

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Оксененко Катерини Олександрівни на тему: «**ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВИХ СИЛОСІВ ДЛЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ**», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інфраструктура».

Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»

Актуальність обраної теми. Роботу можна вважати актуальною, оскільки вона присвячена металевим силосам. Велика кількість сучасних технологічних процесів пов'язана з переробкою різних сипучих матеріалів. Хімічна, металургійна, а також промисловість будівельних матеріалів не тільки добувають матеріали: вугілля, руду, щебінь, пісок та інші, а в процесі переробки первинної сировини виробляють велику кількість нових сипучих матеріалів, таких як кокс, цемент, шлак, концентрати та інші. Також треба відмітити агропромисловий комплекс, в якому майже вся продукція являє собою сипучі тіла. Така значна кількість сипучих матеріалів призводить до необхідності використовувати багато різноманітних машин, механізмів та споруд для більш швидшого та легшого процесу переробки. Один із необхідних етапів у технологічному процесі – зберігання матеріалу. Звичайний склад не є раціональним рішенням, оскільки потребує значних затрат людської праці для завантаження та вивантаження матеріалу. Рішенням цієї проблеми – стали металеві силоси для сипучих матеріалів. Наразі існує велика кількість конструктивних рішень металевих силосів. Найбільшу популярність у нашій країні та за кордоном набули панельні силоси, виготовлені з гофрованих або гладких панелей, з'єднаних між собою за допомогою болтів. Але такі конструкції не підходять для зберігання сипучих матеріалів з найменшими розмірами твердих частин, таких як: цемент,



кокс, шлак та інші. Для таких матеріалів застосовують зварні або спіральні конструкції. У цільнозварному силосі використовується сталевий лист товщиною 6-14 мм, який зварюється у цільний циліндричний корпус. Завдяки зварному з'єднанню та товстому металу конструкція має високу міцність й герметичність. Але й за рахунок цього силос має значну вагу, а отже й вартість, а велика кількість зварних швів ускладнює монтаж. Розробка спіральних навивних силосів з фальцевим замком вирішила цю проблему. Розроблена технологія дозволяє, використовуючи спеціальне обладнання для обробки 18 листового металу, безпосередньо на будівельному майданчику, без використання болтів та зварних з'єднань, вести компактний і швидкий монтаж силосів високої міцності залізобетонним перекриттям, які є основною міжповерховою конструкцією в будівлях різного призначення. Широке застосування визначається їх високими експлуатаційними властивостями - довговічністю, міцністю, жорсткістю, гігієнічністю, вогнестійкістю.

Робота виконана в рамках держбюджетних дослідних тем у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»: «Ресурсоекономні технології відновлення і реконструкції житлових, громадських виробничих будівель та захисних споруд цивільної оборони» (державний реєстраційний номер 0116U002567), «Комплексні конструктивні рішення забезпечення енергоефективності громадських будівель в умовах євроінтеграції» (державний реєстраційний номер 0118U001097), «Енергоефективні конструктивні рішення елементів будівель» (державний реєстраційний номер 0121U109497). Робота відповідає напряму досліджень кафедри будівельних конструкцій.

Тематика дисертації відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в області оцінки технічного стану будівельних конструкцій відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд і інженерних мереж».



**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій,** які сформульовано у дисертаційній роботі, обумовлюється:

- використанням загальноприйнятих передумов і допущень для вибору моделей задач, що розглядаються в роботі;
- методів теоретичних досліджень для узагальнення, порівняння та аналізу конструкцій різних типів металевих силосів;
- методів будівельної механіки та опору матеріалів при визначенні напружено-деформованого стану спірально-фальцевого силосу;
- методів скінченних елементів при моделюванні напружено-деформованого стану спірально-фальцевого силосу;
- експериментальними методами дослідження елементів конструкцій спірально-фальцевих силосів;
- методів теорії надійності будівельних конструкцій для розроблення методики розрахунку надійності металевих спірально-фальцевих силосів.

Наукові результати, висновки та положення, які містяться в дисертаційній роботі Оксененко К.О., мають достатнє обґрунтування. Наведені автором рекомендації базуються на результатах, які отримано в ході проведення теоретичних досліджень, даних експерименту та порівняннях теоретичних результатів з відповідними експериментальними.

Наукові положення, висновки та рекомендації підтверджуються широкою апробацією на наукових конференціях.

**Достовірність та новизна наукових положень, висновків та рекомендацій.** Достовірність результатів роботи підтверджується проведеним комплексом експериментально-теоретичних досліджень.

**Наукова новизна** отриманих результатів:



- *вперше* одержано нові дані щодо характеру роботи елементів конструкцій спіральних-фальцевих силосів за результатами проведених експериментальних досліджень;
- *вперше* розроблено методику розрахунку надійності металевих спіральних фальцевих силосів;
- *вперше* отримано числові значення оцінок надійності спіральних-фальцевого силосу та проведено порівняння рівня надійності силосу при завантаженні різними сипучими матеріалами.;
- . *одержано нові результати* порівняння нормативних розрахунків визначення навантажень та впливів на конструкції силосу за різними нормативними документами.
- *отримали подальший розвиток* узагальнення даних щодо галузі можливого застосування металевих спіральних-фальцевих конструкцій.
- *підтверджено* відповідність результатів експериментальних досліджень спіральних-фальцевих силосів розрахункам за методом скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА-САПР.

#### **Практичне значення одержаних результатів роботи.**

Результати виконаних експериментально-теоретичних досліджень впроваджені в практику проектування та монтажу 21 спіральних-фальцевих силосів ПП «ВКФ «КРЕАТИВ ГРУП», підприємство займається зведенням спіральних-фальцевих конструкцій на території України. Зібрана інформація, щодо досвіду експлуатації металевих спіральних-фальцевих силосів на прикладі двох елеваторів була врахована при організації технічної експлуатації сучасного елеватора підприємства ТОВ «РОСТ-АГРО». Результати дисертаційної роботи використовуються в учбовому процесі у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» під час викладання навчальних курсів: «Сучасні проблеми надійності в будівництві» та «Методика граничних станів і нормування навантажень». Аспірантка Оксененко К.О. є співавтором навчального посібника – Pichugin S.F., Klochko L.A., Oksenenko K.O. Methods of limit



states and load standardization: manual for students of specialty 192 “Construction and civil engineering” Poltava: National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, 2022. 250 с.

#### **Особистий внесок здобувача.**

1. Проведено аналіз застосування спірально-фальцевих конструкцій у різних галузях промисловості.

2. Проведено аналіз методик визначення навантажень та впливів на конструкцію силосу за різними нормативними документами.

3. Досліджено особливості конструкції спірально-фальцевого силосу та його напружено-деформованого стану.

4. Проведено експериментальні дослідження фальцевого з'єднання штрипса при дії розтягуючих навантажень.

5. Проведено експериментальні дослідження оболонки спірально-фальцевого силосу в міжфальцевій зоні при згині.

6. Проведено порівняння результатів експериментальних досліджень із розрахунками методом скінченних елементів у програмному комплексі ЛПРА-САПР.

7. Проведено обстеження елеваторів зі спірально-фальцевими силосами на території України.

8. Розроблено методику розрахунку надійності металевих спірально-фальцевого силосу.

7. Проведено порівняння числових значень надійності спірально-фальцевого силосу при завантаженні різними сипучими матеріалами.

Постановка завдання, планування програми експериментальних і теоретичних досліджень, формулювання основних положень та висновків здійснювалося під керівництвом наукового керівника – д.т.н., професора Пічугіна С.Ф.

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором особисто.



### Повнота викладених основних результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях.

Основні результати дисертаційної роботи викладені в 12 публікаціях, із них 2 у наукометричній базі SCOPUS, 5 у фахових виданнях рекомендованих ВАК України, 2 – у закордонних виданнях

### Структура і об'єм роботи.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, п'ятьох додатків. Роботу викладено на 269 сторінках машинописного тексту, з яких 192 сторінки основного тексту; робота містить 102 рисунки, 14 таблиць, 159 найменувань літературних джерел (17 стор.) та 5 додатків (44 стор.)

### Зауваження по роботі.

1. У першому розділі не розглянуто формули розрахунку на міцність листових конструкцій, які перебувають у моментному напруженому стані та в умовах крайового ефекту. (ст. 25-28).

2. У першому розділі не проведено огляд експериментальних дослідження фальцевого замка як стикового елемента. (ст. 44).

3. У розділі 3 не розглянуто, визначення за ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 навантажень на силосну ємність від дії сипучого матеріалу в залежності від гнучкості силосу; у дисертації розглянуто тільки гнучкі силоси. (ст. 89).

4. У розділі 3 проведено порівняння значень горизонтального та вертикального тисків сипкого матеріалу на стінки силосу, але не наведено порівняння напружень в стінці. (ст. 93-94).

5. Потребує пояснення, чому було проведено експериментальне дослідження фальцевого замка на розтягуючі навантаження. (ст. 122-123).

6. При оцінюванні надійності не було враховано снігове та вітрове навантаження. (ст. 188).



### Загальні висновки.

Дисертація є завершеною науковою працею, в якій на основі проведених досліджень, отримані наступні наукові результати:

1. Наведено узагальнену класифікацію металевих силосів показала велику кількість різновидів металевих силосних ємностей. Описано технологію виготовлення спірально-фальцевих силосів, розглянуто поетапний процес монтажу конструкції на будівельному майданчику. Проаналізовано переваги та недоліки спірально-фальцевих силосів. На основі аналізу існуючих робіт, зроблено висновок, що робота фальцевих ребер при розтягуючих зусиллях та при згині міжфальцевої зони досі залишається дослідженою не в повній мірі. При великій кількості праць із методики оцінювання надійності металевих конструкцій, дослідження надійності спірально-фальцевих силосів відсутні. Це стримує більш широке впровадження цих інноваційних багатофункціональних листових конструкцій.

2. Розглянуто історії винаходу спірально-фальцевих конструкцій та проаналізовано область застосування цих конструкцій у різних галузях промисловості. За результатами проведеного дослідження створено таблицю із загальними даними щодо параметрів спірально-фальцевих силосів, застосованих у різних сферах промисловості. Узагальнення даних підтвердило широке застосування металевих спірально-фальцевих конструкцій, яке продовжує розширюватись, що доводить унікальність та перспективність даних конструкцій.

3. Одержано нові результати порівняння нормативних розрахунків визначення навантажень та впливів на конструкції силосу за ДБН В2.2-8-98 та ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012. Проведений аналіз виявив розходження у вказаних нормативних документах, що потрібно враховувати у проектуванні: – значення нормативних горизонтальних тисків на стінку силосу за ДСТУ, при яких враховувався розкид сипких матеріалів, на 27–



48 % більші, ніж при розрахунках за ДБН; 207 – значення нормативних вертикальних тисків від сил тертя тиски за ДСТУ більші на 1–23 %.

4. Досліджено специфіку конструкції спіральньо-фальцевих силосів, яка впливає на їх напружено-деформований стан. Доведено, що фальцеві ребра суттєво впливають на напружено-деформований стан силосної ємності. Поздовжні зусилля в місцях розміщення ребер передаються з ексцентриситетом, що призводить до появи згинаючого меридіонального моменту, який у свою чергу викликає згин у міжфальцевій зоні та одночасне розкриття фальцевого замка. Аналіз вище перерахованих умов роботи спіральньо-фальцевих силосних ємностей підтверджує важливість як дослідження фальцевого замка на розтягуючі навантаження, так і дослідження міжфальцевої зони оболонки силосу на згин.

5. Проаналізовано особливості розрахункової схеми спіральньо-фальцевих силосів. Проведено моделювання спіральньо-фальцевого силосу за допомогою програмного комплексу ЛПРА-САПР.

6. Розглянуто напружено-деформований стан міжфальцевої зони оболонки з постійною товщиною стінки. Проаналізовано алгоритм розрахунку прогину та згинаючого моменту в характерних перерізах, враховуючи специфіку конструкції спіральньо-фальцевих силосів. Проведено порівняння теоретичних розрахунків із результатами розрахунку силосу методом скінченних елементів у програмному комплексі ЛПРА-САПР. У результаті порівнянь отримано, що різниця значень переміщень, визначених за допомогою формул (3.39), (3.41) та в програмному комплексі ЛПРА-САПР складає: на контурі обичайки – 4,8%; у середині обичайки – 3,8%.

7. Проведено експериментальне дослідження елементів конструкції спіральньо-фальцевих силосів. Вивчено реальну роботу фальцевого з'єднання штрипса при дії розтягуючих навантажень та роботу оболонки в міжфальцевій зоні при згині. Виявлено, що експлуатаційні навантаження відповідають початковій стадії роботи фальця без його розкриття.



Доведено, що випробувана 208 конструкція фальця забезпечує надійну роботу оболонки на проєктні навантаження. Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що на всіх циклах завантаження міжфальцева зона працювала пружно.

8. Зроблено огляд прикладів будівництва та досвіду експлуатації металевих спірально-фальцевих силосів на території України. На основі обстеження Ботієвського елеватора, зроблено висновок про надійність спірально-фальцевих силосів, що знаходилися у багаторічній експлуатації.

9. Розроблено методику оцінювання надійності конструкцій металевих спірально-фальцевих силосів. Оцінювання надійності силосу було проведено за трьома станами силосної конструкції: з урахуванням кільцевих напружень, з урахуванням складного напруженого стану та складного напружено деформованого стану.

10. Одержано чисельні оцінки надійності спірально-фальцевого силосу при завантаженні різними сипучими матеріалами. Отримані чисельні значення підтвердили високу надійність металевих спірально-фальцевих силосів

Робота має актуальність, новизну і практичне значення та відповідає спеціальності 192 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди». Результати роботи достовірні.

Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи, а лише підкреслюють її багатогранність, складність узагальнення результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень.

Враховуючи висловлене, вважаю, що дисертаційна робота на тему: **«ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВИХ СИЛОСІВ ДЛЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ»**, відповідає вимогам МОН України (п. 13 та п. 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника»), а її автор,



Оксененко Катерина Олександрівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 192 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»

Офіційний опонент,

професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва,

Національного авіаційного університету,

доктор технічних наук, професор

*Олександр* О.І. Лапенко

*Фірма Олександр*  
*Завідувач* *С. Тнатюк*



*Віталь Карпенко*