

**ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНОГО
РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗАДАЧ
МЕХАНІКИ МЕТАМАТЕРІАЛІВ**

Бородін М.А., Бреславський Д.В., Сенько А.В., Татарінова О.А.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Зростаюча популярність метаматеріалів, що останніми роками поширюються в практиці проектування сучасних тонкостінних конструкцій завдяки їхній більшій жорсткості з меншими ваговими характеристиками, обумовлює підвищену увагу до методів аналізу їхнього напружено-деформованого стану з метою вибору найкращого з точки зору міцності варіанту. На цьому шляху використовують як методи, що дозволяють розглядати осереднені фізико-механічні характеристики матеріалу та виконувати загальний аналіз деформування конструктивних елементів, так й пошарову конкретизацію розрахункових схем для визначення напружено-деформованого стану з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). В останньому випадку основні проблеми аналізу у багатьох випадках носять технологічний характер – розв'язки з необхідною точністю можуть бути отримані лише при використанні потужних обчислювальних систем, що не є загальнодоступними.

Доповідь присвячено опису програмного засобу, призначеного для тривимірного моделювання напружено-деформованого стану конструктивних елементів з використанням підходів МСЕ та хмарних технологій, використання яких дозволяє реалізувати розв'язання задачі з необхідною кількістю ступенів свободи.

Розрахункову схему побудовано на основі застосуванні тривимірного чотирьохвузлового скінченного елемента у вигляді тетраедру, використання якого дозволяє апроксимувати задану геометрію конструкції. Як метод розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь обрано метод спряжених градієнтів, який дозволяє ефективно працювати з рядками матриці жорсткості конструкції та проводити розпаралелювання обчислень. Для написання програми обрано мову програмування Java (версія 21) через її ефективні можливості управління процесорними потоками та інтеграції з бібліотеками відкритого коду, які дозволяють використовувати потоки графічних процесорів для обчислень. Однією з ключових переваг Java 21 є імплементація віртуальних потоків, яка забезпечує більш оптимальне виконання паралельних обчислень порівняно з традиційними методами управління потоками процесора.

Обговорюються результати верифікаційних досліджень, що отримано при тестуванні програми, при їхньому порівнянні з аналітичними розв'язками та даними комп'ютерного моделювання з використанням інших скінченноелементних програмних засобів. Наведено приклади розрахунку напружено-деформованого стану внутрішнього шару метаматеріального конструктивного елемента.