

Качуренко В. В., аспірант

Банніков Д. О., д. т. н., професор

ЕФЕКТИВНИЙ ГОФРОВАННИЙ ПРОФІЛЬ ДЛЯ СТАЛЕВИХ ЄМНОСТЕЙ

Наведені результати вибору раціонального гофрованого перерізу стінки силосу з точки зору напружень та деформацій, що виникають у пластинах гофра, а також геометричних характеристик перерізу.

Ключові слова: силос, ємнісна споруда, стінка силосу, гофрований профіль, раціональний переріз, напружено-деформований стан, момент опору.

Приведены результаты выбора рационального гофрированного сечения стенки силоса с точки зрения напряжений и деформаций, возникающих в пластинах гофра, а также геометрических характеристик сечения.

Ключевые слова: силос, ёмкостное сооружение, стенка силоса, гофрированный профиль, рациональное сечение, напряженно-деформированное состояние, момент сопротивления.

The work states the selection results of the efficient corrugated section of the silo wall from the point of view of strains and deformations, which occur in corrugated plates, as well as from the point of view of geometrical properties of section.

Keywords: Silo, bulk construction, silo wall, corrugated section, efficient section, deflected mode, moment of resistance.

Вступ. Головна складова ланка агропромислового комплексу України – сільське господарство – є однією з провідних галузей матеріального виробництва та має важливе значення для постачання продовольства населенню й сировини для промисловості. Основним напрямком сільського господарства нашої країни є

виращування зернових культур. Тільки минулого року врожай зернових в Україні склав близько 60 млн тон.

На відміну від промисловості в сільському господарстві більшість виробничих процесів носять сезонний характер, оскільки вони пов'язані з природними умовами росту рослин. Тому одним з найбільш важливих частин технологічного процесу є якісне зберігання врожаю на протязі року.

При первіснообщинному устрої запаси зерна зберігали у плетених кошиках. В епоху рабовласництва – в обпалених глиняних посудинах. Для феодального ладу характерно розмаїття зерносховищ, викликане прагненням збільшити термін збереження зерна без псування та втрат: підвали, комори, склади, побудовані з різних будівельних матеріалів.

В теперішній час існують різні типи зерносховищ. Різноманітність ця пов'язана з їх призначенням, цільовим використанням, місткістю, конструктивним виконанням. Однак, найпоширенішим видом зерносховищ на сьогодні є сталеві силоси (рис. 1), оскільки вони вигідно переважають за вартістю і строками зведення [1].



Рис. 1. Загальний вигляд сталевих силосів

Аналіз джерел. Приклади практичного виконання розрахунку і конструювання ємнісних споруд можна знайти в багатьох виданнях, як наприклад, [2]. Проте, в подібній літературі не можливо знайти чітких рекомендацій, щодо особливостей розрахунку силосу з гофрованою стінкою. При розробці нових конструкторсько-технологічних рішень більшість спеціалістів зосередились на розробці легкозбірних

конструкцій ємностей з застосуванням гофрованих панелей [3]. Але і вони не поспішають пролити світло на безліч питань, пов'язаних з використанням гофра, замість листових панелей. Наприклад, як правильно моделювати тиск горизонтального навантаження на окремі пластини гофра і від чого це залежить, який тип перерізу профілю гофра виявляється більш раціональним з економічної точки зору, чи як впливають розміри хвилі гофра на його міцнісні характеристики.

Постановка проблеми. Сталеві силоси дають багато істотних переваг в порівнянні з залізобетонними. Проте, всупереч всім перевагам досвід експлуатації силосних конструкцій подібного типу показує, що термін служби їх несучих елементів і елементів конструкцій, як правило, виявляється нижче нормативного.

У результаті відбувається передчасне часткове або повне виключення з роботи головних споруд підприємства, порушується нормальний технологічний процес, як наслідок, потрібні додаткові кошти для відновлення або посилення конструкцій. Результати обстежень підприємств свідчать, що приблизно 30% силосних ємностей зі збірних оцинкованих панелей хвилястого профілю підлягають доопрацюванню і посиленню або потребують капітальних відновлювальних робіт у перші 5 років їх експлуатації. Деформації в конструкціях збірних сталевих силосів досягають такого значення, що нерідко подальша нормальна їх експлуатація, зважаючи на небезпеку руйнування, буває неможлива [4, 5].

Одним з головних факторів, що призводить до втрати експлуатаційної надійності є фактор недостатньої вивченості об'єктів експлуатації. Незважаючи на те, що в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виявлено ряд суттєвих особливостей і закономірностей роботи тонкостінних оболонок зернових силосів, питання про розрахункові навантаження на гофровані поверхні панелей, зокрема хвилясті, досі остаточно не вирішені. Ця обставина пов'язана із рядом причин, до основних з яких слід віднести відсутність єдиної фізичної та структурно-механічної моделі сипучого матеріалу і методики визначення її параметрів, що набагато ускладнює обґрунтування розрахункових навантажень; суперечність експериментальних даних; недостатність комплексних досліджень з вивчення роботи силосу в цілому [4, 6].

Мета дослідження. В даний час практично не вивчено, чи має суттєвий вплив профіль гофрованої стінки силосу на несучу здатність цих конструкцій. У зв'язку з відносно невеликим терміном застосування сталевих силосів зі збірних сталевих профільованих панелей (як правило, зарубіжного виробника) вітчизняна нормативна база з належним теоретичним обґрунтуванням, практичними рекомендаціями і простою, апробованою на практиці методикою проектування подібних конструкцій в даний час не розроблена [7]. Отже, існує реальна необхідність більш детального вивчення та аналізу роботи, вдосконалення конструктивного рішення стінки сталевих силосних споруд, а саме дослідження та аналітичного розрахунку впливу конструктивного рішення профілю гофра стінки силосу на міцність і жорсткість конструкції. Зважаючи на вищевикладене, метою роботи є пошук найбільш раціональної форми гофра для стінових панелей сталевих силосів.

Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів. Аналіз продукції сучасних зарубіжних та вітчизняних виробників сталевих ємностей виявив, що існує безліч варіантів профілів гофра для стінки силосу. Кожен виробник стверджує, що саме його конструктивне рішення є найбільш прогресивним з огляду оптимального співвідношення надійності, економічності та технологічності. Але чи дійсно існують істотні відмінності в роботі силосів із панелей з різними формами гофра – точних наукових доказів цього поки немає.

Перш ніж вдалось порівняти різноманітні конфігурації профілів гофра, авторам довелось зіштовхнутись з вирішенням ще однієї проблеми: дослідити можливі варіанти моделювання передачі горизонтального навантаження від сипучого матеріалу на окремі пластини гофра.

Для цього в ході попередніх робіт були досліджені три варіанти моделювання навантаження від сипучого матеріалу на гофровану стінку розрахункової моделі силосу (рис. 2), зокрема, на окремі пластини гофра з використанням методу скінченних елементів у проектно-обчислювальному комплексі Structure CAD для Windows (SCAD). Всі розрахунки були виконані згідно з вимогами чинних нормативних документів [8, 9] та проведені для семи типів профілів гофра.

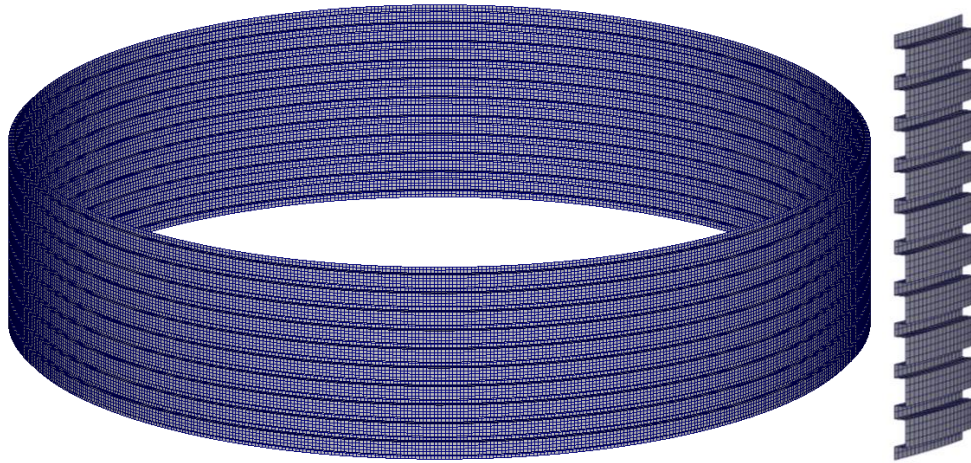


Рис. 2. Розрахункова модель для квадратного типу профілю

Ради максимальної об'єктивності досліджень в роботі були прийняті гофровані профілі з однаковою висотою гофра, довжиною хвилі та товщиною листа (рис. 3).

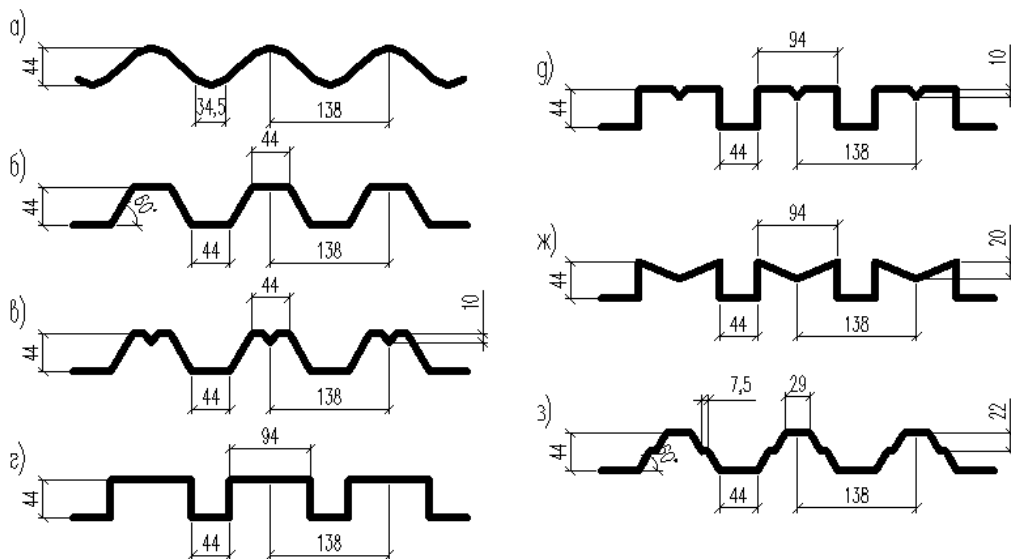


Рис. 3. Досліджувані типи профілів

З отриманих результатів напружено-деформованого стану по кожній окремій пластині гофра були відібрані максимальні значення, зведені в таблиці та проаналізовані. Результатом дослідження стало визначення двох крайніх варіантів прикладання навантаження: гідростатичного (на всі пластини гофра) та часткового (тільки на внутрішні вертикальні пластини гофра). Третій спосіб моделювання навантаження передбачався найбільш наближеним до реальної ситуації і при розрахунку дійсно виявився проміжним між попередніми крайніми варіантами.

При детальному порівнянні отриманих даних можна було помітити, що кількісна різниця між результатами для першого та другого способу моделювання навантаження за максимальними деформаціями наближалася до 20% (рис. 4), а за

напруженням: для внутрішнього шару пластин доходила до 50%, а для зовнішнього – сягала 80%. Це наочно свідчить про необхідність розробки чіткої методики аналітичного розрахунку перерозподілу горизонтального тиску на кожен окрему пластину гофра. Отже, для подальших досліджень способом задання навантаження при розрахунку нехтувати не можна і потрібно враховувати обидва крайніх випадки. Саме так і порівнювались результати напружено-деформованого стану всіх семи профілів гофра.

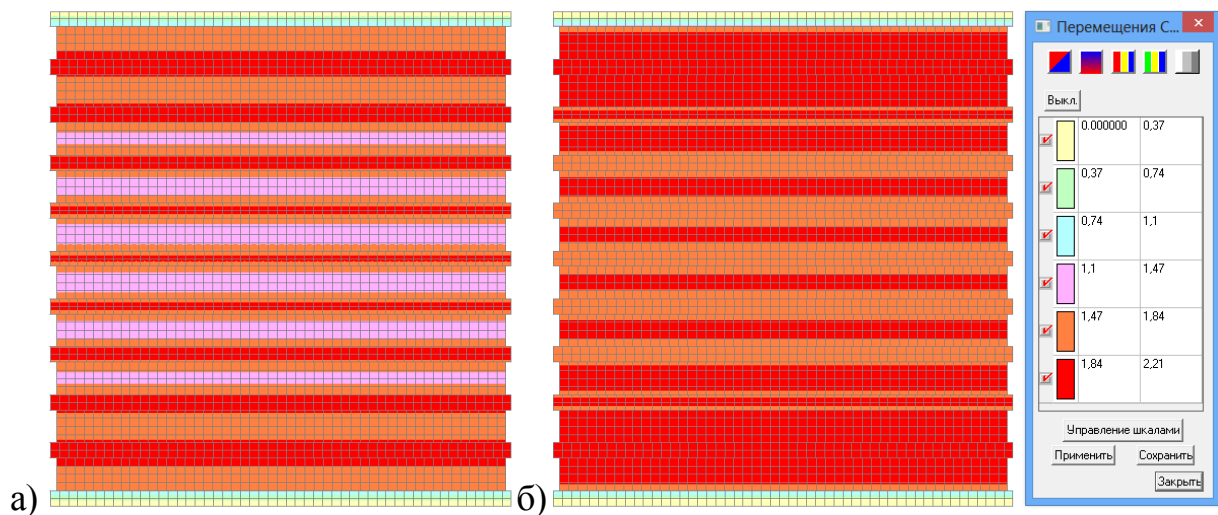


Рис. 4. Сумарні переміщення в силосі з квадратним типом профілю в мм:

- а) для гідростатичного способу навантаження (на всі пластини);
- б) для часткового способу навантаження (тільки на внутрішні пластини)

За кордоном освоєний широкий асортимент виробництва силосів для зберігання сипучих матеріалів з різними видами стінок. Але фактично стандартом для корпусів універсальних металевих вентильованих силосів в Україні є хвилясті панелі [10], які використовуються для будівництва силосів порівняно недавно і взяті нашими підприємствами на озброєння із зарубіжного досвіду.

Проте за результатами дослідження саме хвилястий профіль (рис. 3, а)), який так широко використовується в нашій країні, виявився найгіршим за деформаціями та одним із гірших за напруженнями, що виникають в пластинах гофра при обох способах моделювання навантаження. Кращі результати дали квадратний профіль та квадратний підсилений профіль, що зображені на рис. 3. відповідно г) та д).

Аналізуючи квадратний підсилений профіль, виникла пропозиція модернізувати його, зробивши вигин на всю полицю та у протилежний бік. При

цьому технологічно та за формою він є простішим у виготовленні. В результаті отриманий профіль має вигляд зображений на рис. 5:

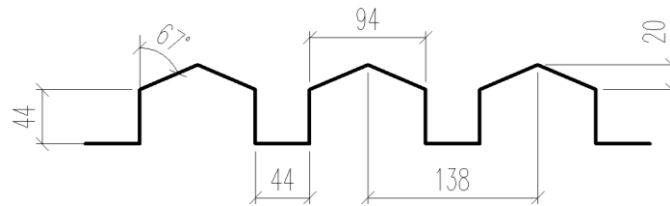


Рис. 5. Новий тип профілю

Розрахункову модель з новим типом профілю було змодельовано аналогічно до семи вищезазначених. Аналіз напружено-деформованого стану в порівнянні з попередньо отриманими результатами показав, що даний тип профілю є найефективнішим із усіх розглянутих. В порівнянні з хвилястим профілем новий тип має на 17% нижчий показник напружень та на 25% менші значення деформацій. Це свідчить про можливість зменшення товщини сталевго гофрованого листа для стінки силосу майже на $\frac{1}{4}$, а отже і зменшення витрат на матеріал.

Далі для підтвердження отриманих результатів були знайдені геометричні характеристики кожного окремого типу профілю, включно з новим. Звіти формувались програмою «ТОНУС», що входить до складу Structure CAD для Windows. Розглядалась одна хвиля гофра з габаритами 44×138 мм та товщиною 1 мм.

Гофровані стінові панелі, на відміну від плоских, мають підвищену жорсткість в горизонтальному напрямку, в цьому їх перевага. Це важлива властивість панелей з гофрованого профілю забезпечує жорсткість і стійкість силосів. Тому при розрахунку основна увага зверталась на значення мінімального моменту опору відносно осі V, перпендикулярної до напрямку горизонтальної складової навантаження (рис. 6). Для оцінки отриманих результатів введений параметр ρ , який визначався за формулою 1:

$$\frac{W_{V-}}{A}, \quad (1)$$

де W_{V-} – значеннями мінімального моменту опору відносно осі V, см^3 ;

A – площа поперечного перерізу, см^2 .

Отримані результати для всіх восьми типів профілів наведені в табл. 1.

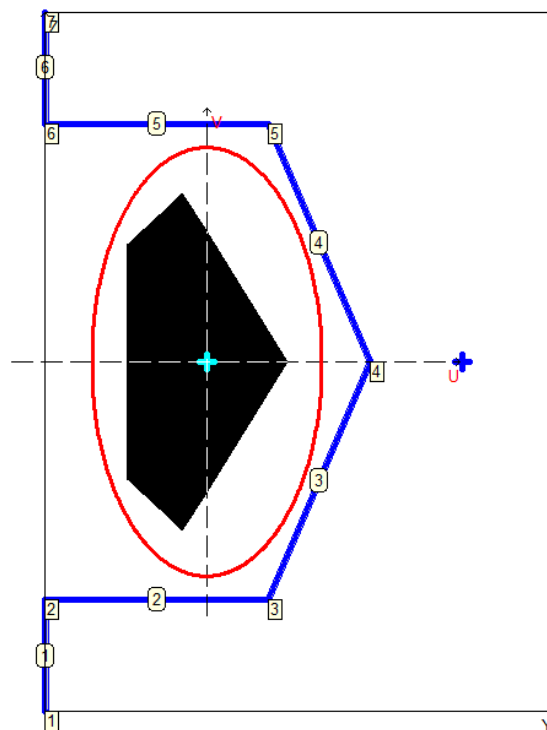


Рис. 6. Переріз профілю для розрахунку геометричних характеристик нового типу гофра

Таблиця 1

Результати розрахунків геометричних характеристик перерізів профілів

№ п/п	Тип профілю гофра	Площа поперечного перерізу, A , см^2	Мінімальний момент опору відносно осі V , W_{V-} , см^3	ρ
1		1,666	1,502	0,902
2		1,892	2,619	1,384
3		1,992	2,570	1,290
4		2,260	2,764	1,223
5		2,360	2,725	1,155
6		2,342	2,260	0,965
7		1,892	2,108	1,114
8		2,342	3,705	1,582

Аналізуючи дані, наведені в табл. 1, видно, що із усіх досліджуваних профілів найбільше значення мінімального моменту опору відносно осі V має новий тип профілю №8. Крім того, як і в попередньому дослідженні, найгіршим знову виявився хвилястий профіль №1. Про це саме свідчить і параметр ρ , який характеризує відношення мінімального моменту опору до площі перерізу гофра. Якщо порівняти між собою ці два типи профілів, то виходить, що за геометричними характеристиками новий тип переважає хвилястий профіль на 75%.

Таким чином профіль з паралельними поясами та вигнутими назовні під кутом полицями є найефективнішим з усіх розглянутих для конструкцій силосів і може бути рекомендований для практичного використання.

Основні висновки та напрямки можливих подальших досліджень.

Аналіз наявної вітчизняної та закордонної нормативної і фахової літератури дозволяє констатувати, що одна з основних сучасних причин пошкодження профільованих стінок сталевих силосів – відмови та руйнування від втрати міцності та жорсткості сталеву стінкою. Досі достатньо не досліджено, чи має суттєвий вплив профіль стінки силосу на несучу здатність цих конструкцій.

В теперішній час існує велике різноманіття форм поперечного перерізу гофрованої стінки силосів. Вони відрізняються за розмірами, формою. Найбільш вживаним в Україні є хвилястий профіль.

Проте результати дослідження показали, що з точки зору напружень та деформацій, що виникають в пластинах гофра та за геометричними характеристиками цей профіль є одним з найгірших. Зате новий модернізований тип профілю з паралельними поясами та вигнутими назовні під кутом полицями виявився найкращим за результати обох досліджень та є найбільш раціональним з точки зору можливості зменшення товщини листа сталі на 25%.

В теперішній час ведеться оформлення патентних прав на даний тип перерізу профіля гофра та на вузол болтового з'єднання гофрованих панелей з таких профілів.

Найблищим часом планується розглянути проекти силосів, в якому будуть використані результати досліджень, а саме прийняті нова вдосконалена

конструкція несучої стінки та хвилястий профіль, що дасть можливість порівняти економічний ефект від вибору нового профілю.

Література:

1. Резуев, С. Б. Металлические силосы для хранения зерна: мифы и реальность / С. Б. Резуев, И. В. Бакаев // Хранение и переработка зерна. Научно-практический журнал. – 2011. – №7.
2. Тахтамышев, А. Г. Примеры расчета стальных конструкций / А. Г. Тахтамышев. – М.: Изд-во лит-ры по строит-ву, 1969. – 264 с.
3. Соболев, Ю. В. Металлические силосы. Современное состояние и опыт строительства: [учебн. пособие для вузов] / Ю. В. Соболев, С. А. Ращепкина, А. П. Денисова. – Саратов, 1988 – 51 с.
4. Беляев, Б. И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Б. И. Беляев, В. С. Корниенко. – М.: Издательство литературы по строительству, 1968. – 209 с.
5. Добромислов, А. Н. Анализ аварий промышленных зданий инженерных сооружений / А. Н. Добромислов // Промышленное строительство. – 1990. – № 9. – 9-10 с.
6. Банников, Д. О. Вертикальные жесткие стальные емкости: современные концепции формообразования / Банников Д. О. – Днепропетровск, 2009. – 11 с.
7. Подгородецкий, О. А. Актуальные вопросы обеспечения эксплуатационной надёжности силосов / О. А. Подгородецкий // Хранение и переработка зерна. Научно-практический журнал – 2011. – №11.
8. ДБН В.2.2-8-98 Підприємства, будівлі і споруди по зберіганню та переробці зерна. – Замість СНиП 2.10.05-85. – К.: Держбуд України, 1998. – С. 6.
9. ДБН В.2.6-163:2010 Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – Замість СНиП II-23-81*; введ. 01-12-2011. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с.
10. Куприевич, А. Б. Про отечественные металлические силосы. Особенности проектирования и строительства / А. Б. Куприевич // Зерно. Журнал современного агропромышленника – 2011. – №10.