

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
МАЛА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА”



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization

М.А.Н.

Мала академія наук  
України під егідою  
ЮНЕСКО

# ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ XVI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ “АКАДЕМІЧНА Й УНІВЕРСИТЕТСЬКА НАУКА: РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ”



2025

*років освітніх традицій*

**12-13 ГРУДНЯ 2023 РОКУ**

3. Besagni G., Inzoli F. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: Screening of turbulence modeling approaches. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 117. P. 122–144.
4. Qiming Jia, Zhengyu Li, Linghui Gong, Liqiang Liu, Weiping Zhu, Meimei Zhang, Huikun Su. Experimental investigation and numerical calculation of the cryogenic ejector in a liquid nitrogen system // *applied Thermal Engineering*. 2021. Vol. 184, № 12. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116322.

**УДК 624.95:62-622.3**

**СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВІ СИЛОСИ – НАДІЙНІ ЛИСТОВІ КОНСТРУКЦІЇ  
УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**Пічугін С.Ф., Оксененко К.О.**

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*  
[shvadchenkokate@gmail.com](mailto:shvadchenkokate@gmail.com)

Металеві ємнісні конструкції для зберігання різних видів матеріалів є одними з найбільш розповсюджених типів будівельних конструкцій. Це підтверджує їх конструктивна різноманітність, що включає суцільні зварні, збірні та спіральні силоси [1]. Одним з найбільш прогресивних типів тонкостінних просторових конструкцій є високо індустріальні металеві силоси спірально-фальцевого типу. Циліндричний корпус такого силосу являє собою систему спірального з'єднання сталевोї стрічки шляхом подвійного вальцювання [2]. Процес монтажу конструкції силосу простий, швидкий та ефективний. Рулони сталі, машини і несучі рами доставляються на будівельний майданчик. Унікальна технологія дозволяє вести компактний монтаж високоміцних та герметичних силосів безпосередньо на будівельному майданчику, без використання болтів і зварних з'єднань. Переваги таких силосів: високий ступінь автоматизації та швидкість монтажу; мінімізація людського фактору при монтажі; герметичність; висока міцність.

Спірально-фальцеві силоси є універсальними та економічними, адже можуть застосовуватись в різних галузях: силоси для різних видів сипучих матеріалів; резервуари для зберігання різних рідин, метантенки в складі біоенергетичних установках. У реаліях воєнного стану, спірально-фальцеві конструкції можуть застосовуватись також, як модульні склади для тимчасового зберігання зерна, а також як бункери-укриття [3].

Міцність і працездатність спірально-фальцевих силосів підтверджується вітчизняним багаторічним досвідом. Зокрема, такі силоси для зберігання зерна були побудовані і введені в експлуатацію у 1986 р. Габарити силосів – діаметр 18 м, висота 19 м, загальна ємність 3 тис. т. Товщина корпусу по всій висоті однакова – 5 мм. Під час експлуатації була замінена система розвантаження силосів, мали місце надпроектні силові впливи на конструкцію. Незважаючи на це, силоси безаварійно експлуатувалися близько 30 років. Тому можна обгрунтовано вважати, що розглянутий силосний парк – приклад надійності і довговічності конструкцій спірально-фальцевих силосів [4].

Не дивлячись на успішний досвід експлуатації таких конструкцій, їх розвиток стримується через відсутність досліджень напружено-деформованого стану цих оболонок, оскільки їх конструкції мають головну специфічну особливість – наявність ребер фальцевого типу. Досвід експлуатації також підтверджує важливість експериментальних досліджень елементів спіральньо-фальцевих конструкцій не тільки на експлуатаційні навантаження, але й на позаграничні. Тому в лабораторії Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» були проведені експериментальні дослідження елементів конструкції спіральньо-фальцевих силосів [6]. Для експериментального дослідження був взятий фрагмент стінки спіральньо-фальцевого силосу для зберігання тріски деревини. У стінці силосу було зроблено технологічний отвір для монтажу оглядового люку. Вирізаний елемент стінки був розділений на експериментальні зразки .

В результаті експериментального дослідження фальцевого з'єднання на розтяг було виявлено характер роботи фальцевого замка і прилеглих ділянок оболонки при дії навантажень розтягу та зроблено висновок, що характер роботи фальця до руйнування в основному відповідає позаграничному стану оболонки спіральньо-фальцевого силосу і підтверджує його працездатність при дії можливих підвищених аварійних навантажень. Дослідження стінки спіральньо-фальцевого силосу підтвердили надійну роботу оболонки на проектні навантаження.

Одним з важливих техніко-економічних параметрів конструкцій є їхня надійність. Треба відмітити, що на сьогодні розрахунок надійності конструкцій сталевих силосів залишається актуальною областю досліджень. Тому було проведено оцінювання надійності силосів на основі аналізу резерву міцності. В цьому випадку, основним навантаженням для силосу є випадковий тиск сипкого матеріалу. У роботі розглядалася осесиметрична задача для силосу, який знаходиться в безмоментному напруженому стані. Імовірнісна природа тиску обумовлена статистичним розкидом характеристик сипкого матеріалу, таких як: питома вага  $\tilde{\gamma}$ , кут внутрішнього тертя  $\tilde{\varphi}$ , коефіцієнт бокового тиску  $\tilde{\lambda}$  і коефіцієнт тертя об стіну  $\tilde{\mu}$ .

Функція резерву міцності для сталевих силосів має вигляд:  
$$\tilde{Y}(\tilde{\sigma}_y, \tilde{\gamma}, \tilde{\mu}, \tilde{\lambda}) = \tilde{R} - \tilde{S} = \tilde{\sigma}_y - \tilde{\sigma}_i \geq 0.$$
 Випадковими величинами у поставленій задачі оцінювання надійності є:  $\tilde{\sigma}_y$  – випадкова величина межі текучості сталі,  $\tilde{\sigma}_i$  – функція випадкової величини приведених напружень від зовнішнього навантаження і впливів об'ємного напружено-деформованого стану силосу.

Характеристика безпеки силосу, за якою визначається оцінка його надійності, обчислюється за формулою:



$$\beta = \frac{\bar{Y}}{\hat{Y}} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{A_1^2 \hat{\sigma}_y^2 + A_2^2 \hat{\gamma}^2 + A_3^2 \hat{\mu}^2 + A_4^2 \hat{\lambda}^2}}$$

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження підтвердили високу міцність та надійність конструкції сталевих спіральних-навивних силосів.

#### **Література:**

1. S. Pichugin, K Oksenenko, Comparative analysis of design solutions of metal silos. Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering, 53 (2), 54-60 (2019). DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2019.53.1890>.
2. Xaver Lipp [ Інтернет ресурс ]. – Режим доступу – <https://xaver-lipp.com/>.
3. S. Pichugin, K. Oksenenko, Area of application and operation experience of spiral-fold silos in Ukraine. ArCivE 2023 XI<sup>th</sup> International scientific conference on architecture and civil engineering, ArCivE 2023, 14 - 22 (2023).
4. Пічугін С.Ф., Оксененко К.О. З досвіду експлуатації економічних металевих спіральних-фальцевих силосів для сипучих матеріалів. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 40, 166-173 (2021).
5. С. Пічугін, В. Шульгін, К. Оксененко, Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану стінки сталевих спіральних-фальцевих силосів. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини, 27, 94-103 (2023).

#### **УДК 519.718**

#### **АТРИБУТИВНА МОДЕЛЬ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

**Редковська М.М.**

*Інститут проблем математичних машин та систем НАН України  
redovskaya.m@gmail.com*

**Актуальність.** Ми стаємо більш залежними від доступності та якості послуг, що надаються комп'ютерними технологіями (КТ). Ця залежність поширюється на різні галузі: енергетика, транспорт, промисловість, життєдіяльність людини, військово-промисловий комплекс, медицина, фінанси. Важливою складовою такої залежності є рівень гарантоздатності (надійність у широкому значенні та безпека) сервісів та систем. Адже недостатній рівень гарантоздатності КТ призводить або до матеріальних втрат, або серйозніших наслідків, таких як загибель людей, екологічні катастрофи тощо.

Зрозуміло, що реалізація вимог щодо гарантоздатності призводить до загального подорожчання комп'ютерних систем (КС), тому завдання оптимізації прогнозованого рівня гарантоздатності та вартості КС є також досить актуальним і має велике соціальне та економічне значення [1-3]. Від впровадження результатів наукових досліджень у галузі гарантоздатності КС слід очікувати насамперед:

- запобігання техногенним аваріям, катастрофам або мінімізації втрат, пов'язаних з ними;