

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОЛЗУЧЕСТИ

Леонов С. С.

МАИ (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

В данной работе приводятся две задачи, связанные с исследованием конструкций на ползучесть и длительную прочность.

В первой задаче рассматривается решение задачи чистого изгиба балки прямоугольного сечения изготовленной из авиационного сплава АК4-1Т с различными свойствами на растяжение и сжатие при постоянной температуре, нагруженной постоянным изгибающим моментом. Проводится исследование данной конструкции на ползучесть и длительную прочность вплоть до начала разрушения с учетом всей картины перераспределения напряжений. Поведение данной конструкции описывается системой дифференциальных уравнений энергетического варианта теории ползучести. Однако в момент разрушения, когда, принимаемый за меру разрушения материала, скалярный параметр поврежденности приближается к единице, правые части рассматриваемой системы уравнений неограниченно возрастают. Для решения данной проблемы задача преобразуется к наилучшему аргументу, под которым понимается длина дуги интегральной кривой задачи. Данный подход позволяет получить систему уравнений, правые части которой ограничены. Обе задачи, полученные с использованием указанных подходов, решаются численно тремя методами интегрирования систем дифференциальных уравнений: Эйлера, Эйлера-Коши, Рунге-Кутта четвертого порядка точности. По результатам расчета проводится сравнение двух методов решения задачи, а также сравнение полученных численных решений с экспериментальными данными.

Во второй задаче рассматривается решение задачи ползучести при растяжении прутков фиксированного радиуса из стали Ст45, широко применяемой в машиностроении и авиации, при постоянной температуре. Расчет задачи, описываемой системой дифференциальных уравнений, проводится с использованием уравнений кинетической теории ползучести с одним скалярным параметром поврежденности. Процесс рассматривается от начального состояния, когда параметр поврежденности равен нулю, вплоть до разрушения, когда этот параметр принимает значение равное единице. В случае постоянных напряжений приводится аналитическое решение, однако численное решение задачи с использованием традиционных методов интегрирования начальной задачи невозможно, так как при однородных начальных условиях правые части исходной системы уравнений обращаются в бесконечность в начальный момент времени и при стремлении параметра поврежденности к единице. Метод продолжения решения по параметру позволяет избавиться от этой особенности. Приводится численное решение полученной параметризованной системы методом Рунге-Кутта четвертого порядка точности, хорошо согласующееся с аналитическим решением непараметризованной задачи и экспериментальными данными.

Было получено, что использование как уравнений кинетической теории ползучести, так и метода продолжения решения по параметру позволяют получить

решения поставленных задач, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными. Однако метод продолжения решения позволяет не только дальше продвинуться по параметру поврежденности, как в случае первой задачи, но и избавиться от сингулярности в начале и конце вычисления при решении второй задачи. Это существенное преимущество с избытком компенсирует усложнение исходной системы в результате параметризации.