

0.1. Уфимцев К. Эффективные безитерационные алгоритмы интегрирования по времени для задач упругопластического деформирования

Геометрически нелинейное численное моделирование материалов с упруго — пластическими и упруго — вязкопластическими механическими свойствами сопряжено с рядом трудностей. Одна из них — это большие вычислительные затраты на определение тензора напряжений в точках гауссова интегрирования при моделировании методом конечных элементов. В докладе рассматриваются модели, основанные на подходе Simo & Miehe (1992) [1] с постоянной и непостоянной вязкостью. Указанные модели могут быть применены для описания поведения широкого класса металлических материалов при больших неупругих деформациях. Главной трудностью при работе с материалами типа Simo & Miehe (1992) является интегрирование жёсткого тензорного дифференциального уравнения эволюции внутренних переменных. Так, требуется проинтегрировать уравнение для неупругого правого тензора Коши — Грина $\mathbf{C}_i$:

$$\dot{\mathbf{C}}_i = \frac{1}{\eta} \left(\mathbf{C} \tilde{\mathbf{T}}(\mathbf{C}_i, \mathbf{C}) \right)^D \mathbf{C}_i, \quad (1)$$

где $\tilde{\mathbf{T}}$ — второй тензор напряжений Пиолы — Кирхгофа, а правый тензор Коши — Грина $\mathbf{C}$ — задан. Здесь, в случае непостоянной вязкости, параметр η сильно нелинейно зависит от внутренней переменной $\mathbf{C}_i$. Классические неявные или явные схемы, а также их модификации вычислительно затратны либо обладают низкой точностью при больших шагах по времени. Разработанные ранее безитерационные методы применимы только в условиях фиксированного потенциала гиперупругой энергии и не всегда лишены недостатков классических схем [2]. В докладе рассмотрен способ интегрирования уравнения (1) по неявной схеме с сохранением точности при больших шагах по времени и основных свойств точного решения: w-инвариантности и несжимаемости неупругих деформаций. По аналогии с работой [3], решение строится с помощью снижения размерности исходной задачи с шести измерений до двух и, далее, с последующим применением аппроксимации разрешающей функции в новом редуцированном пространстве. Отличием от публикации [3] является возможность работы алгоритма с переменной вязкостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 23-19-00514).

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

Список литературы

- [1] SIMO J., MIEHE C. Associative coupled thermoplasticity at finite strains: formulation, numerical analysis and implementation // Comput Methods Appl Mech Eng. 1992. 98(1). P. 41–104.

- [2] SHUTOV A. Efficient time stepping for the multiplicative Maxwell fluid including the Mooney-Rivlin hyperelasticity // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2018. Vol. 113. N.12. P. 1851-1869.

- [3] SHUTOV A., UFIMZEV K. Approximation-based implicit integration algorithm for the Simo-Miehe model of finite-strain inelasticity // International Journal for Numerical Methods in Engineering. e7566