

**Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2026»,
27–29 травня 2026 р., Львів**

УДК 004.85:539.3

ЗАСТОСУВАННЯ DATA-CENTRIC ПІДХОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З ВМ'ЯТИНАМИ

Онацький Роман, Місюра Сергій

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
roman.onatskyi@infiz.khpi.edu.ua, serhii.misiura@khpi.edu.ua

Циліндричні оболонки є основними несучими елементами посудин, резервуарів і трубопроводів, що працюють під тиском. Локальні вм'ятини істотно змінюють напружено-деформований стан конструкції та можуть знижувати її експлуатаційну надійність. Найбільш обґрунтованим інструментом аналізу таких дефектів є нелінійний розрахунок методом скінченних елементів, однак його масове застосування супроводжується значними обчислювальними витратами. У зв'язку з цим перспективним є підхід, орієнтований на дані, в рамках якого МСЕ-розрахунки використовують для формування навчальної вибірки, а подальше прогнозування характеристик міцності виконують за допомогою сурогатної моделі машинного навчання [1].

Метою роботи є побудова параметризованого обчислювального конвеєра для автоматизованого отримання МСЕ-даних, достатніх для навчання сурогатної моделі оцінки міцності у зоні вм'ятини. Розроблено параметризовану нелінійну модель циліндричної оболонки з локальною вм'ятиною в середовищі ANSYS APDL. Модель враховує пружно-пластичну поведінку матеріалу, геометричну нелінійність і контактну взаємодію зі штампом.

Для апробації підходу, сформовано датасет зі 100 розрахункових записів. Вхідні значення включають геометричні параметри оболонки, глибину вм'ятини, механічні характеристики матеріалу та розрахунковий внутрішній тиск, який визначали відповідно до [2]. Як цільові параметри прийнято максимальне еквівалентне напруження за Мізесом, амплітуду напружень і залишкові радіальні переміщення.

Автоматизовано пакетне виконання розрахунків і обробку результатів. Верифікація параметризованої моделі на сталонному прикладі показала розбіжність не більше 1%.

Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2026», 27–29 травня 2026 р., Львів

Отримані результати МСЕ-моделювання демонструють фізично узгоджену поведінку оболонки у зоні вм'ятини. Встановлено, що фактична залишкова глибина вм'ятини може суттєво відрізнятися від цільової, особливо для великогабаритних тонкостінних оболонок, що підтверджує доцільність використання саме МСЕ-розмічених даних під час побудови сурогатної моделі.

Для сформованої вибірки виконано машинне навчання з метою прогнозування максимального еквівалентного напруження та амплітуди напружень. Найкращі результати показали моделі випадкового лісу та гаусівського процесу, причому в підсумку найефективнішою виявилася модель випадкового лісу. Для прогнозування максимального еквівалентного напруження отримано $RMSE = 12.39$ МПа, $MAE = 5.40$ МПа та $R^2 = 0.970$. Разом з тим, для прогнозування амплітуди напружень отримано $RMSE = 21.00$ МПа, $MAE = 15.94$ МПа та $R^2 = 0.474$, що є не достатньо точним, і потребує покращення. Модель типу багатошарового перцептрона продемонструвала істотно гірші результати, що вказує на потребу значного збільшення обсягу вибірки для ефективного застосування нейромережевого підходу.

Таким чином, у роботі сформовано параметризований обчислювальний конвеєр, підготовлено вибірку та підтверджено можливість використання підходу, орієнтованого на дані, для оперативного прогнозування характеристик напружено-деформованого стану циліндричних оболонок з локальними вм'ятинами.

1. Onatskiy R. L., Misiura S. Yu. Rational data sampling for surrogate modeling of the stress-strain state of plate elements. // Applied Aspects of Information Technology. – 2026. – Vol. 9, – No. 2. – P. 158-171. DOI: <https://doi.org/10.15276/aaic.09.2026.11>.
2. ДСТУ EN 13445-3:2022. Посудини, які працюють під тиском, без вогневого підведення теплоти. Частина 3. Конструкція (EN 13445-3:2021, IDT). Чинний від 2022-12-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

APPLICATION OF A DATA-CENTRIC APPROACH TO STRENGTH ASSESSMENT OF CYLINDRICAL SHELLS WITH DENTS

A parameterized computational workflow for finite-element analysis of cylindrical shells with local dents is developed for subsequent surrogate modeling. A nonlinear ANSYS APDL model accounting for elastoplastic material behavior, geometric nonlinearity, and contact interaction is used to generate a dataset. Based on the obtained data, five machine-learning models are trained to predict the maximum equivalent stress and the stress amplitude in the dent zone. The best final results are achieved by the Random Forest model: for maximum equivalent stress, $RMSE = 12.39$ MPa, $MAE = 5.40$ MPa, $R^2 = 0.970$. The results confirm the feasibility of a data-centric approach for rapid assessment of the stress-strain state of dented shell structures.