

РЕЦЕНЗИЯ

на монографию М.Х.Ильясова “Нестационарные вязкоупругие волны”, Баку, 2011, 330 с.

Элементы конструкций из полимерных материалов и композитов на их основе с ярко выраженными реологическими свойствами широко применяются практически во всех областях современной техники и естествознания: в космической технике, в авиа –, автомобиле –, судно –, машиностроении, гражданском строительстве, в горной промышленности, радиоэлектронике, геофизике, биомеханике, медицине и т. п. Механическое поведение этих материалов характеризуется ползучестью (изменением деформаций во времени при постоянных напряжениях), релаксацией напряжений (изменением напряжений во времени при постоянной деформации), дисперсией и диссипацией, проявляющихся в зависимости скорости распространения волн от частоты, в затухании свободных колебаний и в ограничении амплитуды колебаний при вынужденных резонансных колебаниях, в изменении с течением времени формы механического возмущения и др. Материалы, обладающие указанными выше особенностями механического поведения, в механике деформируемого твердого тела получили название вязкоупругих и сочетают в себе свойства упругих тел и вязких жидкостей.

Каждая из перечисленных выше особенностей механического поведения вязкоупругих материалов может быть использована на практике. Так, например, диссипация энергии (превращение механической энергии в тепловую или гистерезис) используется в технике для демпфирования стационарных и нестационарных колебаний элементов конструкций различного назначения. Такой метод демпфирования колебаний получил название пассивного. Его суть состоит в том, что в конструкцию в зависимости от уровня рабочей температуры вводятся металлические или полимерные компоненты с высокими гистерезисными потерями. Наиболее распространенными материалами, используемыми для эффективного демпфирования колебаний в допустимом диапазоне температур являются полимеры и композиты на их основе. Широкое распространение нашли композиты слоистой и волокнистой структур, композиты со сферическими либо сфероидальными включениями и т.п. С использованием таких структурно–неоднородных материалов разрабатываются методы управления динамическим поведением элементов конструкций. Разработке пассивных методов демпфирования стационарных и нестационарных колебаний посвящено большое количество энциклопедий, монографий, обзоров и статей.

Для исследования механического (при механическом нагружении) или термомеханического (при температурном нагружении) поведения

вязкоупругих тел основными вопросами являются 1) разработка моделей термомеханического поведения вязкоупругого материала при силовых или температурных воздействиях; 2) постановка на основе этих моделей начально–краевых статических и динамических задач вязкоупругости с учетом перечисленных выше особенностей механического или термомеханического поведения вязкоупругих материалов; 3) разработка математических методов решения начально–краевых задач вязкоупругости; 4) решение конкретных задач и исследование влияния различных факторов на термомеханическое поведение вязкоупругих тел путем анализа числовых результатов.

При решении первого из перечисленных выше вопросов центральной проблемой является проблема определяющих уравнений, поскольку универсальные уравнения механики и термомеханики (уравнения движения, кинематические соотношения, уравнение энергии, механические и тепловые граничные условия) уже давно установлены в механике деформируемого твердого тела. Определяющие уравнения дают связь между напряжениями, деформациями и температурой. При учете связанности механических и тепловых полей требуется также определяющее уравнение для диссипативной функции и теплового потока, который обычно формулируется в виде закона Фурье. Для вязкоупругих материалов напряжения и диссипативная функция являются функционалами историй деформаций и температуры. Проблеме определяющих уравнений посвящено много работ ученых – механиков.

Дополняя определяющие уравнения универсальными соотношениями, граничными и начальными условиями, можно дать постановку квазистатических и динамических задач вязкоупругости в перемещениях или напряжениях, т.е. решить второй из перечисленных выше вопросов.

Решение третьего из указанных вопросов является в определенной степени математической проблемой, хотя и требует механической интуиции. Этим и объясняется тот факт, что многие из математических методов решения начально–краевых задач впервые предложили специалисты–механики или инженеры. В качестве примера можно привести такие известные методы, как метод Галеркина, метод Ван–дер–Поля, метод Ритца и др. В последующем математики дали строгое математическое обоснование этих методов.

Четвертый из указанных вопросов является главным для специалиста – механика и требует глубокого понимания исследуемого механического явления и механической интуиции.

Основное содержание рецензируемой монографии связано с решением последних двух из перечисленных вопросов, поскольку при постановке задач вязкоупругости автор использует известные линейные или нелинейные определяющие уравнения.

При постановке линейных динамических задач для изотропного вязкоупругого материала рассматриваются случаи, когда 1) модуль объемного расширения постоянен, 2) когда постоянен коэффициент Пуассона, 3) общий случай, когда ядра, описывающие сдвиговую и объемную деформацию, являются произвольными функциями времени.

Определяющие уравнения неоднородных анизотропных вязкоупругих сред выбираются в виде произведения зависящего от пространственных координат тензора четвертого ранга на линейный оператор Вольтерра с одним и тем же ядром релаксации.

Представлена постановка одномерной линейной связанной задачи термовязкоупругости для изотропного материала.

При постановке одномерной несвязанной задачи термовязкоупругости учитывается зависимость свойств материала от температуры при помощи принципа температурно – временной аналогии, а коэффициент сдвига определяется по классической формуле Вильямса – Ланделла –Ферри.

При постановке задачи о продольном ударе по полубесконечному однородному нелинейному вязкоупругому стержню используется нелинейное одноинтегральное определяющее уравнение.

Необходимо отметить, что основной интерес к представленным в монографии результатам вызывают разработанные автором подходы к решению линейных динамических задач вязкоупругости для однородных и неоднородных материалов (третий из указанных выше вопросов) и решенные на его основе конкретные задачи, а также анализ влияния различных факторов на динамические процессы в вязкоупругих телах (четвертый из перечисленных выше вопросов).

Приведенные в монографии результаты решения нелинейных и связанных динамических задач вязкоупругости требуют более глубокого анализа. Так, например, взаимодействие дисперсии, диссипации и нелинейности приводит к очень интересным механическим эффектам, в частности к формированию солитонов.

Рассмотренные в монографии связанные динамические задачи не учитывают упомянутых выше гистерезисных потерь и поэтому влияние такого типа связанности на термомеханические процессы, как показали проведенные автором расчеты, незначительно. Между тем, при учете гистерезисных потерь влияние связанности может быть очень сильным, особенно при длительном гармоническом нагружении. Такого типа связанные задачи термовязкоупругости в монографии не рассматриваются.

Кратко укажем на основные достижения автора монографии по решению последних двух из перечисленных выше задач. Для решения линейных задач для неоднородных анизотропных вязкоупругих материалов в монографии предложен подход, при помощи которого такие задачи сводятся к решению соответствующей динамической задачи теории упругости и к решению одномерных динамических линейных задач вязкоупругости. Для

решения одномерных задач автором разработан общий метод степенных рядов по изображениям ядра ползучести. Показано, что эти ряды являются точными решениями указанных одномерных задач. Предложенным методом построены решения одномерных задач для слабосингулярных ядер Абеля, Ржаницына, Работнова, Колтунова, регулярного ядра, модели Максвелла. Исследовано поведение этих решений для малых и больших значений времени. Представлены также численные методы обращения и дано сопоставление результатов, полученных при помощи разработанного автором общего метода и численным методом обращения. Таким образом, основные трудности решения задач вязкоупругости переносятся на решение достаточно сложных задач теории упругости для неоднородного материала.

С использованием разработанных методов в монографии получено решение широкого класса одномерных и многомерных нестационарных динамических задач вязкоупругости для однородных и неоднородных вязкоупругих тел при действии на них механических нагрузок, изменяющихся по координатам и времени по различным законам. Представлено решение задач о действии мгновенных сосредоточенных и распределенных нагрузок в вязкоупругом пространстве, полупространстве и сфере; динамическое кручение вязкоупругих цилиндров и конусов; продольный удар по вязкоупругим стержням кругового, секториального и прямоугольного поперечного сечения и др. Решено ряд задач для неоднородных стержней, неоднородность которых вызвана зависимостью механических свойств материала от пространственных координат и переменностью их поперечного сечения.

Методом малого параметра получены аналитические решения нестационарных динамических связанных и несвязанных задач о термомеханическом ударе по вязкоупругому полубесконечному стержню и полупространству с учетом зависимости свойств материала от температуры согласно принципу температурно–временной аналогии.

Путем анализа числовых данных в монографии исследовано влияние различных факторов на волновые процессы в вязкоупругих стержнях: поведение напряжений для различных ядер у фронта и за фронтом волны при ступенчатом, импульсном и синусоидальном механическом нагружении; влияние коэффициента Пуассона; влияние связанности механических и температурных полей и зависимости свойств материала от температуры; влияние дисперсии и диссипации; влияние неоднородности; влияние физической нелинейности и др.

Достаточно полное представление о решенных конкретных задачах дает подробное содержание монографии.

Автором монографии проделана большая и трудоемкая работа по построению аналитических решений широкого круга конкретных задач.

Правда, многие из решенных задач не доведены до числа.

Представленные в монографии результаты будут полезны для научных и инженерно–технических работников различных областей естествознания и техники, имеющих дело с оценкой динамической прочности элементов конструкций из полимерных материалов и композитов на их основе.

Они могут выступать как эталонные при разработке численных методов решения динамических задач вязкоупругости.

Д.ф.м.н., профессор В.Г.Карнаухов