

УДК 624.954

*Качуренко В. В., аспірант***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ДІЇ
СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ НА ГОФРОВАНІ
ПАНЕЛІ СТІНОК ДЛЯ ЄМНІСНИХ
КОНСТРУКЦІЙ****АНОТАЦІЯ**

На основі проведених експериментальних досліджень вивчено характер роботи гофрованих панелей стінок ємнісних споруд. Дослідження проведено із різними вихідними параметрами гофра для декількох типів перерізу гофра при дії сипучих матеріалів. Крім того виконано порівняльний аналіз із результатами комп'ютерного моделювання роботи таких панелей та уточнений спосіб моделювання перерозподілу горизонтального тиску на кожен окрему пластину гофра при розрахунку в проектно-обчислювальному комплексі.

Ключові слова: ємнісна споруда, гофрований профіль, експериментальне дослідження, деформації, комп'ютерне моделювання.

Вступ. В даний час в Україні особливий інтерес для практичної діяльності представляють проекти по введенню в експлуатацію нових об'єктів для приймання, відвантаження і зберігання зернових, зернобобових та олійних культур, які базуються на монтажі легко і швидкокомонтованих конструкцій силосного типу із збірних оцинкованих панелей товщиною до 3 мм. Зазначені конструкції мають свою більш ніж 50-річну історію створення та розвитку в американців, приблизно 30-річну історію у європейців. В Україні зазначені конструкції набули масове і широке використання приблизно з 2000 р. [1], при чому перевага надається силосним ємностям із стінкою з гофрованих панелей. Переваги таких конструкцій очевидні. У стислі терміни в найбільш родючих районах України здатні вирости зернові комплекси ємністю 60 тис. тон. Практика показує, що металевий силос має самі високі техніко-експлуатаційні показники: широкий типорозмірний ряд, можливість механізації, своєчасний контроль якості зерна і т. д. [2].

Актуальність. Досвід експлуатації силосних конструкцій подібного типу, не зважаючи на всі вище наведені переваги, показує, що термін служби елементів конструкцій, як правило, виявляється

нижче нормативного. В результаті відбувається передчасне часткове або повне виключення з роботи головних споруд підприємства, порушується нормальний технологічний процес, і потрібні додаткові кошти для відновлення або підсилення конструкцій. Результати обстежень підприємств показують, що приблизно 30% силосних ємностей зі збірних оцинкованих панелей хвилястого профілю підлягають доопрацюванню і посилення або потребують капітальних відновлювальних роботах в перші 5 років їх експлуатації. В цей же період часу найбільш часто відбуваються аварії і руйнування сталевих ємностей. Обсяг будівельно-монтажних робіт по підсиленню і попередженню руйнувань аварійних конструкцій збірних зернових ємностей коливається в широкому діапазоні, і в окремих випадках витрати на дострокове відновлення споруд можуть становити 50% витрат на їх зведення. Деформація в конструкціях збірних металевих силосів досягає такого значення, що нерідко подальша нормальна їх експлуатація зважаючи на небезпеку руйнування буває неможлива.

Таким чином, забезпечення належної надійності силосних споруд підприємств по зберігання і переробці зерна є однією з найбільш актуальних завдань на даний момент. Рішення її залежить від багатьох факторів, що виникають при проектуванні, будівництві, монтажі та експлуатації, ступінь вивченості яких неоднакова. Спільний вплив цих факторів на експлуатаційну надійність і несучу здатність споруд не є простою сумою окремих впливів і потребує належного дослідження і обґрунтування [1].

До основних причин зниження експлуатаційної надійності металевих силосів відносяться: фактор недостатньої вивченості об'єктів експлуатації, проектний фактор, будівельний фактор та експлуатаційний [3]. У своїх дослідженнях автор основну увагу приділяє першим двом факторам [4].

До їх числа відносяться: недосконалість розрахункової моделі споруд, що впливають з відсутності і неповноти даних по дійсній їх роботі; неправильно прийняті схеми споруд; застосування нових конструкцій без експериментальної перевірки; відсутність модельних досліджень; лабораторних випробувань; експериментальної перевірки отриманих даних, недосконалість конструктивних рішень; недостатнє врахування реальних умов будівництва конструкцій, їх експлуатації і ремонту; різні помилки в розрахунках і кресленнях.

Аналіз джерел. Незважаючи на те, що в результаті теоретичних [5, 6] і експериментальних досліджень [7, 8] виявлено ряд суттєвих особливостей і закономірностей роботи оболонок зернових силосів, питання про розрахункові навантаження на гофровані поверхні панелей в даний час практично не вивчене. Результатом недостатності даних досліджень є, також, неточності і неповнота нормативних документів з проектування збірних силосних металевих конструкцій. У введеному в дію ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 [9] згадується про відмінності розрахунку навантаження для силосу з плоскою та гофрованою стінкою, але мова там іде лише про коефіцієнт тертя для вертикальної складової тиску, а про те, як правильно задавати горизонтальну складову тиску на профільовану стінку не згадується.

У зв'язку з відносно невеликим терміном застосування сталевих силосів зі збірними сталевими панелями гофрованого профілю (як правило, закордонних виробників) вітчизняна нормативна база з належним теоретичним обґрунтуванням, практичними рекомендаціями і простою апробованою на практиці методикою проектування подібних конструкцій в даний час не розроблена. Проектування ведеться недержавними, приватними проектними організаціями, які не мають належної технічної та наукової бази для виконання зазначених робіт, як правило, простим копіюванням не завжди вдалим стосовно до наших умов зарубіжних зразків. Методом проб і помилок. Без виробничої обкатки [1].

Мета дослідження. Враховуючи всі вище наведені досі не вирішені питання автором на основі отриманих та проаналізованих результатів математичного моделювання було прийняте рішення надалі досліджувати поведінку гофрованих елементів стінки виконуючи власні експериментальні дослідження. Вони повинні дозволити якісно визначити характер деформації гофрованої стінки при дії навантаження від сипучих матеріалів та допомогти зрозуміти як саме горизонтальний тиск перерозподіляється на кожну окрему пластину гофра.

Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів. Для вирішення цієї задачі в якості експериментальної ємності була виготовлена одноступенева симетрична ємність призматичного типу з трьома плоскими і однією змінною гофрованою стінками. Змінна стінка дозволяє провести експеримент багаторазово із різними вихідними

умовами (змінюючи розмір і форму гофра). Розвантаження ємності полегшується, враховуючи можливість розбору однієї сторони. Матеріали дна та двох плоских вертикальних стінок були виготовлені із листів МДФ, третя плоска стінка для покращення умов спостереження за протіканням процесу експерименту виготовилась із скла. Гофрована змінна панель виготовлялась із технічного паперу. Загальний вигляд експериментальної конструкції наведений на рис. 1.

В процесі проведення експериментальних досліджень гофрована панель виготовлялась і навантажувалась із різними вихідними параметрами. Профіль гофра для панелі був виконаний у трьох варіантах: квадратний профіль з орієнтованою меншою пластиною до сипучого матеріалу, квадратний профіль з орієнтованою більшою пластиною до сипучого матеріалу та трикутний профіль (або зигзагоподібний), який виступав як спрощений варіант хвилястого (див. рис. 2). При цьому довжина хвилі, в залежності від бажаних значень деформацій та типу профіля, варіювалась від 19 мм до 69 мм.

Основні параметри, якими характеризувалися сипучі матеріали, були ретельно відібрані. До них увійшли фізико-механічні характеристики сипучого матеріалу: розмір і форма зерна, насипна густина, питома вага, кут природнього укосу, кут внутрішнього тертя і т. д.



Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної ємності з гофрованою стінкою в пазах

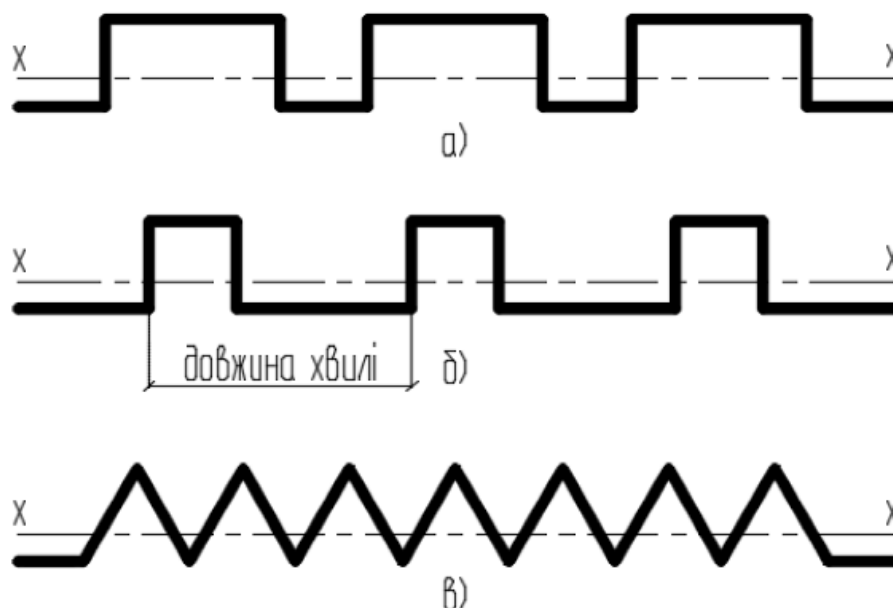


Рис. 2. Досліджувані типи профіля гофра:

- а) квадратний профіль з орієнтованою меншою пластиною до сипучого матеріалу;
 б) квадратний профіль з орієнтованою більшою пластиною до сипучого матеріалу;
 в) трикутний профіль

Засипка матеріалу виконувалось біля найбільш віддаленої стінки від гофрованої панелі для того, щоб навантаження від сипучого передавалось поступово, самопливом, без ударів (див. рис. 3).

Моделювання навантаження на окремі пластини гофра виконувалось в проектно-обчислювальному комплексі Structure CAD [10] по двом основним схемам.

Перша — гідростатична, коли крупність зерна сипучого заповнювача буде наближатися до нуля,

а тиск на кожну окрему пластину гофра буде однаковим і спрямований під прямим кутом. Друга — коли горизонтальна складова навантаження сприймається тільки внутрішньою вертикальною пластиною гофра, як результат досить суттєвої крупності зерна сипучого.

Основні висновки: В результаті проведених досліджень можна впевнено стверджувати, що у випадку, коли діаметр сипучого матеріалу більш ніж у десять разів менший за розмір найменшої



Рис. 3. Завантаження експериментальної ємності



Рис. 4. Руйнування панелі внаслідок втрати місцевої стійкості нижніх пластин другого та третього гофрів знизу



Рис. 5. Руйнування панелі внаслідок втрати місцевої стійкості пластин гофрів по всій висоті

пластини гофра, тоді схема навантаження є максимально близькою до гідростатичної, крім того і якісно і кількісно отримані результати математичного моделювання та натурного експерименту співпадають із відхиленням до 10%.

Слід зауважити, що майже всі руйнування панелей з квадратним профілем відбувалися внаслідок втрати місцевої стійкості окремих полиць гофра в нижній найбільш навантаженій частині панелі (друга чи третя хвиля), що зображено на рисунку 4, в той час коли трикутний (зигзагоподібний) профіль втрачав стійкість хвиль практично одночасно по всій висоті (рис. 5). Виключеннями з вище наведеної інформації були випадки, коли внаслідок початкових деформацій гофра (похибки при виготовленні, порушень кут між пластинами під власною вагою чи інші) хвилю гофра заклинювало в пазах. В загальній кількості проведених експериментів такі випадки траплялись у 10-12%.

Загалом, трикутний профіль виявився менш міцним та стійким, ніж квадратний, як і очікувалось в результаті теоретичних розрахунків. Підтвердженням цього є те, що лише ємність з панелями квадратного профілю витримувала повне завантаження (рис. 6), в той час, коли панелі з трикутним профілем руйнувалися при завантаженні ємності ледь більше ніж на половину висоти.

Крім того, цікавим є те, що при однакових розмірах довжини хвилі та окремих пластин гофра деформації квадратного профілю з орієнтованою меншою пластиною до сипучого матеріалу (рис. 2, а) відбувалися вниз, а квадратного профілю з орієнтованою більшою пластиною до сипучого матеріалу (рис. 2, б) — вверх. Це підтверджує вірність виконаних попередньо математичних моделей, адже якісно



Рис. 6. Приклад експериментальної ємності з квадратним профілем гофра при повному завантаженні

характер та напрямок деформацій експериментальної панелі виявився однаковим з моделлю.

Отже, на основі виконаних досліджень був уточнений спосіб моделювання перерозподілу горизонтального тиску на кожен окрему пластину гофра, з яких складається стінка силосу, визначенні характер та напрямок деформацій різних типів гофра у процесі завантаження сипучих матеріалів та отриманні якісні показники деформацій для співставлення їх із розрахунковими, отриманими при моделюванні математичної моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Подгородецкий О. А. Актуальные вопросы обеспечения эксплуатационной надежности силосов / О. А. Подгородецкий // *Хранение и переработка зерна*. — 2010. — Вып. 1. — С. 29-31.
2. Кирпа Н. Я. *Хранение без потерь и ухудшения качества* / Н. Я. Кирпа // *Зерно*. — 2011. — Вып. 6. — С. 120-126.
3. Банников, Д. О. *Вертикальные жесткие стальные емкости: современные концепции формирования* / Банников Д. О. — Днепропетровск, 2009. — 186 с.
4. Качуренко, В. В. *Особенности моделирования тиску сипучого материала на гофровані сталеві елементи [Текст]* / В. В. Качуренко, Д. О. Банников // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. — 2014. — Випуск 28. — С. 367 — 376.
5. Гячев, Л. В. *Основы теории бункеров* / Л. В. Гячев. — Новосибирск: изд-во НГУ, 1992. — 312 с.
6. Семенов, В. Ф. *Бункеры и хранилища зерна : учебн. пособие* / В. Ф. Семенов. — Барнаул: изд-во АлтГТУ, 1999. — 221 с.

7. Экспериментальное исследование стенок бункеров на моделях: Отчет о НИР по теме № 9 148-51-81 (заключит.) / Госуд. проектн. ин-т строит. металлокон-ий "Днепропроектстальконструкция". — Днепропетровск, 1982. — 413 с.

8. Ягофаров, Х. Основы теории проектирования листовых металлических конструкций. Пирамидально-призматический бункер / Х. Ягофаров, Н. Н. Собакин. — Екатеринбург: УрГУПС, 2006. — 234 с.

9. ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 "Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 4. Бункери і резервуари. — введ. 2014-01-07. — К.: Мінрегіонбуд України, 2012. — 150 с.

10. Карпиловський, В. С. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD / В. С. Карпиловський, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер. — М.: Издательство СКАД СОФТ, 2011. — 656 с.

АННОТАЦИЯ

На основе проведенных экспериментальных исследований изучен характер работы гофрированных панелей стенок емкостных сооружений. Исследование проведено с различными исходными параметрами гофра для нескольких типов сечения гофра при воздействии сыпучих материалов. Кроме того, выполнен сравнительный анализ с результатами компьютерного моделирования работы таких панелей и уточнен способ моделирования перераспределения горизонтального давления на каждую отдельную пластину гофра при расчете в проектно-вычислительном комплексе.

Ключевые слова: емкостное сооружение, гофрированный профиль, экспериментальное исследование, деформации, компьютерное моделирование.

ANNOTATION

On the basis of experimental research studied the nature of the corrugated panel walls capacitive structures. The study was conducted with different output parameters for multiple types of gofra flute section under the action of bulk materials. Besides a comparative analysis of the results of computer simulation of such panels and a revised method of modeling horizontal redistribution of pressure on each individual plate corrugation in the calculation of design computing systems were performed.

Keywords: bulk construction, corrugated section, experimental investigation, distortion, computer simulation.