

УДК 631.354.025

*М.В. Бібік, к.т.н., доцент  
В.М. Бібік, старший викладач  
І.О. Бібік, студентка*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

### **КЛАСИФІКАЦІЯ СИЛОСНИХ ЗЕРНОСХОВИЩ**

*Наведено класифікацію силосних зерносховищ за розміщенням у просторі, виконано аналіз переваг та недоліків кожного з видів горизонтальних і вертикальних силосних зерносховищ, розглянуто конструктивні елементи круглих сталевих силосів з плоским і конусним дном.*

**Ключові слова:** *горизонтальний силос, вертикальний силос, дах, конусне дно, плоске дно.*

УДК 631.354.025

*Н.В. Бибик, к.т.н., доцент  
В.Н. Бибик, старший преподаватель  
И.А. Бибик, студентка*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

### **КЛАССИФИКАЦИЯ СИЛОСНЫХ ЗЕРНОХРАНИЛИЩ**

*Приведена классификация силосных зернохранилищ по расположению в пространстве, проведён анализ преимуществ и недостатков каждого из видов горизонтальных и вертикальных силосных зернохранилищ, рассмотрены конструктивные элементы круглых стальных силосов с плоским и конусным днищем.*

**Ключевые слова:** *горизонтальный силос, вертикальный силос, крыша, конусное днище, плоское днище.*

UDC 631.354.025

*Mykola Bibik, PhD, Associate Professor  
Volodymyr Bibik, seniour lecturer  
Inna Bibik, student*

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

### **CLASSIFICATION OF SILO GRAIN STORAGEES**

*Classification of silo grain storages by location in space were fulfilled; advantages and disadvantages of different types of horizontal and vertical silo grain storages were analyzed; constructive elements of round steel flat bottom silo and hoppers bottom silo were examined.*

**Keywords:** *horizontal silo, vertical silo, roof, hoppers bottom silo, flat bottom silo.*

**Вступ.** Металеві силоси для зберігання зернових культур уже стали в нашій країні повноцінними системами зберігання, але рівень забезпеченості силосними конструкціями сільськогосподарських і промислових підприємств є значно меншим за необхідний. Нормативна база галузі силосних конструкцій потребує розширення, а практична діяльність страждає через дефіцит наявної інформації, брак виконуваних робіт у процесі зведення та монтажу силосних зерносховищ та помилки їх експлуатації.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Ряд вітчизняних та зарубіжних науковців займається дослідженням силосних конструкцій, зокрема А. Купрієвич [6], І.В. Горюшинський [3], І.І. Кононов [3], Дж.Р. МакКалмонт [1], С.Б. Резуєв [5, 8] та інші. Завдяки актуальності даної галузі кількість дослідників щороку зростає.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на поширене використання силосних зерносховищ у промисловості та сільському господарстві, ще й досі не наведено єдиної повної класифікації силосних конструкцій. Розвиток галузей промисловості спричиняє виникнення нових типів силосних конструкцій і застосування щоразу більш прогресивних технологій їх зведення.

**Постановка завдання.** Завданням цієї публікації є об'єднання та модифікація існуючих класифікацій силосних зерносховищ, аналіз переваг і недоліків важливих на сьогодні типів силосних зерносховищ та їх порівняння в контексті оновленої класифікації.

**Основний матеріал і результати.** На рис. 1 наведено узагальнену класифікацію силосних зерносховищ, розглянемо більш детально її складові.

Силосні зерносховища класифікуються за матеріалом, з яких вони виготовлені, та за розміщенням у просторі.

**1. За матеріалом для виготовлення** силоси поділяються на металеві, залізобетонні, цегляні, рідше – скловолокняні та дерев'яні. Хоча хронологічно саме дерев'яні силосні башти дали поштовх для розвитку галузі розглядуваних споруд.

**2. За розміщенням у просторі** розрізняють горизонтальні та вертикальні силоси.

**2.1. Горизонтальні силоси.** В англійській літературі наведено більш повну їх класифікацію. Проаналізувавши окремі джерела, можна виокремити такі види горизонтальних силосів: силосна траншея або силосна яма (відповідно, trench silo та pit silo), пакетоване силосне сховище (stack silo), амбар (warehouse, barn) [2, 7]. Порівняно з вертикальними силосами вони мають ряд недоліків. Наприклад, потреба в наявності більшої площі для їх спорудження, незахищеність від атмосферних опадів, трудомісткість обслуговування та ін.

**2.2. Вертикальні силоси,** або силосні башти. Часто виникають дискусії з приводу розмежування понять «бункер» та «силос» (силосна башта). Бункером називається ємність для зберігання і самопливного розвантаження сипучих вантажів, що має малу глибину порівняно з розмірами в плані. Висота бункера зазвичай менша за максимальний розмір у плані в 1,5 – 2 рази. У силосі відношення висоти стінки до найменшого з розмірів поперечного перерізу дорівнює двом та більше (однак їх висота обмежується несучою здатністю ґрунту і рядом інших факторів) [3]. Силосні башти поділяються на прямокутні та круглі.

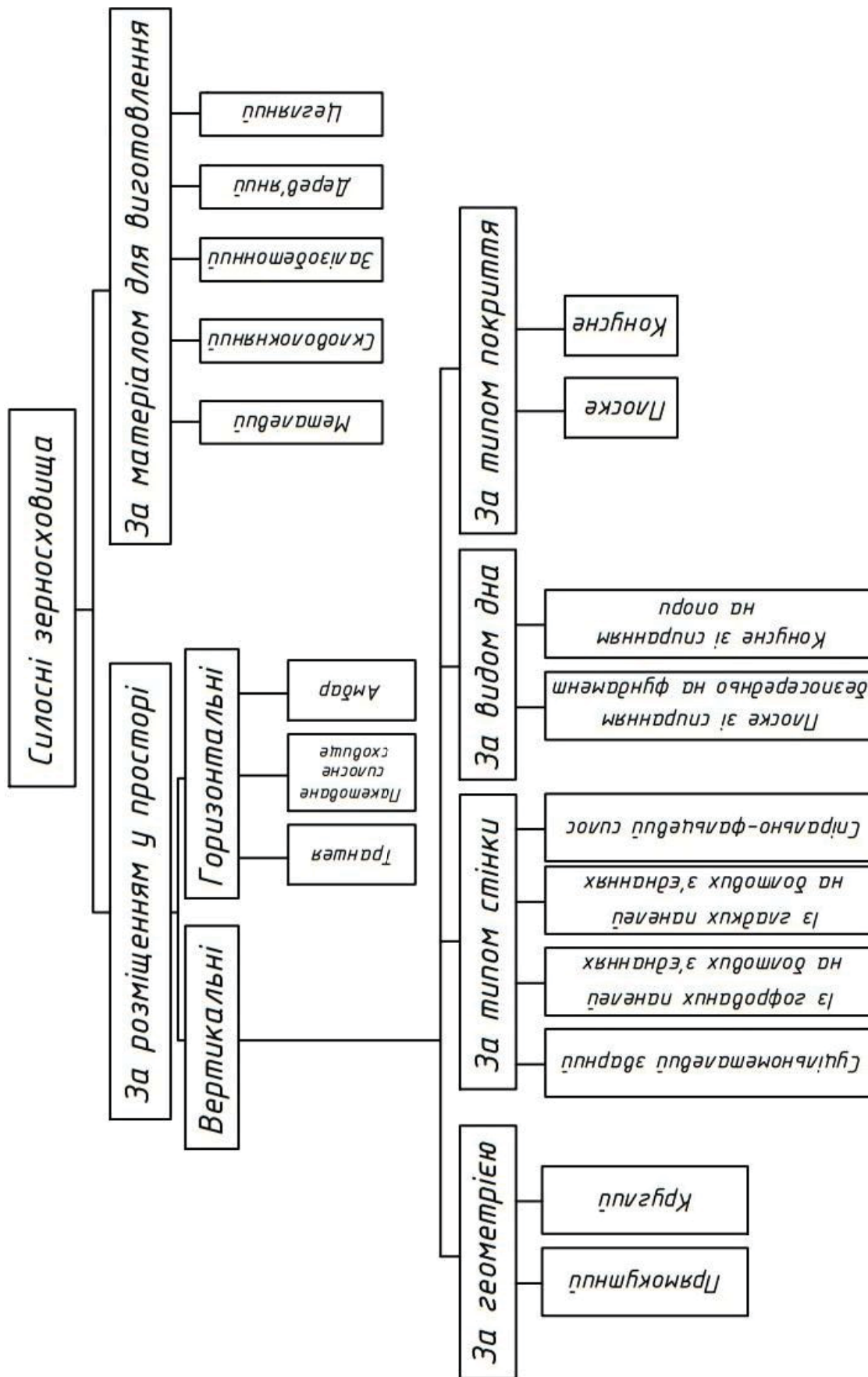
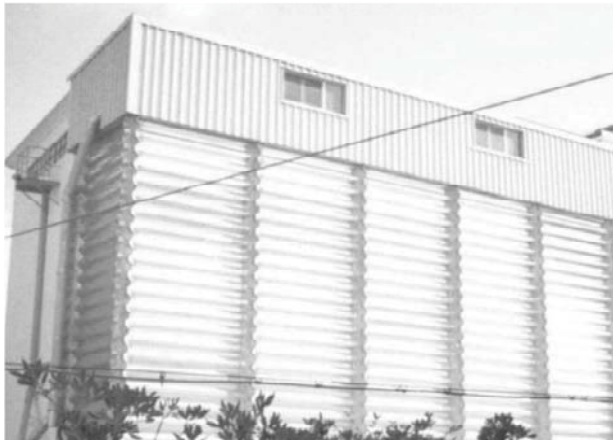


Рис. 1 – Класифікація силосних зерносховищ



**а**



**б**



**в**



**г**



**д**



**е**



**ж**

**Рис. 2 – Види вертикальних металевих силосів:**  
**а – прямокутний зі сталевих гофрованих панелей; б – прямокутний із гладких панелей; в – із плоским дном; г – з конусним дном; д – круглий із гофрованих панелей на болтових з'єднаннях; е – круглий із гладких панелей на болтових з'єднаннях; ж – спірально-фальцевий силос**



**2.2.1. Прямокутні силоси.** Прямокутні силоси класифікуються за видом стінок, дна та покриття. Перший тип – прямокутний силос, виготовлений зі сталевих гофрованих панелей (рис. 2, а). Подібне проектне рішення є актуальним у випадку, якщо доступна для забудови площа обмежена. На відміну від круглого силоса за умови еквівалентного об'єму продукту спорудження й обслуговування прямокутного силоса із гофрованих панелей вимагає більших капіталовкладень і трудовитрат [7]. Другий тип – прямокутний силос, виготовлений з гладких панелей (рис. 2, б). Він має такі особливості: використовується в якості ємності для зберігання зерна, борошна і несипучих продуктів; його потужність зазвичай обмежена; здебільшого використовується як проміжне сховище в технологічному процесі [3]. Прямокутні силоси мають декілька недоліків порівняно з круглими, які будуть розглянуті надалі, наприклад, нерівномірне завантаження оболонки, складніше обслуговування кутів. Серед переваг – простота виготовлення.

**2.2.2. Круглі силоси.** У розрізі сільського господарства вдосконалення конструкції й зовнішнього вигляду круглого вертикального силоса займає важливе місце. Наприкінці ХІХ – на початку ХХ століття споруджувалися багатокутні дерев'яні силоси та збірні дерев'яні силосні башти панельної конструкції. Пізніше поширення набули цегляні силоси, а також силоси, споруджені з бетонних блоків і глазурованої плитки. Лише потім почали застосовуватися силоси зі сталевих панелей.

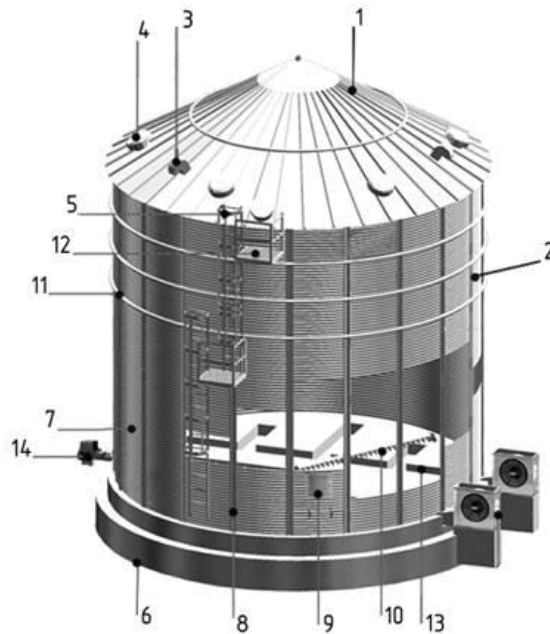
Круглі металеві силоси класифікуються за видом дна, стінки та покриття. Розрізняють силоси з плоским і конусним дном.

Силоси з плоским дном (рис. 2, в) призначені для довгострокового зберігання сухого й очищеного насіння зернових культур, кукурудзи та ін. Вони використовуються на підприємствах, де зберігається і переробляється зерно: елеваторах, комбикормових підприємствах тощо. Нижче наведено конструктивні елементи силоса з плоским дном (рис. 3).

Така конструкція являє собою ємність циліндричної форми, що розташовується на бетонній основі із застосуванням пальових фундаментів або на щебеневій подушці залежно від геологічних умов місцевості.

Силоси з плоским дном обладнані системами активної вентиляції та пошарового контролю температури продукту, що зберігається в силосі. Велике значення має відповідність термopідвісок, які застосовуються, розрахунковим, що передбачені конструкцією конкретного силоса, оскільки точкові навантаження від термopідвісок у місцях їх кріплення до даху можуть досягати кількох тонн [5]. Система активної вентиляції зерна складається з одного або кількох вентиляторів, повітроподавальних патрубків, пристрою розподілення повітря в насипі зерна.

Верхні та нижні люки і сходи дозволяють здійснювати очищення й ремонт конструкцій та обладнання силосної ємності [4].



**Рис. 3 – Конструктивні елементи силоса з плоским дном:**

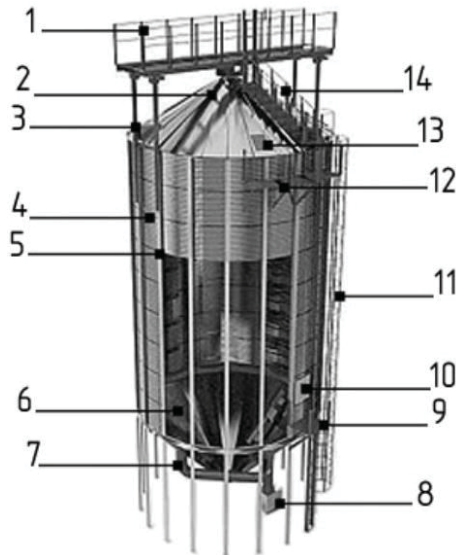
**1 – дах; 2 – корпус; 3 – система вентилявання; 4 – вентиляційні дефлектори; 5 – сходові системи; 6 – фундамент; 7 – панелі; 8 – ребра жорсткості й замкові з'єднання; 9 – люк обслуговування; 10 – зачисний шнек; 11 – вітрові кільця; 12 – платформа для відпочинку; 13 – перфоканали; 14 – примусові вентилятори**

Дах силоса являє собою просторову конусну конструкцію, що складається з трапецієподібних секторів і ребер жорсткості. Дах сприймає снігове навантаження та призначений для захисту від потрапляння в ємність силоса атмосферних опадів. Характеристичне снігове навантаження на дах силоса змінюється залежно від регіону будівництва.

Дах силоса залежно від його діаметра може виконуватись одно- або багатоступінчастим. Одноступінчасті дахи являють собою безкаркасну конструкцію. Роль несучих елементів виконують радіальні ребра в місцях з'єднання листів (між ними лист, як правило, плоский і не має достатньої жорсткості). Для надання додаткової жорсткості між радіальними ребрами на плоскій поверхні листа виконуються загини, що служать також своєрідними ребрами жорсткості. Що стосується багатоярусного даху, то з'єднання листів покриття по конусній поверхні виробляється в замок з утворенням ребер жорсткості аналогічно до силосів малої місткості [5].

Вхідні двері силоса (люк обслуговування) розташовуються в нижньому ярусі корпусу силоса і являють собою зварний каркас з дверима на петлях, що відкриваються всередину, вони обладнані пристроєм для розвантаження силоса, завантаженого зерном.

Силоси з конусним дном (рис. 2, г) призначені для зберігання зерна, насіння або комбікорму, а також завантаження зерна в автомобільний чи залізничний транспорт. Нижче показано конструктивні елементи силоса з конусним дном (рис. 4).



**Рис. 4 – Конструктивні елементи силоса з конусним дном:**

- 1 – транспортний міст; 2 – дах; 3 – провітрювачі; 4 – корпус; 5 – ребра жорсткості;  
 6 – конічне дно; 7 – система вентиляції; 8 – вентилятор;  
 9 – майданчик перед інспекційними дверима; 10 – інспекційні двері;  
 11 – вертикальні сходи; 12 – майданчик біля оглядового вікна;  
 13 – оглядовий люк у даху силоса; 14 – сходи на даху силоса**

Силос з конусним дном передбачений для повного гравітаційного розвантаження.

Опорна частина такого силоса являє собою сталеву конструкцію, що сприймає навантаження від власної ваги силоса і продукту, що в ньому зберігається. Завантаження й розвантаження продукції в силосах з конусним дном здійснюються через центральні отвори у верхній та нижній частинах [4].

Воронка для розвантаження виконується зі сталевих листів (пелюстків), з'єднаних болтами. Кут нахилу воронки варіюється від  $45^\circ$  до  $60^\circ$  залежно від виду продукції.

Спирання силоса з конусним дном може бути реалізовано такими способами: чотири або більше опори під кожним із силосів, опірне кільце з внутрішніми ребрами жорсткості, окрема сталева рама для групи силосів, окрема залізобетонна рама для групи силосів [7].

У випадку конусного дна система активної вентиляції зерна складається з вертикального повітророзподільника, повітровідводів. Застосування повітря різноманітної температури дозволяє реалізовувати безпосередньо в завантаженому силосі досушування, дозрівання, охолодження і консервацію зерна різної вологості.

Розглянемо детальніше особливості круглих металевих силосів залежно від різновиду їх стінок.

Перший тип – суцільнометалевий зварний силос. Використовується для зберігання борошна, цементу. Доступний об'ємами  $60 - 70 \text{ м}^3$ .

Другий тип – силос із гофрованих панелей на болтових з'єднаннях (рис. 2, д). На відміну від суцільнометалевого силоса, використовується для зберігання матеріалу об'ємом 100 – 15000 м<sup>3</sup> і призначений для довгострокового його зберігання. Така форма профілю витримує значні навантаження, котрі передаються на вертикальні ребра жорсткості, без додаткового потовщення стінки та зайвих витрат металу. Гофрування підвищує міцність і жорсткість стінових панелей у випадку поперечного згину. Крім того, гофровані панелі характеризуються конструктивною анізотропією властивостей, оскільки характеристики жорсткості вздовж і поперек гофра значно відрізняються. Зокрема, момент інерції в горизонтальному напрямку більший у 70 разів, а момент опору – в 9,7 раза, ніж у вертикальному напрямку [6].

Третій тип – силос із гладких панелей на болтових з'єднаннях (рис. 2, е) використовується для зберігання сипучих матеріалів. Може бути виготовлений з алюмінію, маловуглецевої та гальванізованої сталі. Зазвичай виготовляється з конусним дном і пристосований для зберігання обмеженого об'єму матеріалу, близько 25 – 550 м<sup>3</sup>. Для забезпечення жорсткості при використанні таких типів силосів необхідно збільшувати товщину металу оболонки. На різних ярусах силоса встановлюються стінові панелі в порядку зменшення товщини знизу вгору. Максимальна товщина стінової панелі обмежена п'ятьма міліметрами. У силосах, де навантаження в нижній частині перевищують міцнісні характеристики, стінові панелі збираються з декількох шарів листів [8].



**Рис. 5 – Схема процесу подвійного фальцювання сталевих стрічок спірального силоса**

Четвертий тип – спіраль-фальцевий силос (рис. 2, ж). Розповсюджений у практичній діяльності й за своїми характеристиками здатний конкурувати із силосом, виготовленим із профільованих листів. Його переваги: довгострокове зберігання матеріалу, монтування з гладких панелей, відсутність потреби в болтових з'єднаннях, швидкість монтажу на місцевості [7]. Відсутність болтових з'єднань пояснюється застосуванням технології подвійного фальцювання сталевих стрічок спірального силоса (рис. 5). Загин кромки надає силосу додаткову горизонтальну жорсткість і є герметичним; можливе використання герметичного полімерного шнура,



який додатково герметизує силос у місцях загину сталі. Ця технологія дає оптимальну міцність конструкції силоса при мінімальних витратах металу для елементів його конструкції.

#### **Висновки:**

1. Наведено класифікацію горизонтальних та вертикальних силосних зерносховищ за розміщенням у просторі й за матеріалом для їх виготовлення.

2. Проаналізовано геометричні відмінності вертикальних силосних зерносховищ. Силосні башти класифіковано за типом стінки, дна та даху.

4. Розглянуто конструктивні елементи силосів з плоским і конусним дном та різновиди круглих металевих силосів залежно від типу їх стінок, а також проаналізовано їх особливості, переваги й недоліки.

#### *Література*

1. *McCalmont J. R. Silos Types and Construction / J. R. McCalmont // Farmer's Bulletin. – U.S. Department of Agriculture, 1948. – No 1820. – P. 48 – 64.*

2. *Farm Silo Selection: Factsheet, may 1981, no.81-060 / Ontario Ministry of Agriculture and Food. – 1981.*

3. *Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах : учебное пособие / И.В. Горюшинский [и др.]; под общ. ред. И.В. Горюшинского. – Самара: СамГАПС, 2003. – 232 с.*

4. *Силосы для зерна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.himstalcon.ru>. – Загл. с экрана.*

5. *Конструкция крыши – основной критерий качества металлического силоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hipzmag.com>. – Загл. с экрана.*

6. *Про отечественные металлические силосы. Особенности проектирования и строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zerno-ua.com>. – Загл. с экрана.*

7. *Silo for Raw Material in Grain [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.technobins.it>. – Title from screen.*

8. *Металлические силосы для хранения зерна: мифы и реальность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hipzmag.com>. – Загл. с экрана.*

*Надійшла до редакції 17.04.2014  
©М.В. Бібік, В.М. Бібік, І.О. Бібік*