

Полугодовой специальный курс по выбору "Модели механики реономных материалов"

Старший научный сотрудник НИИ механики МГУ имени М.В.Ломоносова,
доцент кафедры механики композитов

А.В. Хохлов

Темы лекций

1. Понятия «материал», «свойство», «модель», «испытание», «образец», «программа испытания» и идеализация. Объекты и цели исследования, методология и основные стадии математического моделирования: классы материалов, их свойства, структура и испытания, зависимость свойств (отклика) от режимов нагружения, структуры и состояния материала, анализ и идеализация, математические модели (типичные задачи и этапы разработки, целевые списки моделируемых эффектов, подбор математического аппарата, элементы (блоки) модели, области применимости и приложения), модели сред и модели элементов конструкций (расчетные схемы). Роль идеализации и модельных представлений в планировании испытаний и обработке их результатов, обратная связь феноменологии и модельных представлений.

Этапы разработки модели:

- 1) целеполагание и разработка первичной (черновой) версии модели (схематизация, выбор математических средств),
- 2) анализ («испытание») модели средствами математики, выявление её свойств, возможностей, ограничений, недостатков
- 3) разработка методик идентификация и настройки,
- 4) верификация и совершенствование модели (доработка с возвращением к п.1-2, пересмотру гипотез и средств описания),
- 5) прогнозирование поведения и проверка предсказаний.

Склерономные и реономные материалы, память, наследственность, ползучесть, релаксация, диссипации механической энергии, мгновенная и длительная прочность. Примеры.

2. Базовые программы испытаний и типичные свойства кривых релаксации, ползучести и нагружения классов реономных материалов для разных программ нагружения. Классификация материалов по составу и структуре и по феноменологическим свойствам; упругость, пластичность, вязкоупругость, вязкопластичность

Механические свойства реальных материалов и конструктивных элементов, термомеханические эффекты и простейшие опыты для их описания. Экспериментальные факты и кривые поведения (образца, элемента конструкции, материала), основные эффекты.

Различные виды воздействий на конструкции, образцы, среды, материал – силовые (статические, квазистатические, динамические, ударные) и кинематические, воздействия температурных, радиационных и других полей и их основные характеристики.

Простейшие программы нагружения при испытаниях. Способы регистрации, схематизации и описания этих воздействий и откликов: предположения об одноосности НДС, однородности НДС и других полей (принцип Сен-Венана и краевого эффект), постоянстве воздействия, постоянстве скорости изменения, цикличности, периодичности; постоянстве сечения или объёма. Номинальное и истинное напряжения, меры деформации, остаточная деформация, разделение деформации на несколько слагаемых.

Характерные свойства кривых ползучести, релаксации, деформирования (при нагрузке и разгрузке). Различные виды диаграмм деформирования; характерные точки и участки на диаграммах деформирования (линейность ДД на нач участке, площадка текучести, падающая ветвь, пределы пропорциональности, упругости текучести, прочности). Схематизация диаграмм деформирования.

Понятие об основных механических свойствах и характеристиках элементов конструкций, материалов, сред. Прочность, упругость, обратимость и необратимость деформирования, остаточные деформации, пластичность и хрупкость, текучесть, сверхпластическое состояние и режимы; реономные материалы и реологические свойства, ползучесть и релаксация, диссипация энергии и гистерезис, упругое восстановление, наследственность, скоростная чувствительность, задержка, затухание памяти и глубина памяти, длительная прочность, усталостная прочность и долговечность.

Упругий материал (линейный, нелинейный), вязкоупругий материал (линейный, нелинейный), упругопластический материал (упрочняющийся, неупрочняющийся; жесткопластический), поврежденной среде. Принципиальные различия перечисленных классов материалов.

3. Способы описания воздействий, процессов деформирования, эволюции НДС и состояния среды (векторы, тензоры, связанные механические, тепловые, диффузионные, электромагнитные поля, потоки, функционалы и операторы), свойств.

Определяющие соотношения. Постулаты макрофизической определенности и материальной объективности. Материальные функции и параметры, задача идентификации, принципиальные схемы определения МФ. Адекватные теории и методы достижения адекватности (совершенство эксперимента, введение гипотез и т.д.). Требования, предъявляемые к материальным функциям. Примеры: реономные и склерономные определяющие соотношения. Типы анизотропии и неоднородности материалов.

4. Ползучесть металлов, феноменология (три стадии ползучести, установившаяся ползучесть). Расчетные схемы и примеры задач расчета на ползучесть (лопатки турбин, Толстостенные трубы. Вращающиеся диски.). Простейшие традиционные варианты теории ползучести (установившаяся ползучесть; теория старения; теория течения; теория упрочнения, наследственные теория ползучести). Установившаяся ползучесть.

5. Моделирование процесса разрушения, критерии разрушения, долговечность, кривые длительной прочности, температурно-временные зависимости длительной прочности. Вязкое и хрупкое разрушение, смешанное разрушение. Кинетические параметры и уравнения Работнова-Качанова, накопление поврежденности при ползучести. Правило линейного суммирования поврежденности при кусочно- постоянных нагружениях и отклонения от него. Исследование длительной прочности при сложном напряженном состоянии, влияние гидростатического давления. Циклическая ползучесть, виброползучесть, долговечность, усталостная прочность. Понятие о поврежденной сплошной среде.

6. Наследственность и линейная теория вязкоупругости. Понятие наследственности и интегральная форма линейного ОС вязкоупругости. Линейные интегральные операторы Больцмана-Вольтерры, свертка Стильтьеса, терема Рисса, интегральные уравнения Вольтерры первого и второго рода, обращение. Ядра и функции релаксации и ползучести в одномерном случае, инвариантность относительно сдвига по времени и ядра разностного типа; ядра для стареющих материалов. Связь между функциями релаксации и ползучести. Простейшие эффекты и ограничения на функции релаксации и ползучести. Гипотеза о затухающей памяти и различие между вязкоупругими телами и жидкостями. Примеры. Комплексный модуль, спектр релаксации.

Структурные реологические модели. Простейшие модели вязкоупругости: Максвелла, Фойгта, Кельвина, вывод дифференциального уравнения; и уравнений семейств кривых релаксации и ползучести. Обобщенные модели Максвелла и Фойгта, ряды Прони для ядер релаксации и ползучести.

7. Уравнения семейств кривых релаксации, ползучести и нагружения с постоянной скоростью в одноосном случае. Мгновенный и длительный модуль. Основные способы идентификации. Экспериментальное определение (построение) сдвиговых функций ползучести

и релаксации (опыты на кручение тонкостенной трубки) при разных режимах одноосного нагружения.

8. Определяющее соотношение для изотропной вязкоупругой среды, связь между девиаторами тензоров и шаровыми частями. Объемная ползучесть и ее влияние, коэффициент Пуассона (для режимов релаксации и ползучести) и модуль при растяжении, описание влияния гидростатического давления. Основные способы идентификации.

9. Зависимость механических свойств от температуры (модули и основные кривые). Термореологические простые материалы и температурно-временная аналогия. Постановка краевых задач линейной теории вязкоупругости в изотермическом случае. Тепловыделение. Связанные задачи термовязкоупругости. Общие теоремы и формулировки. Единственность решения краевой задачи связанной термовязкоупругости. Теорема взаимности. Вариационные теоремы.

10. Нелинейная теория вязкоупругости. Кратные интегралы Вольтерры, ОС Лидермана, Розовского, Работнова, Москвитина, Ильюшина-Победри, Шэйпери. Проблемы и схемы идентификации и их особенности (линейная область, расщепление задачи идентификации)

11. Нелинейное определяющее соотношение Работнова, его качественный анализ в одноосном случае. Моделирование ползучести и длительной прочности. Диаграммы нагружения с постоянной скоростью. Сопоставление свойств основных кривых со свойствами кривых, порождаемых линейной теорией вязкоупругости, сравнение арсеналов возможностей и областей применимости ОС.

12. Варианты обобщения нелинейного определяющего соотношения Работнова на трехмерный случай. Качественный анализ, индикаторы границы области применимости, способы идентификации

13. Феноменология упругопластического поведения материалов (характерные виды диаграмм одноосного деформирования; предел текучести, активное нагружение и разгрузка; временные эффекты), схематизация диаграмм деформирования. Представление о теории пластического течения и деформационной теории пластичности. Закон градиентальности для идеально-пластических и для упрочняющихся материалов. Теорема о простом нагружении. Область применимости теории малых упругопластических деформаций. Теория течения с изотропным упрочнением; теория течения с трансляционным упрочнением. Технологические задачи пластичности и ползучести (холодная и горячая осадка, продольная прокатка, прессование и гидропрессование, листовая штамповка, давление, термообработка и большие пластические деформации как средство получения нужных структуры, состава и свойств материалов и получения новых материалов).

14. Нелинейная модель вязкоупругопластичности типа Максвелла, ее качественный анализ (одноосный случай). Свойства семейств кривых релаксации, ползучести, ступенчатой ползучести, нагружения с постоянной скоростью, циклического нагружения. Моделирование влияния гидростатического давления. Индикаторы применимости и основные способы идентификации. Возможные направления обобщения.

15. Стареющие материалы, эволюция структуры и фазового состава при деформировании. Модели, учитывающие старение. Вязкоупругость. Диффузионная ползучесть. Материалы с эффектом памяти формы (феноменология, основные материалы, области применения, пример варианта определяющих соотношений)