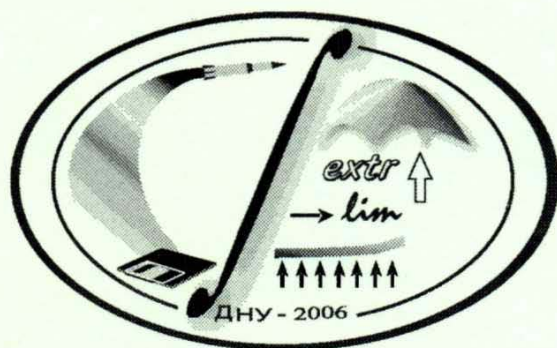


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ
ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ МЕХАНІКИ
ДЕФОРМІВНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА**

**METHODS OF SOLVING APPLIED PROBLEMS
IN SOLID MECHANICS**



7
ВИПУСК

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН СТАЛЕВОЇ ПАНЕЛІ БУНКЕРНОЇ ЄМНОСТІ

Приведены результаты численного моделирования работы стальной панели для бункерной емкости. Анализ проводился на основе МКЭ с применением проектно-вычислительного комплекса SCAD. Описаны основные особенности напряженно-деформированного состояния панели при действии статической равномерно распределенной нагрузки на ее поверхность.

STRESS-STRAIN STATE of STEEL PANEL for BUNKER CAPACITY

The results of numerical modeling of work of steel panel for bunker capacity are presented. The analysis was made on the base of FEM with the usage of designing complex SCAD. The main peculiarities of panel stress-strain state under static regularly distributed load on its surface are given.

Вступ. Бункерні ємнісні споруди в теперішній час є одним з досить розповсюджених видів будівельних конструкцій. Вони призначені для тимчасового або довготривалого зберігання різноманітних сипучих матеріалів, таких як вугілля, руди, каміння, с/г культури, хімічні речовини тощо.

На жаль, досвід експлуатації існуючих споруд такого класу свідчить про їх невисоку надійність, явно зайві перевитрати матеріалу при їх проектуванні та виготовленні, а також необхідність постійного використання допоміжного обладнання для розвантаження таких ємностей [1-3]. В свою чергу, це призводить до необґрунтованих витрат матеріальних та технічних ресурсів, підвищеного зносу обладнання, додаткового використання робочої сили та зменшенню довговічності ємнісних конструкцій.

Тому однією з досить актуальних проблем в сфері сучасного бункеробудування є необхідність вдосконалення існуючого конструктивного рішення ємнісних споруд у бік підвищення їх довговічності і ремонтпридатності.

Існуюча конструктивна схема бункерної споруди передбачає виконання ємності з двох частин - верхньої вертикальної і нижньої похилої [4, 5]. Обидві частини виконуються зі сталевих листів відносно невеликої товщини (4-16 мм). Вони зварюються між собою стиковими зварними швами, формуючи зовнішню поверхню конструкції. Для можливості сприйняття тиску від сипучого вантажу листи підкріплюються ребрами жорсткості таврового, кутникового або двотаврового профілю, які в свою чергу для забезпечення жорсткого просторового положення фіксуються спеціальними фасонками, розташованими по всій довжині ребер. Всі з'єднання виконуються зварними. Ребра найчастіше розташовуються вертикально або нормально до поверхні стінки, але можуть бути використано і вертикальне розташування, яке зустрічається частіше у пересувних ємностях.

Внутрішня поверхня ємності спеціально футерується таким чином, щоб зменшити шкідливий вплив сипучого вантажу на конструкцію під час завантаження-вивантаження. Тип і конструкція футерівки істотно залежить від виду

сипучого матеріалу. Така конструктивна схема в остаточному варіанті сформувалася приблизно у середині XX ст. і без суттєвих змін використовується і до тепер.

Як свідчить накопичений досвід експлуатації бункерних ємнісних споруд ця конструктивна схема має низку недоліків, які можуть суттєво погіршувати її надійність та довговічність (див. [1-3]).

Так, наприклад, всі елементи конструкції з'єднуються зварюванням, що приводить до виключно великої загальної довжини зварних швів. Окрім цього, ребра жорсткості створюють додаткові горизонтальні поверхні, сприяючи розвитку інтенсивної корозії в умовах діючого промислового підприємства, особливо при роботі з сипучими матеріалами, здатними виділяти сіркові з'єднання. Ще одним недоліком існуючого конструктивного рішення такого типу ємностей є необхідність у разі проведення обстежень або ремонтних робіт проводити відкріплення і зворотне прикріплення елементів футерівки, що є досить нетехно-логічною і складною операцією. Виключно незручною є, також, при значних габаритах конструкції необхідність виконання досить точного стикування окремих частин і елементів споруди між собою.

Таким чином, існуюча конструктивна схема бункерних ємностей потребує внесення суттєвих змін. Автором був запропонований принципово новий підхід до конструювання таких споруд. Його сутність полягає в формуванні конструкції ємності не у вигляді суцільних сталевих листів із привареними ребрами жорсткості, а у вигляді окремих панелей. Це повністю вирішує питання ремонтпридатності конструкції, тому що монтування або демонтування металевої ємності виконується зболчуванням або розболчуванням окремих стінових панелей, відповідно. Кожна панель при цьому виготовляється як серійний елемент окремо і поставляється на місце збірки як готовий суцільний конструктивний елемент. При проведенні ремонтних робіт пошкоджена панель відкрійшується від сусідніх розболчуванням і далі після відповідного ремонту вставляється на своє місце або замінюється на аналогічну нову.

Суттєвим питанням залишається питання стосовно розробки конструктивного рішення панелі. Саме це і є основною задачею, яка досліджувалась автором. В даній публікації представлено хід її вирішення та наведено отриманий кінцевий результат, що може бути сформульовано, як ціль публікації.

Проведення досліджень ефективності конструктивного рішення панелі. Для досліджень був обраний один із сучасних чисельних методів - метод скінчених елементів. Його реалізація проводилась із застосуванням спеціалізованого проектно-обчислювального комплексу SCAD for Windows.

Досліджувалась робота окремої панелі під впливом статичного рівномірно розподіленого по внутрішній стороні панелі навантаження (моделювання тиску сипучого матеріалу). Граничні умови передбачали шарнірне закріплення панелі по всьому периметру. Вибір скінчено-елементної сітки диктувався особливостями, встановленими автором у його попередніх дослідженнях [6]. Розрахунки велися у лінійній постановці.

В першій серії розрахунків конструкція панелі була виконана за традиційною схемою із використанням ребер жорсткості, що прикріплювались до плоского сталевго листа. На рис. 1 приведено напружено-деформований стан такої панелі. Видно, що він відрізняється досить високою нерівномірністю із наявністю чітко окреслених зон локальної концентрації напружень. Наведені на рисунку основні показники напружено-деформованого стану дають уяву про його рівень. Більш темним місцям на картині розподілу напружень відповідають зони з більш високим їх значенням.

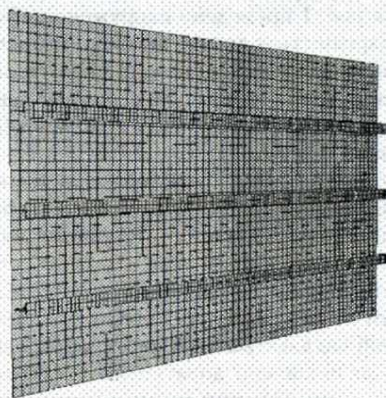
Зважаючи на отримані результати, було вирішено замінити плоский лист на гофрований з тією ж самою товщиною. Досвід використання таких листів для споруд вже існує, і він досить позитивний (див., наприклад, [7]).

На рис. 2 приведено загальний вигляд, картини розподілу напружено-деформованого стану і основні його показники для цього випадку. Рівень навантажень залишено таким самим, як і у попередній моделі. Видно, що несуча спроможність такої панелі виявляється нижчою за попередню.

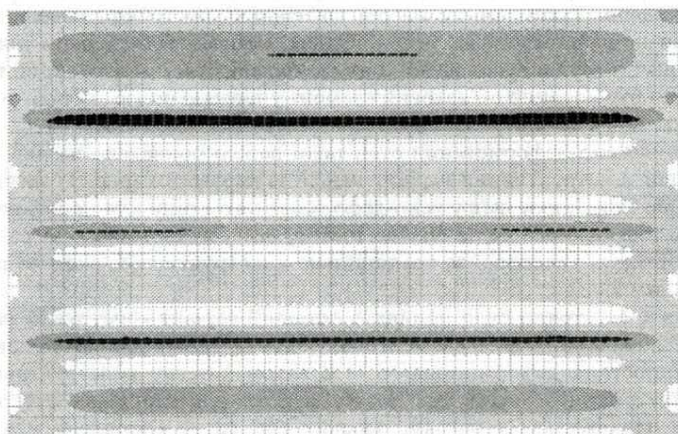
Тому, такий лист було підсилено додатковим плоским листом, розташованим з внутрішньої сторони (рис. 3) і при цьому зменшена товщина гофрованого листа вдвічі. Таким чином масові показники конструкції панелі залишаються приблизно на попередньому рівні. Однак, виявленим недоліком такої конструкції є значні зсувні зусилля по контуру панелі, тому для їх сприйняття в конструкцію був доданий обов'язковий елемент у вигляді полос зі сталі, розташованих по периметри панелі.

Напружено-деформований стан такої панелі приведено на рис. 4. Порівнюючи цей конструктивний варіант панелі із первісним (рис. 1) можна констатувати, що показники напружено-деформованого стану для панельної ємності на основі гофрованого листа значно нижче, ніж у аналогічного за розміром фрагменту стінки, виконаної за традиційною конструктивною схемою при практично однаковій вазі.

Отже, остаточно було прийнято останній варіант конструкції панелі. Зазначимо, що кожний з його елементів служить не тільки для покращення показників міцності та деформативності, а й виконує певну конструктивну функцію. Так, внутрішній плоский лист застосовується для кріплення футерівки, яка зазвичай виконується у вигляді плоских елементів. Скріплення між собою всіх трьох шарів (зовнішній гофрований лист, внутрішній плоский лист та плити футерівки) виконується за допомогою проміжних болтів. Обв'язкові елементи необхідні для скріплення окремих панелей між собою за допомогою високоміцних болтів. При цьому діаметр отворів для них може бути на 3 - 4 мм більше за діаметр болта, що є позитивним моментом з точки зору технології виготовлення такого з'єднання. Як свідчить накопичений досвід експлуатації конструкцій, з'єднання яких виконані на високоміцних болтах, послаблення елементів отворами не має практичного значення, оскільки монолітність всього з'єднання забезпечується за рахунок сил тертя між окремими елементами пакету, що виникають при сильному контрольованому стиску їх болтами.



a)



1.57 111.95
111.95 222.93

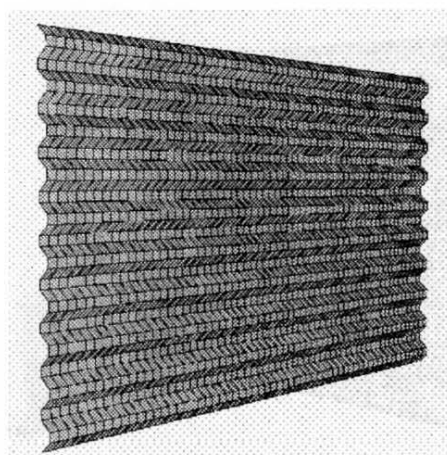
222.99 392.71
392.71 443.09

Внешний слой NE4-Him2 Загружение 1

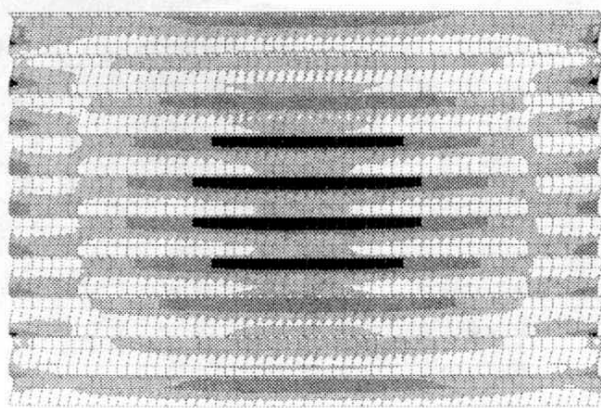
б)

Показники варіанту:
маса панелі – 1625 кг, максимальні напруження – 440 МПа, максимальний прогин – 56 мм.

Рис. 1 – Загальний вигляд (а) та напружено-деформований стан (б) панелі із традиційною конструкцією



а)



4.18 129.71
129.71 263.24

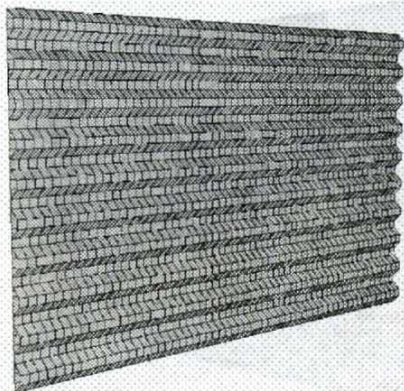
263.24 377.77
377.77 802.3

Внутрішній стій НБ4 НММ2 Затягнення 1

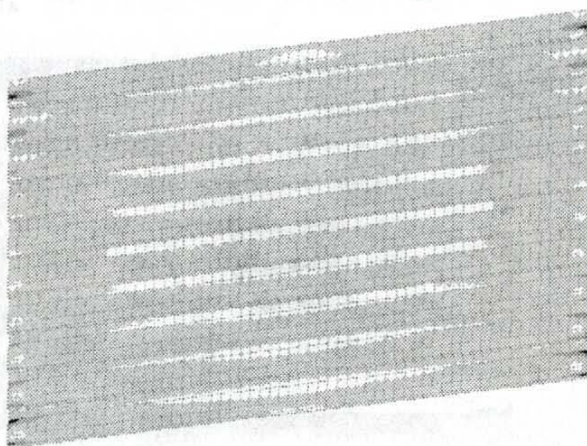
б)

Показники варіанту:
маса панелі – 1640 кг, максимальні напруження – 502 МПа, максимальний прогин – 97 мм.

Рис. 2 – Загальний вигляд (а) та напружено-деформований стан (б) гофрованого листа



а)



□ -457.94 21.05
 ▨ 21.05 495.05

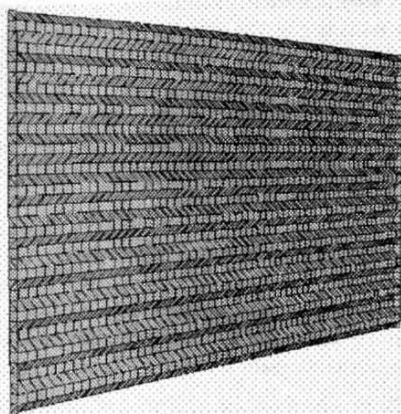
▩ 495.05 969.04
 ■ 969.04 1443.03

Внешний слой S1 11мм2 Загружение 1

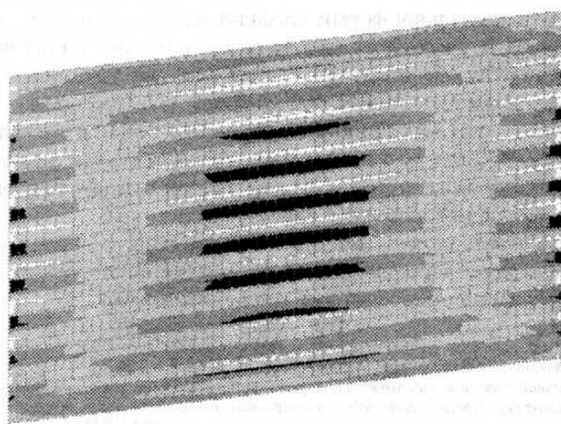
б)

Показники варіанту:
 маса панелі – 1670 кг, максимальні напруження – 1440 МПа, максимальний прогин – 30 мм.

Рис. 3 – Загальний вигляд (а) та напружено-деформований стан (б) гофрованого листа з підсилюючим плоским листом



a)



□ -112.22 -28.8
■ -29.6 55.03

■ 55.03 136.65
■ 136.65 222.28

Внутренний слой S1 11мм2 Запряжение 1

b)

Показники варіанту:
маса панелі – 1730 кг, максимальні напруження – 222 МПа, максимальний прогин – 30 мм.

Рис. 4 – Загальний вигляд (а) та напружено-деформований стан (б) панелі на основі гофрованого листа

Основні висновки з проведених досліджень. Таким чином, автором була розроблена конструкція панелі для сталевих бункерних ємностей, яка була запатентована [8]. Вона не тільки дозволяє уникнути недоліків притаманних для традиційної конструкції бункерної споруди з ребрами жорсткості, а й має низку переваг, основними з яких є:

- суттєво зменшується довжина зварних швів в конструкції ємності;
- з'являється можливість виготовлення окремих панелей в умовах заводу, що покращує їх якість;
- спрощується монтаж конструкції ємності із окремих панелей;
- прискорюються та спрощуються ремонтні роботи;
- відносно невеликі розміри панелі дозволяють виконати її якісну розмітку, що зменшує ризик виникнення помилок на монтажі конструкції;
- з'являється можливість попередньої розробки конструктивних рішень панелі під різноманітні навантаження та умови роботи, включаючи наявність агресивних зовнішніх середовищ;
- з'являється можливість мінімізації площі бічної поверхні конструкції за рахунок вибору раціональної форми профілю зовнішнього шару, а також орієнтація його елементів під кутом до горизонту, що погіршує умови накопичення на його поверхні бруду і зменшує вірогідність виникнення корозійних пошкоджень;
- підвищуються естетичні властивості конструкції ємності.

Для можливості запобігання забрудненню вузлів стиковки панелей між собою було розроблене їх конструктивне рішення із додатковим елементом у вигляді спеціального вкладишу [9]. Аналогічно був модернізований вузол кріплення футерівки до конструкції панелі [10].

На думку автора, запропонована конструкція панелі може бути з успіхом використана для створення більш економічних, технологічних, надійних та довговічних бункерних ємностей вже у найближчий час.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Банников Д.О. Основные причины аварий жестких стальных бункеров и низких силосов / Д.О. Банников, М.И. Казакевич // Металеві конструкції. - 2002. - Т. 5, № 1. - С. 59-66.
2. Совершенствование конструктивных решений бункеров горно-обогатительных предприятий черной и цветной металлургии. Предложения по улучшению использования емкости бункеров: Отчет о НИР по теме № 469-] -68 / Ленинград, отдел, центр, н.-и. ин-та промзданий. - Л., 1968. - 138 с.
3. Криворожский государственный горно-металлургический комбинат «Криворожсталь». Доменная печь [№9. Бункерная эстакада. Обследование и оценка технического состояния металлоконструкций: Отчет о НИР, в 3 т. / ОАО «Проектный институт «Днепропроектстальконструкция». - Днепропетровск, 1997.
4. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров / т. Ленинпроектстройпроект. - М.: Стройиздат, 1983. - 200 с.
5. Справочник проектировщика. Металлические конструкции: В 3 т. / Под ред. В.В. Кузнецова. - Т. 2: Стальные конструкции зданий и сооружений. -М.: Изд-во АСВ, 1998. - 526 с.
6. Банников Д.О. Расчет пирамвдально-призматических бункеров методом конечных элементов / -Д.О.Банников, М.И. Казакевич/ Днепропетровск: Наука и образование, 2003. - 150 с.
7. Шестоперов В.Г. Строительство арочного моста из гофрированных металлических элементов // Транспортное строительство. -2001. -№2. -С.16-17.
8. Банников Д.О. Металева ємність для сипучих матеріалів із окремих панелей / Д.О. Банников, М.И. Казакевич / Декларацийний патент 69817 А від 15.09.2004. - Бюл. № 9, 2004. - 2 с.
9. Банников Д.О. Вузол з'єднання стінових панелей металевих ємностей для сипучих матеріалів / Е Д.О.Банников, М.И. Казакевич / Декларацийний патент 70576 А від 15.1 0.2004. - Бюл. № 10, 2004. - 3 с.
10. Банников Д.О. Вузол кріплення футерівки металевих ємностей для сипучих матеріалів / Д.О. Банников, М.И. Казакевич / Декларацийний патент України 70577 А від 15.10.2004. - Бюл. № 10, 2004. - 2 с.