ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

78-Ї НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ПРОФЕСОРІВ, ВИКЛАДАЧІВ, НАУКОВИХ ПРАЦІВНИКІВ, АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ УНІВЕРСИТЕТУ

І ТОМ



15 – 22 травня 2026 року
Полтава

УДК 624.04:004.42

Кириченко Володимир, к.т.н., доцент
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

МАКРОПРОГРАМУВАННЯ В МСЕ: АВТОМАТИЗАЦІЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ

Сучасне проєктування будівельних конструкцій дедалі більше спирається на чисельні методи розрахунку, серед яких метод скінченних елементів (МСЕ) посідає провідне місце. Програмні комплекси на основі МСЕ – зокрема Abaqus виробництва Dassault Systèmes – надають потужний інструментарій для аналізу напружено-деформованого стану конструкцій з урахуванням різноманітних видів нелінійності.

Разом з тим практика інженерних досліджень нерідко передбачає проведення серій однотипних розрахунків: варіювання розміщення навантаження, геометрії моделі, характеристик матеріалів тощо. Виконання таких серій у ручному режимі – через графічний інтерфейс є трудомістким і схильним до помилок. Тому автоматизація цих процесів шляхом застосування скриптів мовою Python, яка є вбудованою мовою Abaqus, набуває значної практичної цінності.

Abaqus/CAE містить повноцінний інтегрований Python-інтерпретатор. Будь-яка дія, виконана у графічному інтерфейсі, автоматично записується у файл-журнал у вигляді Python-команд. Це дозволяє записувати, редагувати й відтворювати довільні послідовності операцій у режимі пакетного виконання.

Основні переваги підходу:

–повна автоматизація циклу «препроцесор – розв’язувач – постпроцесор» без участі користувача;

–систематичне варіювання параметрів моделі (розміри, матеріали, граничні умови, розмір сітки) у циклі;

–автоматичне вилучення та збереження результатів (напруження, переміщення, реакції) у зовнішні файли текстових форматів;

–відтворюваність та документованість розрахунків – скрипт є повним описом усього процесу моделювання.

При автоматизації нелінійного МСЕ-аналізу необхідно враховувати ряд специфічних аспектів. По-перше, нелінійний розрахунок може не досягти збіжності при певних значеннях параметрів. Тому скрипт повинен містити обробку виняткових ситуацій. По-друге, при зміні геометрії необхідно контролювати якість сітки: різка зміна розмірів елементів може призвести до концентрації похибок. Рекомендується задавати розмір елементів пропорційно до характерного розміру конструкції. По-третє, при нелінійному аналізі особливу увагу слід приділяти вибору параметрів кроку: максимальний та мінімальний крок навантаження суттєво

впливають на баланс між точністю та часом розрахунку.

Природним розвитком параметричного підходу є перехід від пасивного варіювання параметрів до цілеспрямованого пошуку оптимального рішення. Оскільки Abaqus виконується як зовнішній процес, що повертає чисельні результати, його можна використовувати як «чорний ящик» у складі оптимізаційного циклу, реалізованого засобами Python. Типова постановка задачі оптимізації для будівельної конструкції полягає у визначенні сукупності параметрів, що мінімізує цільову функцію (масу або вартість конструкції) за умови виконання обмежень за міцністю та деформативністю.

Детерміністичний підхід до розрахунку конструкцій, при якому параметри матеріалів, геометрія та навантаження приймаються фіксованими (нормативними) значеннями, не відображає реального розсіювання цих величин. Сучасні норми (ДСТУ-Н Б EN 1990) базуються на імовірнісній концепції надійності, де ступінь безпеки визначається через надійність або ймовірність відмови.

Автоматизація параметричних досліджень конструкцій дозволяє реалізувати методи імовірнісного аналізу безпосередньо на рівні МСЕ-розрахунку шляхом проведення великої кількості детерміністичних розрахунків при значеннях параметрів, випадково вибраних з відповідних розподілів (метод Монте-Карло). Для кожної реалізації скрипт будує модель, виконує розрахунок і фіксує відгук, після чого обчислюється вибіркова ймовірність відмови.

Ефективнішою альтернативою є побудова аналітичної апроксимації (поверхні відгуку) за результатами обмеженої кількості МСЕ-розрахунків, спланованих за схемою повного або дрібного факторного експерименту. Надалі імовірнісний аналіз проводиться вже на апроксимуючій функції, що на кілька порядків швидше.

Використання вбудований можливостей сучасних програмних комплексів при чисельному моделюванні є ефективним засобом автоматизації розрахунків будівельних конструкцій, що дозволяє на порядок скоротити трудовитрати на проведення параметричних досліджень, а їх поєднання з імовірнісними методами є сучасним підходом до оцінки надійності будівельних конструкцій.

Література:

1. *Dassault Systèmes.* Abaqus 2023 Scripting User's Guide. – Providence: Simulia, 2023. – 512 p.

2. *Smith M.* ABAQUS/Standard User's Manual, Version 2023. – Hibbitt, Karlsson & Sorensen, 2023. – 1864 p.

3. *Баженов В.А., Перельмутер А.В., Шишов О.В.* Будівельна механіка. *Комп'ютерні технології і моделювання. – К.: Каравела, 2019. – 428 с.*

4. *Кривошапко С.М., Іванов В.М. Нелінійні задачі механіки деформівного твердого тіла. – М.: Наука, 2015. – 367 с.*