

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ ВМ'ЯТИН У ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНКАХ

*Р.Л. Онацький<sup>1</sup>, С.Ю. Місюра<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> аспірант кафедри ММІ, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

<sup>2</sup> доцент кафедри ММІ, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна  
[roman.onatskyi@infiz.khpi.edu.ua](mailto:roman.onatskyi@infiz.khpi.edu.ua)

У попередніх роботах [1, 2] було показано доцільність застосування методів штучного інтелекту для оцінки напружено-деформованого стану (НДС) циліндричних оболонок з вм'ятинами. Також зазначено, що однією з головних перешкод для побудови точних сурогатних моделей є дефіцит великих, структурованих наборів даних, які описують зв'язок між геометрією вм'ятини та напруженнями. Ця робота спрямована на розробку інструменту для автоматизованої генерації таких даних.

Метою дослідження є розробка параметризованого програмного забезпечення для моделювання вм'ятин на циліндричних оболонках методом скінченних елементів (МСЕ) і автоматизованого формування бази даних результатів моделювання з подальшим використанням для навчання сурогатних моделей, для оцінки міцності та залишкового ресурсу посудин з вм'ятинами.

Розглянуто циліндричну оболонку як фрагмент резервуара з еліптичними днищами. Вм'ятини формувалися вдавлюванням жорсткого індентора у зоні, віддаленій від зварних швів та інших крайових ефектів. Оболонка моделювалася у геометрично нелінійній постановці. Пружно-пластичні властивості матеріалу змодельовано за білінійною кінематичною моделлю зміцнення. Контакт індентора моделювався без тертя. Використано чотири типи інденторів: сферичний, еліпсоїдний, циліндричний вздовж осі та циліндричний впоперек осі.

Розроблено програмне забезпечення мовою APDL (ANSYS Parametric Design Language), яке автоматизує повний цикл МСЕ-розрахунку. Алгоритм включає: параметричне генерування геометрії та сітки, керування навантаженням і контактом, збір і експорт структурованих результатів. Для кожного розрахункового випадку збережено параметри матеріалу, геометрії, сітки, навантаження, а також геометричні характеристики залишкової вм'ятини (глибина, ширина, довжина) та показники НДС (зокрема еквівалентні напруження).

Для валідації виконано контроль збіжності: проведено серію розрахунків із різними розмірами елементів сітки до стабілізації значень напруження і деформації.

У результаті сформовано базу з понад 120 унікальних МСЕ-розрахункових випадків, що охоплюють чотири типи інденторів і діапазон глибин вм'ятин від 1 до 5 товщин стінки (t). Сформована база даних слугуватиме для навчання та порівняння сурогатних моделей (регресійні підходи, ансамблі дерев, нейронні мережі) з крос-валідацією, тестуванням на незалежній вибірці та оцінкою невизначеності прогнозів.

### Список літератури:

1. Онацький Р. Л. Використання методів штучного інтелекту для моделювання напружено-деформованого стану циліндричних оболонок з вм'ятинами / Р. Л. Онацький, С. Ю. Місюра // *Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених* : зб. тез доп. 18-ї Міжнар. наук.-практ. конф. магістрантів та аспірантів, 19-22 листопада 2024 р. / – Харків : НТУ "ХПІ", 2024. – С. 99.

2. Онацький Р., Місюра С. Розробка методики швидкої оцінки міцності посудин з вм'ятинами засобами ШІ на прикладі формування датасету для пластин під тиском. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. 2025. №1. С. 60–68. <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2025.1.331577>