

**0.1. Тагильцев И.И. Моделирование неупругого поведения преднапряженных композитов в геометрически точной постановке**

Многие важные для практики композиты являются преднапряженными структурами; типичными примерами являются биологические мягкие ткани, такие как мышцы, связки и кровеносные сосуды, и инженерные структуры, включающие в себя шины, пневматические подвески и сварные конструкции. В данной работе анализируется вычислительно эффективный подход к моделированию материала в рамках гипотезы Фойгта, подразумевающий однородность деформации в рассматриваемом элементарном объеме; это позволяет вычислять напряжения в композитном материале как сумму напряжений, даваемых его составляющими, не учитывая их микроструктурное взаимодействие.

Работа посвящена применению так называемого  $\mathbf{F}_0$ -подхода к моделированию начальных напряжений. Основная идея подхода состоит в введении двух отсчетных конфигураций: ненапряженной и разгруженной; конфигурации связаны отображением  $\mathbf{F}_0$ . Важной частью процедуры является правильная трансформация начальных условий наряду с геометрическими пре- и пост-процессорами. Естественным образом учтены большие деформации, что означает работу в геометрически нелинейной постановке. Предлагаемый подход хорошо сочетается с мультипликативным разложением тензора градиента деформации. В частности, показано, что введение начальных напряжений с помощью  $\mathbf{F}_0$ -подхода не увеличивает сложности используемых вычислительных схем [1].

Предлагаемый метод внедрён в конечно-элементный комплекс MSC.MARC. Решены следующие демонстрационные задачи: моделирование (1) преднапряженных кровяных сосудов, рассматриваемых как многослойный композит, армированный волокнами, и (2) сварных металлических конструкций. Вычислительно эффективные численные схемы, позволяющие проводить безитерационное интегрирование эволюционных уравнений материала, применяются для моделирования неупругого поведения как армированных волокон композитов [2, 3] так и металлов [4]. Продемонстрирована применимость  $\mathbf{F}_0$ -подхода, что показывает его полезность в анализе структур со сложной геометрией.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 19-19-00126).*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шутов А. В.*

**Список литературы**

- [1] TAGILTSEV I., SHUTOV A. Geometrically nonlinear modelling of pre-stressed viscoelastic fibre-reinforced composites with application to arteries // Biomechanics and Modeling in Mechanobiology. 2020.
- [2] TAGILTSEV I. I., LAKTIONOV P. P., SHUTOV A. V. Simulation of fiber-reinforced viscoelastic structures subjected to finite strains: multiplicative approach // Meccanica. 2018. Vol. 53. N. 15. P. 3779–3794.
- [3] SHUTOV A. V., TAGILTSEV I. I. Efficient numerics for the analysis of fibre-reinforced composites subjected to large viscoplastic strains / In: H. Altenbach, A. Öchsner (Eds.) State of the Art and Future Trends in Material Modelling. Advanced Structured Materials. Vol. 100. Cham: Springer, 2019. P. 367–380.
- [4] SHUTOV A. V. Efficient implicit integration for finite-strain viscoplasticity with a nested multiplicative split // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2016. Vol. 306. P. 151–174.