. Обобщенное плоское напряженное состояние. Перемещения в плоской задаче. Теорема Леви-Мичелла. Представление бигармонической функции. Плоская задача в декартовых координатах. Плоская задача в полярных координатах. Комплексное представление функции напряжений. Комплексное представление компонент тензора напряжений (формулы Колосова-Мусхелишвили). Задача о всестороннем растяжении плоскости с круговым отверстием.

## **Тема 2. Теория пластичности**

Уравнения пластического состояния. Механические свойства твердых тел. Условия текучести. Поверхность и кривая текучести. Условие постоянства максимального касательного напряжения (условия Треска - Сен-Венана.) Условие постоянства интенсивности касательных напряжений (условие пластичности Мизеса). Условия упрочнения. Теория пластического течения. Деформационная теория пластичности. Ассоциированный закон пластического течения. Постулат Друкера. Уравнения упругопластического равновесия. Простейшие задачи. Остаточные деформации и напряжения. Полый шар под действием давления. Цилиндрическая труба под действием давления. Кручение призматических стержней. Основные уравнения. Пластическое кручение. Упругопластическое кручение. Плоская деформация. Лини скольжения и их свойства. Простые напряженные состояния. Осесимметричное поле. Растяжение полосы, ослабленной вырезами. Плоское напряженное состояние. Уравнения плоского напряженного состояния. Построение решений при условии текучести Мизеса. Упругопластическое равновесие пластины с круговым вырезом под действием равномерного давления. Растяжение полосы, ослабленной вырезами. Теория приспособляемости. Поведение упругопластических тел при переменных нагрузках. Теоремы приспособляемости упругопластических тел.

## **Тема 3. Теория ползучести и вязкоупругости**

Понятие упругости, пластичности и ползучести. Течение в твердых телах. Понятие о реологии материала, релаксации, диссипации механической энергии. Обзор реологических свойств и структуры различных материалов: полимеры, бетон, металлы. Вязкоупругие определяющие соотношения между напряжениями и деформациями. Простейшие модели упруговязкого тела. Модели Фойгта, Максвелла, Томпсона. Модели с жесткопластическими элементами. Диаграммы зависимостей напряжений от деформаций. Интегральная форма определяющих соотношений между напряжениями и деформациями. Свертка Стильтьеса. Гипотеза о затухающей памяти и различие между вязкоупругими телами и жидкостями. Дифференциально-операторная форма определяющих соотношений между напряжениями и деформациями. Характеристики релаксации и ползучести. Механические модели.

#### **Тема 4. Экспериментальные методы механики**

Механическое поведение материалов. Фотоупругость. Оптические методы исследования - раздел экспериментальных методов исследования в механике. Классификация методов. Историческая справка. Задачи, решаемые с помощью оптических методов. Некоторые примеры решения задач науки и техники. Метод муаровых полос. Сущность метода, его возможности, достоинства и недостатки. Классификация и разновидности метода: контактный и отражательный, теневой, и высокотемпературный муар. Техника проведения эксперимента. Расшифровка картины муаровых полос. Возможные источники погрешностей измерений и их анализ. Примеры решения задач.

Поляризационно-оптические методы исследования. Характеристики электромагнитных волн. Естественный, поляризованный, монохроматический свет. Способы получения поляризованного света. Экспериментальное обнаружение поляризованного света. Способы математического описания поляризованного света. Прохождение поляризованного света через оптически анизотропную среду. Двойное лучепреломление. Искусственная анизотропия. Теория пьезооптического эффекта. Закон Вертгейма. Методы расшифровки экспериментальных результатов, полученных поляризационно-оптическими методами. Возможные источники погрешностей измерений и их анализ. Примеры решения задач.

Когерентно-оптические методы исследования. Основы когерентной оптики - лазерное излучение. Голография, ее сущность и краткий исторический очерк развития. Работы Д. Габора, Э.Лейта, Упатниекса, Ю.Н.Денисюка. Основные свойства голограмм. Метод голографической интерферометрии. Основные способы получения и восстановления голограмм: метод реального времени и метод двух экспозиций, стробоскопический метод, метод усреднения во времени. Расшифровка голограмм. Причины и анализ погрешностей. Некоторые примеры. Спекл-интерферометрия. Сущность и возможности метода. Расшифровка спекл-интерферограмм. Причины и анализ погрешностей. Примеры решения.

#### **Тема 5. Механика разрушения**

Предмет механики разрушения. Возникновение механики разрушения: причины и истоки. Теоретическая и реальная прочность твердых тел. Первая модель тела с трещиной. Катастрофические разрушения твердых тел 40 – 50 годов прошлого века. Понятие о прочности твердых тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Виды дефектов в кристаллической решетке. Механизмы образования дислокационных микротрещин. Микромеханика. Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационные, энергетические, энтропийный. Всесторонне растяжение пластины с круговым отверстием. Одноосное растяжение пластины с круговым отверстием. Растяжение плоскости с эллиптическим отверстием. Концентрация напряжений в области сферической полости в поле чистого сдвига. Концентрация напряжений в области сферической полости в поле одноосного растяжения. Полубесконечная трещина. Решение методом разложения по собственным функциям – решение Уильямса. Простейшие задачи о напряженном состоянии упругого тела с трещиной. Метод комплексных потенциалов. Метод конформных отображений для получения точных решений задач о трещине в линейно упругом материале. Три независимых типа трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений. Коэффициент интенсивности напряжений и методы его расчета.

Энергетический критерий разрушения. Силовой критерий разрушения. Эквивалентность силового и энергетического критериев разрушения. Поток энергии в вершину трещины. Концепция квазихрупкого разрушения. Поправка Ирвина на пластическую деформацию. Область применимости линейной механики разрушения. Пространственные задачи механики разрушения. Напряженно-деформированное состояние окрестности вершины трещины. Эллиптическая трещина в бесконечном теле, нагруженном одноосным растяжением. Эллиптическая трещина в бесконечном теле при чистом изгибе. Метод объемных сил Эшелби в трехмерных задачах. Влияние физической нелинейности (Сингулярное решение Хатчинсона-Райса-Розенгрена). Пластическая область в вершине трещины в упругопластическом материале. Метод годографа Нейбера-Райса (антиплоский сдвиг полубесконечной трещины в упрочняющемся упругопластическом теле). Концепция маломасштабного пластического течения. Построение высших приближений с помощью метода годографа. Инвариантный J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса. Локализованная пластичность. Трещина антиплоского сдвига в идеальнопластическом теле. Напряжения в окрестности вершины трещины нормального отрыва в условиях плоского деформированного и плоского напряженного состояния в идеально пластическом материале. Узкая зона локализации пластических деформаций у вершины трещины нормального отрыва в условиях плоского напряженного состояния. Модель трещины Леонова – Панасюка – Дагдейла. Модификации модели Дагдейла. Разгрузка трещины Дагдейла. Повторное нагружение трещины Дагдейла. Особенности усталостного разрушения. Эксперименты Велера. Многоцикловая и малоцикловая усталость. Виды циклического нагружения при лабораторных испытаниях. Исследование скорости распространения усталостных трещин. Формула Париса. Усталостная долговечность. Пластические зоны у вершины трещины при перегрузке. Асимптотический анализ усталостного роста трещины в среде с поврежденностью в связанной постановке (в связке упругость – поврежденность).

### **Тема 6. Трещины в условиях ползучести**

Трещины в условиях ползучести. Феноменологические уравнения теории установившейся ползучести. Инвариантный  $S^*$  - интеграл. Трещины в средах с дробно-линейным определяющим законом. Трещина антиплоского сдвига. (Решение методом разложения по собственным функциям. Решение методом годографа). Асимптотика напряжений у вершины стационарной трещины в упругом нелинейно вязком теле. Асимптотическое исследование полей напряжений и скоростей деформаций у вершины растущей трещины в условиях ползучести (решение Хьюи - Риделя).

### **Тема 7. Накопление повреждений при разрушении**

Модель Качанова-Работнова. Параметр поврежденности (сплошности). Эффективные напряжения. Связанная постановка (ползучесть-поврежденность) в задачах о трещинах. Влияние поврежденности материала на напряженно-деформированное состояние в окрестности вершины растущей трещины при ползучести. Распределение напряжений и поврежденности у вершины растущей в процессе ползучести трещины. Усталостный рост трещины в среде с поврежденностью. Автомодельная переменная Риделя в задаче о трещине в среде с поврежденностью. Автомодельное решение связанной задачи о трещине антиплоского сдвига. Автомодельное решение связанной задачи о трещине нормального отрыва. Тензор и тензорная мера поврежденности. Математическая модель трехмерного анизотропного состояния поврежденности.

## **Тема 8. Использование конечно-элементного пакета Simulia ABAQUS для решения задач механики деформируемого твердого тела**

Структура CAE-интерфейса. Моделирование статической линейной задачи для двумерного объекта на примере консольно закрепленной балки. Моделирование статической линейной задачи для трехмерного объекта на примере изгиба консольно-закрепленной балки. Использование различных типов элементов. Изменение параметров сетки. Моделирование различных типов материалов (изотропные, ортотропные, слоистые, гиперэластичные) на примере изгиба консольно-закрепленной балки. Задание пределов пропорциональности и прочности, переход к нелинейной статической задаче. Моделирование динамической задачи на примере свободных колебаний консольно-закрепленной балки. Анализ частотных характеристик, запись результатов анализа в отчетные файлы. Моделирование контактной задачи на примере падения твердого шара на свободный конец консольно-закрепленной балки с различными начальными условиями. Моделирование контактной задачи на примере взаимодействия консольно-закрепленной балки и лежащего на ней упругого цилиндра, нагруженного поперечной силой. Запись результатов анализа в видеоклип. Моделирование статической линейной задачи на примере нагрева и охлаждения консольно закрепленной балки. Исследование возникающих температурных напряжений. Моделирование статической линейной задачи на примере электростатического взаимодействия консольно закрепленной балки с заряженными телами различной геометрической формы. Технология моделирования роста трещины XFEM. Импортирование /экспорт геометрии и моделей. Дополнительные методы создания и анализа моделей. Создание скриптов в Abaqus/CAE. Система единиц в SIMULIA Abaqus.

## **Тема 9..Механика композиционных материалов**

Композиционные материалы и их специфика. Введение. Композиционные материалы (композиты). Композиты в природе и технике. Определение композиционного материала. Представительный объем. Ячейка периодичности. Структурная классификация композитов. Определяющие соотношения в МДТТ. Однородные и неоднородные материалы. Изотропные и анизотропные материалы. Постановка краевых задач в МДТТ. Тензор Грина. Основные краевые задачи механики композитов. Эффективные свойства композиционных материалов. Эффективные модули упругости композитов. Эффективные модули упругости неоднородного упругого тела. Представление эффективных модулей через тензор Грина. Вычисление эффективных модулей упругости. Эффективные модули упругости неоднородного по толщине бесконечного слоя. Эффективные податливости композитов. Взаимосвязь модулей упругости и податливостей неоднородного упругого тела. Тензор эффективных податливостей. Представление эффективных податливостей через тензор Грина. Вычисление эффективных податливостей. Эффективные податливостинеоднородного по толщине бесконечного слоя. Методы расчета эффективных свойств композиционных материалов. Классические методы расчета эффективных свойств композитов. Метод и модули Фойгта. Метод и модули Рейсса. Вилка Фойгта-Рейсса. Эффективные свойства дисперсного и волокнистого композитов. Функционал Хашина-Штрикмана. Вилка Хашина-Штрикмана. Границы свойств в дисперсном и волокнистом композитах с изотропными компонентами. Другие способы сужения вилки эффективных свойств. Статистические методы расчета эффективных свойств композитов. Понятие статистического ансамбля. Основные статистические характеристики случайных функций. Статистически однородные случайные функции. Гипотеза эргодичности. Корреляционное приближение теории случайных функций. Обобщенное сингулярное приближение теории случайных функций. Методы решения краевых задач для композиционных материалов. Метод малого параметра. Метод малого параметра в

задаче для неоднородного упругого стержня. Метод малого параметра в трехмерной задаче теории упругости для периодически неоднородного тела. Понятие о сопутствующей краевой задаче. Представление решения краевой задачи для неоднородного упругого тела через решение сопутствующей краевой задачи. Метод тензоров Грина. Метод тензоров Грина для осреднения трехмерных задач неоднородной теории упругости. Связь метода тензоров Грина с методом малого параметра.

## **Тема 10. Механика коррозионного разрушения**

Коррозионное разрушение. Введение. Специфика разрушения при коррозии под напряжением. Общая характеристика механизмов влияния коррозионных сред. Предпосылки использования подходов механики разрушения при оценке коррозионно-механических разрушений. Испытания на коррозионную трещиностойкость. Виды испытаний и образцы для испытаний. Испытательные камеры и испытательные среды. Методы оценки длины трещины и определения порога трещиностойкости. Механические и электрохимические особенности распространения коррозионных трещин. Кинетические диаграммы коррозионного растрескивания металлов и сплавов. Роль коррозионной среды на напряженное состояние в вершине трещины. Электрохимические условия в вершине трещины. Адсорбционное снижение поверхностной энергии при воздействии внешних сред. Влияние водорода на трещиностойкость сталей. Влияние структуры сталей на их коррозионную трещиностойкость. Коррозионно-циклическая трещиностойкость сталей и сплавов. Кинетика коррозионно-усталостного разрушения. Факторы ускорения коррозионно-усталостного роста трещин. Условия формирования порогов коррозионно-усталостной трещиностойкости. Усталостный рост трещин в водороде. Состояние водорода в металле. Влияние водорода в металлах на их механические свойства. Влияние наводороживания на изменение механических характеристик материала. Замедленное разрушение металлов, обусловленное водородом. Восстановление механических свойств наводороженного металла. Влияние жесткости схемы напряженного состояния на водородное охрупчивание металла. Теории водородной хрупкости. Прогнозирование коррозионной трещиностойкости материалов. Модели механики коррозионного разрушения. Методы расчета ресурса долговечности элементов конструкций, работающих в коррозионных средах. Применение методов механики коррозионного разрушения для решения задач повышения надежности и долговечности элементов конструкций. Накопление поврежденности и коррозионное растрескивание под напряжением. Моделирование процесса накопления поврежденности в металлах при водородном охрупчивании. Феноменологические модели поведения металлов при водородном охрупчивании. Определяющие уравнения модели. Методика определения параметров материала при КРН. Испытания при постоянном напряжении. Испытания на растяжение с постоянной скоростью деформирования. Методика нахождения КРН-параметров. Сложное напряженное состояние. Поведение элементов конструкций в условиях коррозионного растрескивания под напряжением. Поведение элементов конструкций в условиях коррозионного растрескивания под напряжением. Изгиб балки в условиях КРН. Постановка задачи. Стадия скрытого разрушения. Развитие фронта разрушения. Стационарное состояние задачи. Задача о трубе под действием внутреннего давления в условиях КРН. Начальное упругое состояние. Упругопластическое состояние. Напряженное состояние упругопластической трубы. Вычисление деформаций в упругопластической трубе. Учет движения фронта разрушения. Стационарное состояние и условия его существования. Моделирование развития трещин в охрупчивающейся упругопластической среде. Теоретические модели для описания обусловленного водородом роста трещин. Развитие полубесконечной трещины в охрупчивающейся упругопластической среде.

Моделирование развития трещин в охрупчивающейся упругопластической среде. Теоретические модели для описания обусловленного водородом роста трещин. Развитие полубесконечной трещины в охрупчивающейся упругопластической среде. Задача Дагдейла для охрупчивающейся упругопластической среды. Постановка задачи. Моделирование развития трещины. Стационарное состояние и условия его существования.

### **Литература основная**

1. Эглит М.Э. Лекции по основам механики сплошных сред. Либроком, 2020. 208 с.
2. Рыжак Е.И. Бескоординатное тензорное исчисление для механики сплошных сред. М.: МФТИ, 2011. 170 с.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Лань, 2012. Т.1. 568 с. Т.2. 586 с.
4. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. Либроком, 2010. 322 с.
5. Сокольников И.С. Тензорный анализ. Теория и применения в геометрии и в механике сплошных сред. Комкнига, 2010. 376 с.
6. Вебстер А.Г. Механика материальных точек, твердых упругих и жидких тел. Лекции по математической физике. Т.2. Механика сплошной среды. ЛКИ, 2008. 286 с.
7. Работнов Ю.Н. Введение в механику разрушения. Либроком, 2009. 82 с.
8. Введение в механику сплошных сред: Учебное пособие/ К.Ф. Черных, Ю.З. Алешковский, В.В. Понятовский, В.А. Шамина, Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1984. 280 с.
9. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.
10. Кукуджанов В.Н. Численные методы в механике сплошных сред. М.: «МАТИ»-РГТУ, 2006. 158 с.
11. Howell P., Kozyreff G., Ockendon J. Applied Solid Mechanics. Cambridge University Press. 2008. 452 p.
12. Lubliner J. Plasticity Theory. University of California at Berkeley, 2006. 540 p.
13. Пальмов В.А. Элементы тензорной алгебры и тензорного анализа. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2008. 109 с.
14. Пальмов В.А. Определяющие уравнения термоупругих, термовязких и термопластических материалов. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2009. 138 с.
15. Кукуджанов В.Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций. М.: МФТИ, 2008. 215 с.
16. Экспериментальная механика. Под ред. Р.К. Вафина, О.С. Нарайкина. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 136 с.
17. Сокольников И.С. Тензорный анализ. Теория и применение в геометрии и в механике сплошных сред. Комкнига, 2010. 376 с.
18. Морозов Е.М., Муйзимнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера. М.: URSS, 2018. 456 с.
19. Степанова Л.В. Цифровая фотоупругость и ее применение для задач механики разрушения. Самара: Издательство «Самарский университет», 2021. 76 с.
20. Герасимова Т.Е., Ломаков П.Н., Степанова Л.В. Численная обработка результатов оптоэлектронных измерений в механике деформируемого твердого тела. Самара: Издательство: «Самарский университет», 2015. 48 с.
21. Партон В.З. Механика разрушения. От теории к практике. М.: ЛКИ, 2020. 240 с.
22. Ritchi R.O., Liu D. Introduction to Fracture Mechanics. Elsevier, 2021. 168 p.

23. Sadd M.H. Elasticity: Theory, Applications and Numerics. Academic Press, 2020. 624 p.
24. Работнов Ю.Н. Соппротивление материалов. М.: URSS, 2019. 456 с.

#### **Литература дополнительная**

1. Степанова Л.В. Математические методы механики разрушения. М.: Физматлит, 2009. 336 с.
2. Степанова Л.В., Федина М.Е. Связанные задачи теории ползучести и механики поврежденности. Самара: Изд-во «Самарский университет». 2006. 92 с.
3. Степанова Л.В. Математические методы механики разрушения. Самара: Издательство «Самарский университет», 2006. 232 с.
4. Астафьев В.И., Радаев Ю.Н., Степанова Л.В. Нелинейная механика разрушения. Самара.: Изд-во Самарский университет, 2001. 632 с.
5. Бьюи Х.Д. Механика разрушения: обратные задачи и решения. М.: Физматлит, 2011. 412 с.
6. Баренблатт Г.И. Автомодельные явления – анализ размерностей и скейлинг. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. 216 с.
7. Радаев Ю. Н. Пространственная задача математической теории пластичности: Учеб. пособ. для вузов. Самара : Самарский университет, 2006. 340 с.
8. Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. М.: Физматлит, 2003. 704 с.
9. Соколовский В.В. Теория пластичности. М.: Высшая школа, 1969, 608 с.
10. Пергамент М.И. Методы исследований в экспериментальной физике. Учебное пособие. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 304 с.
11. Ватульян А.О. Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела. М.: Физматлит, 2007. 224 с.
12. Балина В.С., Ланин А.А. Прочность и долговечность конструкций при ползучести. СПб.: Политехника, 2003. 182 с.
13. Шестериков С.А. Избранные труды. М.: Изд-во Московского университета, 2007. 242 с.
14. Пергамент М.И. Методы исследований в экспериментальной физике. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2010. 304 с.
15. Албаут Г.Н. Нелинейная фотоупругость в приложении к задачам механики разрушения. Новосибирск: НГАСУ, 2002. 112 с.
16. Аргатов И.И. Введение в асимптотическое моделирование в механике. СПб.: Политехника, 2004. 302 с.
17. Адамов А.А., Матвеев В.П., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н. Методы прикладной вязкоупругости. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 411 с.
18. Экспериментальная механика: В 2-х книгах. Под ред А. Кобаяси. М.Мир, 1990. 616 с.
19. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф. Справочник по нелинейным уравнениям математической физики. Точные решения. М.: Физматлит, 2002. 432 с.
20. Кудряшов А.А. Методы нелинейной математической физики. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 368 с.
21. Темам Р., Миранвиль А. Математическое моделирование в механике сплошных сред. Бином. Лаборатория занятий. 2013. 320 с.
22. Баушев С.В. Геометрически и физически нелинейная механика сплошных сред. Плоская задача. Либроком, 2013. 312 с.
23. Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. Основы механики сплошной среды. Курс лекций. М.: Физматлит, 2006. 272 с.
24. Handbook of Experimental Stress Analysis. New York: Springer, 2008. 1083 p.

25. Razumovsky I.A. Interference-Optical Methods of Solid Mechanics. Berlin Heidelberg: Springer, 2011. 180 p.
26. Springer Handbook of Lasers and Optics. F. Träger (Ed.). Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.
27. Ramesh, K., Digital Photoelasticity—Advanced Techniques and Applications, Springer, New York, 2000.
28. Asundi A.K. Matlab for Photomechanics. Amsterdam: Elsevier, 2002. 199 p.
29. Searle G.F.C. Experimental Elasticity. A Manual for the laboratory. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 206 p.
30. Sciamarella C.A., Sciamarella F.M. Experimental Mechanics of Solids. Willey, 2012. 776.
31. Voyiadis G.Z., Kattan P.I. Damage Mechanics with Finite Elements: Practical Applications with Computer Tools. Springer, 2012. 113 p.
32. Bouharova T., Elboudjaini M., Pluvinage G. Damage and Fracture Mechanics: Failure Analysis of Engineering materials and Structures. Springer, 2009. 614 p.
33. Кудряшов А.А. Методы нелинейной математической физики. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 368 с.
34. Kuna M. Finite Elements in Fracture Mechanics. Theory – Numerics – Applications. Solid Mechanics and Its Applications, 2013, v.201.
35. Rao S. S. The Finite Element Method. In Engineering. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2011. 727p.
36. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier, 2005. 648p.
37. Nushtaev D. V. Abaqus. The manual for beginners. The step by step instruction. TESIS, Moscow 2010, 78 p.
38. Paulsen W. Asymptotic Analysis and Perturbation Theory. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2014. 546 p.
39. Christensen R.M. Theory of Viscoelasticity. Dover Publications, 2010. 384 p.
40. Andrianov, J. Awrejcewicz, L.I. Manevitch, Asymptotical Mechanics of Thin Walled Structures. A Handbook. Berlin: Springer-Verlag; 2004.
41. Marques S.P.C., Creus G.J. Computational Viscoelasticity. New York: Springer, 2012. 124 p.
42. Ibrahimbegovic A. Nonlinear Solid Mechanics. Theoretical Formulations and Finite Element Solution Methods. New York, Springer, 2009. 588 p.
43. Barbero E.J. Finite Element Analysis of Composite Materials using ABAQUS. CRC Press, 2013. 444 p.
44. Principles of Composite Material Mechanics. CRC Press, 2011. 683 p.
45. Neto F.D.M., Neto A.J.S. An Introduction to Inverse Problems with Applications. Berlin: Springer, 2013. 255 p.
46. Bal G. Introduction to Inverse Problems. New York: Columbia University, 2012. 205 p.
47. Vui H.D. Fracture Mechanics: Inverse problems and Solutions. Dordrecht: Springer, 2006. 376 p.
48. Gdoutos E.E. Experimental Mechanics. An Introduction. Springer, 2022. 311 p.
49. Александров А.Я., Ахмеизянов М.Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М. Наука, 1973. 576 с.
50. Полянин А.Д., Сорокин В.Г., Журов А.И. Дифференциальные уравнения с запаздыванием. Свойства, методы, решения и модели. М.: ИПМех РАН, 2022. 467с.

51. Полянин А.Д., Журов А.И. Методы разделения переменных и точные решения нелинейных уравнений математической физики. М.: ИПМех РАН, 2020. 384 с.
52. Anand L., Govindjee S. Continuum Mechanics of Solids. Oxford University Press, 2020. 736 p.
53. Учайкин В.В. Механика. Основы механики сплошных сред. Санкт-Петербург, М., Краснодар: Лань, 2021. 860 с.