

Кравчук В., д-р техн. наук, директор (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого), Прилуцький А., канд. техн. наук, головний конструктор (ПАТ «Вібросепаратор»)

Дослідження ефективності використання місткостей різної форми для зберігання зерна та обґрунтування раціональних конструкцій зерносховищ сільськогосподарських підприємств

Розглянуто різноманітні конструкції силосів (бункерів) для зберігання зерна, проведено дослідження ефективності їх використання для спорудження раціональних конструкцій зерносховищ сільськогосподарських підприємств.

Ключові слова: зерно, зберігання, силос, бункер, об'єм силоса (бункера), місткість зерносховища, очищення, сушіння, післязбиральна обробка зерна.

Суть проблеми. Виробництво основної кількості товарного зерна концентрується в зернових господарствах, успішний розвиток яких можливий лише в районах, де завдяки ґрунтово-кліматичним і економічним умовам зерновиробництво є найбільш рентабельною галуззю сільського господарства. За високого ступеня спеціалізації виробництва зерна його зберігання є необхідною функцією сільськогосподарського підприємства. Закономірною стає актуальність питання стану зерносховищ та стратегії сільгоспвиробників на притримування запасів товарного зерна в очікуванні більш прийнятних цін.

Загальна ємність зерносховищ України оцінюється станом на кінець 2012 р. в 45 млн тонн, з яких близько 29 млн тонн – сертифіковані ємності і близько 16 млн тонн – зерносховища сільськогосподарських підприємств [1]. Підприємства України, які мають зерносховища, умовно поділяються на дві категорії: перша – підприємства, які надають послуги зберігання зерна: елеватори різних типів і ХПП з відносно великим об'ємом ємностей і великим ступенем механізації процесів. Середні тарифи на виконання операцій на цих підприємствах для обробки зерна становлять:

| | |
|--|--------------|
| зважування і приймання | – 20 грн/т; |
| очищення | – 14 грн/т; |
| сушіння | – 16 грн/т; |
| зберігання (6 місяців) | – 120 грн/т; |
| відвантаження на залізничний транспорт | – 49 грн/т; |
| відвантаження на автотранспорт | – 37 грн/т. |

Друга категорія підприємств – це зерновиробники, в яких, як правило, використовуються ємності підлогового зберігання «старого» типу, що залишились від старої структури будівель зернотоків; заново зведені зерносховища у вигляді швидкокомтованих споруд ангарного типу, окремих силосів (бункерів) циліндричної форми, а також поліетиленових «рукавів». Через недостатню ємність місткостей зерносховищ і відсутність необхідних засобів механізації очищення і сушіння зерна, ці підприємства змушені користуватися послугами підприємств першої категорії або за низькими цінами продавати зерно посередникам і великим корпораціям з іноземним капіталом, прямо з-під ком-

байнів зернотрейдером, які вивозять його на свої бази зберігання і реалізують за вигідними цінами. Таким чином, зерновиробники втрачають, а посередники отримують значні прибутки від такої діяльності, фактично за рахунок фермерів і підприємств, які не мають необхідної бази для зберігання зерна.

Аналіз використання місткостей різних конструкцій для зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах. В результаті вивчення стану зберігання зерна урожаю 2012 р. в зерносховищах сільськогосподарських підприємств встановлено, що забезпеченість ними становить до 80-90% валових зборів для підприємств з використанням 300-5000 га землі, до 90-95% – для підприємств з використанням 5000-10000 га землі.

Наявні місткості для зберігання зерна в 90% випадків представлені підлоговими сховищами. Тільки великі сільськогосподарські підприємства (15-20%) комбінують використання силосних (бункерних) і підлогових місткостей. Все це свідчить про досить низький рівень механізації в наявних зерносховищах.

Збільшення з року в рік посівних площ і обсягів виробництва зерна кукурудзи вимагають особливого підходу до післязбиральної обробки і зберігання зерна цієї культури, яке стало основним товаром на зерновому ринку. Такий стан справ вимагає від сільськогосподарських підприємств залучати великі інвестиції в будівництво сучасних високотехнологічних зерносховищ, які забезпечують якість зберігання зерна, проте характеризуються низькою рентабельністю і тривалим терміном окупності.

Разом з тим останнім часом спостерігається підвищення активності сільгоспідприємств у спорудженні зерносховищ. Цьому сприяє поява на ринку пропозицій від ряду компаній щодо зведення елеваторних комплексів для цих підприємств з місткістю зберігання до 20 тис. м³.

Мета досліджень – провести визначення і порівняльний аналіз показників технічних характеристик зерносховищ, складених з силосів циліндричної і паралелепіпедної форми з метою обґрунтування рекомендацій сільськогосподарським і заготівельним під-

приємствам щодо раціонального вибору такої техніки для застосування, а також проектним організаціям – для проектування потокових ліній на базі більш ефективних (ресурсозбережних) силосів (бункерів) для зберігання зерна.

Виклад основного матеріалу. Витрати на спорудження великих зерносховищ в перерахунку на одиницю ємності зменшуються зі збільшенням їх місткості.

Окрім того, на ефективність зерносховищ значною мірою впливає форма силосів (бункерів), їх взаємне розміщення, що визначає розміри площі майданчика, на якому вони розміщуються, геометричні розміри (довжина, висота) транспортувальних засобів (вертикальних ковшових елеваторів, транспортерів завантаження і вивантаження), а також структура цих транспортувальних засобів. Для силосів (бункерів) з плоским днищем на їх ефективність впливає і площа фундаменту, на якому вони розміщуються.

Найбільш поширеними для зберігання зерна є силоси (бункери) циліндричної форми з плоским днищем, основними параметрами яких є діаметр $D=2R$ і висота циліндричної частини стінок H , що визначають їх ємність.

Останнім часом на ринку значного поширення набувають силоси (бункери) прямокутного перерізу, зокрема квадратного, основними параметрами яких є розмір сторони квадрата A і висота H .

Для порівняння ефективності використання місткостей для зберігання зерна циліндричної і паралелепіпедної форми порівнюємо площі бокової поверхні, площі фундаментів і площі майданчиків для розміщення силосів однакової місткості і висоти, які є основоположними в утворенні спорудження багатосилосних зерносховищ. Для цього визначимо необхідні параметри: об'єм циліндричного силоса висотою H і діаметром D , об'єм паралелепіпедного силоса висотою H і розміром сторони квадрата A . За однакової висоти H однакої об'єми циліндра і паралелепіпеда можуть бути за умови:

$$\pi R^2 H = A^2 H, \quad (1)$$

$$\text{звідки } R = \frac{A}{\sqrt{\pi}}, \text{ або } D = 2R = \frac{2A}{\sqrt{\pi}} = 1,13A. \quad (2)$$

Визначимо периметри циліндричного ($V_o = \pi D = 1,13\pi A = 3,5482A$) та паралелепіпедного ($V_{\square} = 4A$) силосів, а також площу, займану силосами (циліндричним $S_o = \pi R^2 = \pi(A/\pi)^2 = A^2$ та паралелепіпедним $S_{\square} = A^2$). Встановлюємо, що одиничний силос циліндричної форми має бокову поверхню, у $\frac{4AH}{3,5482AH} \approx 1,3$ рази меншу бокової поверхні паралелепіпедного силоса, а площа, займана безпосередньо силосами, однакова ($S_o = S_{\square}$).

Рівномірно розподілений по периметру силоса нормальний горизонтальний тиск сипучих матеріалів P_h^n на стінки силоса на глибині z від верху засипки визначають за формулою [2]:

$$P_h^n = \frac{\gamma \rho}{f} (1 - e^{-\lambda z / \rho}), \quad (3)$$

де ρ – гідравлічний радіус поперечного перерізу силоса, який знаходять за формулою $\rho = S/U$, де

S , U – площа і периметр поперечного перерізу силоса; λ – коефіцієнт бокового тиску, який визначають за формулою $\lambda = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$; γ , f – об'ємна вага, коефіцієнт тертя матеріалу об стінку силоса; φ – кут внутрішнього тертя сипкого матеріалу.

Гідравлічний радіус поперечного перерізу циліндричного силоса визначають за формулою:

$$\rho_o = s_o/v_o = A^2/3,5482A = 0,28A, \quad (4)$$

а паралелепіпедного насоса – за формулою:

$$\rho_{\square} = s/v = A^2/4A = 0,25A. \quad (5)$$

Підставивши (4) і (5) в (3), отримуємо нормальний горизонтальний тиск сипкого матеріалу на стінки циліндричного силоса на глибині z від верху засипки:

$$P_{h_o}^n = \frac{0,282\gamma A}{f} (1 - e^{-3,544\lambda z / A}), \quad (6)$$

а для паралелепіпедного силоса

$$P_{h_{\square}}^n = \frac{0,25\gamma A}{f} (1 - e^{-\lambda z A / A}), \quad (7)$$

Порівнюючи (6) і (7), стає очевидним, що $P_{h_o}^n > P_{h_{\square}}^n$, тобто за однакових конструкційних елементів стінок силосів напруженість стінок паралелепіпедного силоса менша, ніж циліндричного, а значить, він має більшу надійність.

Для визначення показників технічних характеристик зерносховищ, складених з силосів циліндричної і паралелепіпедної форм, зокрема, площі їх бокових поверхонь ΣF і займаній площі ΣS безпосередньо силосами (бункерами), а також площу земельного майданчика S_m , необхідного для розміщення зерносховищ з урахуванням чинних норм України, представимо схеми розміщення таких зерносховищ (рисунок).

Показники бокової поверхні зерносховищ, складених з силосів циліндричної і паралелепіпедної форм однакової місткості і висоти насипу, визначені шляхом обчислення і представлені в таблиці.

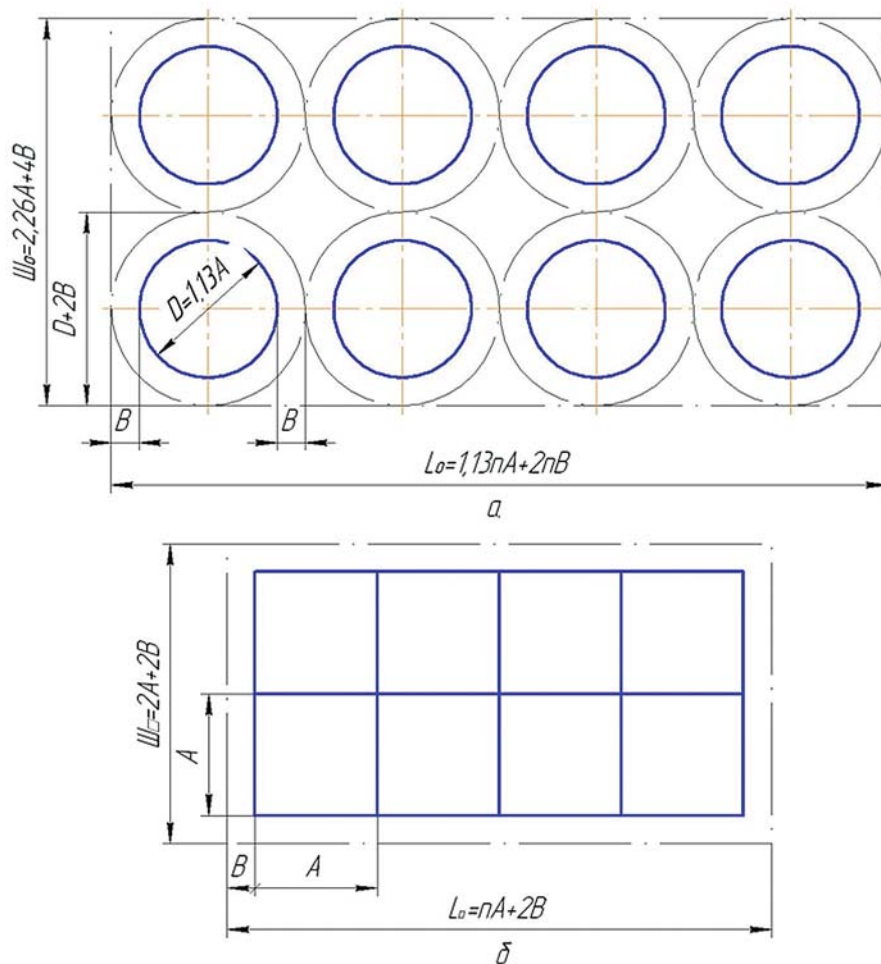
Неважко визначити те, що площа майданчика для найбільш раціонального дворядного розміщення силосів циліндричної і паралелепіпедної форм однакової місткості і висоти насипу сипучого матеріалу відрізняється, причому площа майданчика для розміщення силосів циліндричної форми більша площі майданчика для розміщення силосів паралелепіпедної форми рівної місткості і висоти насипу сипучого матеріалу на величину:

$$\Delta S = \Sigma S_o - \Sigma S_{\square} = (0,26A + 2B) [0,13nA + 2B(n-1)], \quad (8)$$

де B – ширина виступаючої частини фундаменту силоса за межі стінки; n – кількість силосів у ряду.

Неважко визначити, що площа бічної поверхні зерносховища з 4-х силосів паралелепіпедної форми на 18% менша, ніж площа бічної поверхні силосів циліндричної форми, відповідно зерносховища з 6-ти силосів – менша на 25%, з 8-ми силосів – на 29%, з 10-ти силосів – на 34%. А оскільки бокова поверхня є визначною складовою вартості силосів, то й вартість зерносховищ, виконаних з силосів паралелепіпедної форми, менша вартості зерносховищ, виконаних з силосів циліндричної форми пропорційно відносному зменшенню їх бокової поверхні.

Аналізуючи схеми дворядного розміщення силосів циліндричної і паралелепіпедної форм однакової



Схеми дворядного розміщення силосів циліндричної (а) і паралелепіпедної (б) форм однакової місткості і висоти насипу сипучого матеріалу (B – ширина виступаючої частини фундаменту силоса)

Порівняння площі бокової поверхні силосів циліндричної і паралелепіпедної форм однакових місткостей і насипної висоти за їх дворядного розміщення в зерносховищах однакової місткості

| Кількість силосів зерносховища | Площа бокової поверхні силосів | | Відношення площі бокової поверхні силосів зерносховищ циліндричної форми до площі бокової поверхні силосів зерносховищ паралелепіпедної форми |
|--------------------------------|--|--|---|
| | Циліндричної форми $\sum V_{\text{цил}} H$ | Паралелепіпедної форми $\sum V_{\text{пар}} H$ | |
| 1 | $3,5482AH$ | $4AH$ | 0,887 |
| 2 | $7,08AH$ | $7AH$ | 1,01 |
| 4 | $14,16AH$ | $12AH$ | 1,18 |
| 6 | $21,29AH$ | $17AH$ | 1,25 |
| 8 | $28,32AH$ | $22AH$ | 1,29 |
| 10 | $35,48AH$ | $27AH$ | 1,34 |

місткості і висоти насипу сипучого матеріалу (рисунок), очевидним є те, що довжина зерносховища, складеного з силосів циліндричної форми, більша від довжини зерносховища, складеного з силосів паралелепіпедної форми, на величину:

$$L_{\text{цил}} - L_{\text{пар}} = (1,13nA + 2nB) - (nA + 2B) = 0,13nA - 2B(n-1).$$

А це вимагає збільшення на таку ж величину довжини завантажувального транспортера, що в свою чергу

збільшує вартість зерносховища і, відповідно, зменшує його ефективність відносно зерносховища, складеного з силосів паралелепіпедної форми.

Зерносховища, складені з силосів (бункерів) паралелепіпедної форми, мають переваги в розміщенні верхньої транспортувальної системи завантаження силосів під дахом, який накриває всю поверхню зерносховища, що створює сприятливі умови для обслуговування механізмів незалежно від зовнішніх погодних умов.

Прямокутна площа днів паралелепіпедних силосів дає можливість створення системи рівномірної аерації зернових матеріалів і аеротранспортної системи вивантаження залишку матеріалу (після вивантаження основної маси за рахунок гравітації в нижню транспортну систему без пошкодження зернівок, що є позитивним фактором для зберігання посівного матеріалу.

В зерносховищах з силосами циліндричної форми і плоским днищем для розвантаження використовують систему транспортерів. Для повного вивантаження зерна з силоса всередині його встановлюється зачисний шнек, який не забезпечує в повній мірі зачищення днища силоса без застосування ручної праці і призводить до значного пошкодження зернівок, що є неприйнятним для зберігання насіннєвого матеріалу.

Висновки.

1. Дослідженнями виявлено, що зерносховища, складені з двох і більше силосів паралелепіпедної форми, ефективніші від зерносховищ аналогічної місткості, складених з силосів циліндричної форми.

2. Встановлено, що ефективність зерносховищ, складених з силосів паралелепіпедної форми в порівнянні з зерносховищами, складеними з силосів циліндричної форми, підвищується зі збільшенням кількості силосів за рахунок зменшення матеріаломісткості, площі фундаментів і площі майданчиків під їх розміщення.

3. Враховуючи ресурсозбереження зерносховищ, складених з силосів паралелепіпедної форми, рекомендується їх застосування в технологічних зерноочисно-сушильно-зберігальних комплексах як сільськогосподарських, так і хлібоприймальних підприємств.

Список літератури

1. Купченко А. Зерносховище – слабка ланка експорту // ІА «Агро Маркет». – № 11. – 2012.
2. Строительные нормы и правила СНиП2.10.05-85*. Предприятия, здания и сооружения по хранению

и переработке зерна. – Москва, 1985.

3. Машини, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки і зберігання зернових культур. Посібник / [Колектив авторів]; за ред В.І. Кравчука. – М-во аграр. політики та прод-ва України. – УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2011. – 224 с.

4. Строительные нормы и правила СНиП II-97-76. Генеральные планы сельскохозяйственных предприятий. – Москва, 1977.

Аннотация. Проведены исследования эффективности использования емкостей для хранения зерна цилиндрической и параллелепипедной форм. Установлено, что параллелепипедные ёмкости при использовании в количестве двух и более штук значительно эффективнее емкостей цилиндрической

формы. Рекомендуется применять зернохранилища, составленные из параллелепипедных ёмкостей для хранения зерна, в зерноочистительно-сушильно-сберегающих комплексах сельскохозяйственных и хлебоприёмных предприятий.

Summary. Were studied efficiency of containers for grain storage with cylindrical and paralelepipedgrain shapes. Established that paralelepipedgrain shaped containers that are used in a quantity of 2 and more pieces are more effectiveness then cylindrical shaped containers. There are recommended granaries, made with paralelepipedgrain shaped containers for storage of grain in grain cleaning and drying-saving agricultural complexes and grain-enterprises.

Стаття надійшла до редакції 15 серпня 2013 р.