

УДК 62.93:66.5

**Левченко Ю.В.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри механічної та електричної інженерії  
Полтавського державного аграрного університету, м. Полтава, Україна*

**E-mail:** *yuliia.levchenko@pdaa.edu.ua*

**ORCID ID:** 0000-0001-7087-3681

**Ю.О. Басова**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри механічної та електричної інженерії  
Полтавського державного аграрного університету, м. Полтава, Україна*

**E-mail:** *yuliia.basova@pdaa.edu.ua*

**ORCID ID:** 0000-0003-4057-7712

**Д.Р. Ситник,**

*здобувач магістерського рівня спеціальності 133 Галузеве машинобудування,  
Полтавського державного аграрного університету, м. Полтава, Україна*

## **УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗЕРНОКИДАЧА У ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА**

**Анотація.** Важливим аспектом розвитку зернопереробної галузі є забезпечення оптимальних умов зберігання в період після збору. Ефективним вирішенням цього питання залишається максимальна технічна переоснащеність та модернізація існуючих післязбиральних комплексів. В статті охарактеризовані загальноприйняті способи післязбиральної обробки зерна, зокрема провітрювання, сортування та зворощування зерна. Розглянуто застосування зернокидачів у технологічному процесі післязбиральної обробки зерна, проаналізовані серійні конструкції робочих органів зернокидальних машин. Визначено основні недоліки конструкцій робочих органів зернокидальних машин, що застосовуються на сьогодні, основним з них залишається травмування зерна за рахунок недосконалої конструкції самого зернокидача. Обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих машин зі збереженням параметрів продуктивності для зниження пошкодження зерна.

Розглянуто конструкцію вдосконаленого комбінованого стрічкового зернокидача, спрямованого на зниження пошкодження обробленого зерна. Особливістю запропонованої конструкції зернокидача є використання лопатевої системи подачі зерна на заміну суцільній безпервній стрічці.

Ефективність роботи і зниження травмування відбувається за рахунок еластичного матеріалу, а також специфіка їх монтажу – встановлені з невеликим зазором до нескінченної стрічки. Проаналізовано робочий процес запропонованої конструкції комбінованого стрічкового зернокидача. Наведено показники якості зерна після обробки його в удосконаленій конструкції зернокидальної машини. Запропоновано напрямки для подальших досліджень, зокрема вивчення параметрів роботи зернокидача за різних умов розміщення лопатей, а також дослідження зміни показників якості зерна.

**Ключові слова:** зерно, зернокидач, зберігання зерна, зворощення зерна, втрати при зберіганні, лопаті

**Вступ.** Зернове господарство – одне з небагатьох галузей сільськогосподарського виробництва з відносно швидкою окупністю витрат, а підвищення його ефективності значною мірою можливе безпосередньо в рамках власне зернової галузі за рахунок дотримання технологій, покращення сівозмін, виробничої спеціалізації [1].

Одним із основних завдань в сфері переробки зерна є збереження та раціональне використання всього вирощеного врожаю, отримання максимуму виробу з сировини. В очікуванні післязбиральної обробки досить часто зерно зберігається по два-три місяці насипом, найчастіше вологе, засмічене сторонніми домішками та комахами.

Для успішного розвитку агропромислового комплексу важливою залишається технічна оснащеність виробників зерна. Поряд із машинно-тракторною технікою, особливе місце займають машини для післязбиральної обробки. Враховуючи недостатню кількість працюючих, особливо в селі, особливо актуальною стає проблема механізації обробки та сушіння зерна.

**Мета роботи.** Метою роботи є удосконалення конструкції зернокидача для транспортування зерна при зберіганні зерна під час зберігання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Забезпечення людства їжею історично займає лівову частку в економіці будь-якої країни, а вирощування

зернових для виробництва харчових продуктів та кормів на їх основі залишається не менш важливим. Сезонність виробництва зерна, поряд з цілорічним споживанням, споконвіку вимагає створення та збереження його запасів [2]. До основних складнощів виробництва зерна та зернових продуктів відносять:

- при запізнілому збиранні отримують великі втрати за рахунок обламування колосків та обсіпання зерен. Оптимальна тривалість збирання зернових становить 6-7 днів. Аналіз узагальнених даних з літературних джерел за різні роки підтверджує, що при порушенні цього терміну до 5 днів втрати зерна становлять у ярої пшениці 4,5-7,2%, у озимій – 1,2 -3%, до 10 днів – у ярої пшениці 7,6-15,4 %, у озимій – 3,7-6,8%;

- при подрібненні на дробарці (внаслідок недомолота та невитрусу) втрати за номінальної секундної подачі зернової маси складають 1,5%; для продовольчого зерна допустимі втрати при подрібненні та обвалюванні – не більше 2%.

- при перевезенні та зберіганні втрачається від 5 до 25% зерна залежно від технічного оснащення елеваторів та загальної культури організації зберігання [3].

За даними ФАО (Всесвітньої організації по продовольству і сільському господарству), втрати зерна у світі тільки під час зберігання та переробки становлять 6-10%, а для деяких менш економічно нерозвинених країн – 30-50%. Так, в Україні, що вирощує до 60 млн т зерна, через недостатньо розвинену матеріально-технічну базу з переробки та зберігання врожаю щорічні втрати досягають 10 млн т, в грошовому еквіваленті ця сума складає сотні млн доларів США. Кількісні втрати супроводжуються зниженням якості, посівних та продовольчих кондицій зерна. При цьому найбільші втрати у господарствах саме через низьку матеріально-технічну базу з обробки та зберігання зерна. У той же час, у високорозвинених країнах Європи та Америки ці втрати не перевищують 1-2% технічно неминучого мінімуму [4]. Отже, найбільші втрати зерна відбуваються на етапі перевезення та зберігання врожаю.

Також певна частка втрати маси відбувається за рахунок природних процесів. За зберігання зерна внаслідок втрат поживних речовин на процес дихання відбувається зменшення його маси – це природні втрати. Самозігрівання зерна, вплив на нього пліснявих грибів, пошкодження комахами, кліщами, поїдання гризунами є чинниками недбайливого господарювання. Втрати за зберігання на складі не повинні перевищувати встановлені норми природних втрат зерна. Регулювати інтенсивність дихання і як наслідок зниження втрат на рівні технічного мінімуму можливо за умов: підтримки оптимальної вологості та температури зерна, якісного очищення зернової маси перед закладкою на зберігання, проведення заходів щодо знезараження зерна як від шкідників, так і від мікрофлори, що потребує використання сучасних технологічних прийомів зберігання та транспортування зерна, що максимально враховують видові особливості зернових культур [5].

Важливим питанням є попередження втрат якості за рахунок травмування, яке знижує технологічні властивості зерна: 4,0-6,5% для заготівельних підприємств (що використовують пересувну механізацію та ковшові навантажувачі); 2,0-4,0% для перевалочних елеваторів (з повною стаціонарною механізацією). Такі втрати найчастіше пояснюються низьким рівнем механізації процесу зворощування зерна при зберіганні, а також недотримання технологічних режимів при роботі із зерном.

Виробники машин для очищення, сортування й сушіння зерна, а також механізмів для його транспортування насамперед надають перевагу таким технічним характеристикам, як висока продуктивність та надійність роботи обладнання, і зовсім мало приділяють уваги технологічній проблемі травмування зерна. Аналізуючи схеми післязбиральної обробки зерна, що застосовується нині в більшості господарств, легко помітити, що найбільша кількість операцій із післязбиральної обробки зернової маси так чи інакше пов'язана з його переміщенням, перелопачуванням або метанням, що здійснюються за допомогою спеціальних машин – зернокидачів. Очевидно, що зниження негативного впливу операцій післязбиральної обробки на зерно

найперспективніше домагатися модернізацією робочих органів саме металевих машин [6].

Саме цим пояснюється наявність на ринку техніки для післязбиральної обробки зерна машин, які значною мірою травмують зерно. Йдеться про зерномети, пневматичні, шнекові та скребкові транспортери, норії тощо. З попереднього аналізу найбільш поширених металевих машин на сучасних підприємствах та тих, що пропонують комерційні організації на ринках України, було обрано зернокидачі ЗМ-60, 90 [3-7].

Власне, зернокидачі значно травмують зерно: залежно від відстані перекидання зернової маси, травмування становить від 11 до 17%. Зерноочисні та сортувальні машини травмують від 3,4 до 8,4% зерна, пневмотранспортери – до 7,2%, норії – до 7,4%, шнекові транспортери – від 4,7 до 8,6%, скребкові транспортери – до 1,5%, самопливні трубопроводи – до 1,6% .

Виходячи з паспортних даних зернокидачів, вони виконують переміщення зерна на довжину до 25 м та на висоту до 8 м. Встановлено, що для забезпечення таких параметрів переміщення зернина набирає швидкості польоту близько 35 м/с [8].

Але й у зернокидачах, які мають набагато нижчі показники переміщення, ступінь травмованості зерна досить висока. Механічні пошкодження зерен пшениці виникають уже при швидкості польоту 6 м/с. Характерно, що навіть удар насіння з великою швидкістю по гумовій поверхні не зменшує рівня пошкодження. А в найпростіших та менш продуктивних металевих машинах реальна швидкість польоту зерна становить не менше 9 м/с. Нижчої швидкості польоту зернин досягти не вдається, адже тоді переміщення зернин буде неможливе. Напряму це пов'язано зі швидкістю, при якій потік повітря зможе підняти кожен зернин з купи. Для пшениці ця швидкість перебуває в діапазоні 8,5–11,5 м/с.

Зернокидач – це універсальна саморушна машина безперервної дії, яка має різне функціональне призначення. За типом робочих органів зернокидачі можуть бути зі скребковими чи шнековими живильниками. За тривалий період

свого розвитку ця група машин набула значних удосконалень, що підвищило їх технічний рівень.

Найчастіше, у вітчизняних АПК зернокидачі використовують на відкритих майданчиках та у зерносховищах для виконання наступних технологічних операцій [9]:

- метання зерна для формування буртів (перевантаження його з купи зерна, яке доставляють транспортними засобами на майданчики в період збирання врожаю прямо від комбайнів)

- механічне перелопачування зерна під час його зберігання насипом для охолодження;

- первинне очищення зерна з відділенням легких фракцій (битого зерна та сміттєвих домішок);

- завантаження або розвантаження зерна із зерноскладів;

- завантаження зерна в транспортні засоби.

Основні робочі органи – живильний бункер та транспортер. Перші служать для подачі зерна з бурта до тримера, який не тільки спрямовує його на транспортер, а й надає зерновій масі значну кінетичну енергію (швидкість руху). Це дозволяє не тільки підняти зерно на значну висоту, але й перемістити його на велику відстань від бурта [7]. Поворот тримера зернокидача на  $90^\circ$  в обидві сторони поздовжньої осі рами дає можливість забезпечити [9]:

- безперервність завантаження зерна у транспортні засоби;

- рівномірний розподіл зернової маси під час завантаження складу;

- формування буртів із одним гребенем після проходів зернокидача;

- розосередження зерна з бурта для просушування на майданчику струму та повторне формування (після просушування) у бурт.

Живильники піднімають і опускають за допомогою рукояток лебідок, з'єднаних із живильниками канатом, а завантажувальний транспортер - за допомогою власне лебідки. Привід машин – електричний, від мережі з напругою 380 В [10, 11].

В роботі для підвищення ефективності очищення від легких домішок та зворощення матеріалу використовується метання зерна порціями за допомогою удосконалення конструкції транспортера зернокидача. Встановлено, що порція зерна, що окремо летить, добре пронизується і продується повітрям [12, 13].

В існуюче обладнання вносили конструктивні зміни до будови барабану, який подає масу на власне транспортер, а саме його додатково оснастили лопатями. У класичній конструкції зернокидача барабан розташований вертикально, оснащений ємностями, які безперервно подають матеріал, охоплений нескінченною приводною стрічкою, що спирається на барабани та привід.

Попередньо встановлено, що зернокидач має громіздку конструкцію, і допускає удар матеріалу при завантаженні, що знижує якість продукту. В ході експериментальних досліджень вдосконалили конструкцію самого барабана, визначали параметри та режими роботи стрічкового зернокидача, що впливають на якість оброблюваного зернового матеріалу.

Удосконалена конструкція зернокидача складатиметься з притискного барабану, обладнаного двома бічними торцями і розташованими між ними лопатями, встановлений на провідному і двох ведених барабанах, стрічку, бункер із засувкою і привід. Лопаті мають удосконалену форму у поперечному перерізі прямокутну та клиноподібну форми, виконані з двох з'єднаних між собою частин і розташовані під різними кутами до радіусу барабана (або до нормалі кола барабана). Така форма лопастей дозволить підвищити якість транспортованого матеріалу шляхом забору (відсічення) зернових клиноподібною частиною лопастей, що забезпечує зменшення пошкодження матеріалу. Розміщення лопастей через певний інтервал допомагає зачерпувати зерно порціями та нормальне метання вздовж напрямної поверхні випускного патрубку за рахунок розташування лопастей під кутом до радіуса барабана.

Така спрощена конструкцію зернокидача шляхом виключення нескінченної стрічки, провідних та ведених барабанів підвищує надійність роботи.

Оброблювана зернова маса подається із живильного бункера кидача по зернопроводу в простір між провідним та кільцевим дисками, з'єднаними між собою лопатями. Частина лопатей своєю робочою поверхнею розташовані під різними кутами до радіусу барабана. Прямокутні частини лопатей розташовані на периферії барабана і утворюють менш гострі кути до радіусу барабана, ніж клиноподібні частини лопатей. Таке виконання зменшує травмування зерна в місці завантаження та під час травмування.

Барабан поміщений у кожух, який у зоні розвантаження має випускний патрубок. Поверхні дисків та лопат утворюють осередки барабана. Він включає ведучий та ведений барабани, охоплені нескінченною стрічкою, лопатевий барабан, в якому встановлені гумові лопатки, приймальний бункер, електродвигун, клинопасову передачу, варіатор, опорні колеса, стійки та раму.

Визначення мікроушкодження зерна проводили відповідно до методики визначення пошкоджень обробленого зерна. Травмування оцінювалося за наступних параметрів: швидкість стрічки - 16 м/с, видалення точки забору проб – 8 метрів, число перепусток - 4.

Макро- та мікротравмування вихідного зернового вороху збільшується з кількістю перепусток через машину. Також можна зробити висновок про те, що залежність ступеня пошкодження кількості операцій не є лінійною. Пояснити це можна накопиченням мікроушкоджень у структурі зернівки та зниженням граничних напруг, що витримуються цією зернівкою, що підтверджується даними літературного аналізу [14]. Залежність пошкодження від кількості пропусків представлена рис. 1.

Також було визначено параметри макротравмування обробленого зернового матеріалу за довжиною метання. Графік залежності представлений рис.1. Аналіз залежності дозволяє зробити висновок, що зі зростанням віддалення від метальника ступінь макропошкодження обробленого зернового матеріалу знижується.

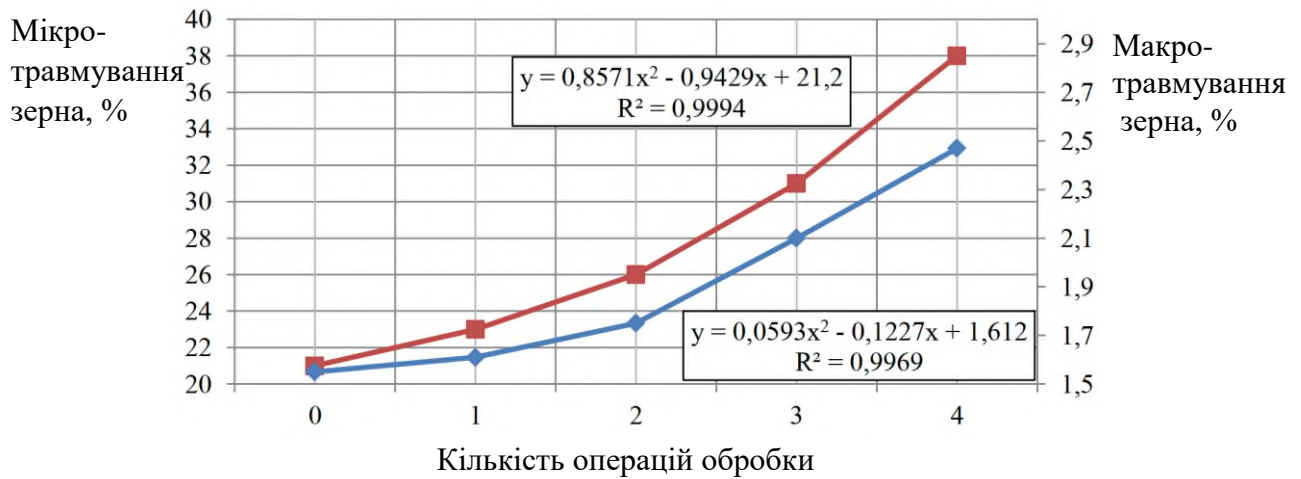


Рисунок 1. Залежність пошкодження насіння від кількості проходжень через експериментальний зернокидач

Для підтвердження гіпотези про покращення характеристик роботи експериментального зернокидача, оснащеного лопатями, в подальшому пропонується провести серію дослідів із встановленими лопатями та без них на притискному лопатевому барабані.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** В результаті проведених досліджень розглянуто застосування зернокидачів у технологічному процесі післязбиральної обробки зерна. Визначено основні недоліки конструкцій робочих органів машин для зворощування зернових, що застосовуються на сьогодні. Обґрунтовано необхідність створення або ефективного удосконалення та комбінування існуючих зернокидачів зі збереженням параметрів продуктивності при зниженні поразки зерна. Визначено параметри макротравмування обробленого зернового матеріалу залежно від довжини метання.

### Список використаних джерел

1. Адамчук, В. В. та ін (2014). Концепція перспективи комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в

сільськогосподарських підприємствах України. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. №99 (1). С. 40-56.

2. Evgeniia Burdilna, Serhii Serhiienko, Hennadii Rykov, Roman Voliansky (2022). *The Electrotechnical Complex of The Grain Thrower With Improved Performance Characteristics* IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). p.1-6

3. Гайденко Олег. Чинники та причини, які призводять до втрати зерна (2021). *Агрономія сьогодні. Журнал практичних порад для агрономів*. Доступно з: <http://agronomy.com.ua/statti/511-chynnyky-ta-prychyny-iaki-pryzvodiad-do-vtraty-zerna.html>

4. Ray Bucklin, Sid Thompson, Michael Montross, Ali Abdel-Hadi. (2019). *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering (Third Edition)*. Chapter 9 - Grain Storage Systems Design, 175-223 doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00009-9.

5. Чинники, що визначають тривалість зберігання зерна (2017). *Agroexpert*. Доступно з: <https://agroexpert.ua/chynnyky-shcho-vyznachaiut-tryvalist-zberihannia-zerna/>

6. Yampilov, S. S. et al. (2021). Separating grain thrower for processing grain material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 839. No. 5. 34-42.

7. Best Practices: The Post-harvest Management Process (2020). Доступно з: <https://news.grainpro.com/best-practices-the-post-harvest-management-process>

8. Механічне травмування зерна після збирання (2017). *Agroexpert*. Доступно з: <https://agroexpert.ua/mekhanichne-travmuvannia-zerna-pislia-zbyrannia>.

9. Михайлов Є.В (2019). Технічні засоби післязбиральної обробки насіння соняшнику: монографія. Видавничо-поліграфічний центр FORWARD PRESS, Мелітополь, 203.

10. Kazakbaev , S. Z., Karymsakov , N. S., Karabayev , N., Shevtsov , A. (2019). The grain thrower classifier for grain processing ISJ Theoretical & Applied Science 05 (73). 86-90 <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.05.73.16>.

11. Є. Михайлов, Є. Сербій, Н. Задосна [та ін.] (2016). Рекомендації щодо обґрунтування комплексу технічних засобів післязбиральної обробки зерна в умовах Півдня України. *Науковий журнал «Техніка і технології АПК»*. № 5(80), Київ, 28-30.

12. Котов Б.І., Степаненко В.О, Швидя С.П. (2012). Системно-проектний підхід до управління комплексом машин на току. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип. 12, том 5. 78-85.

13. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / За ред. М.І. Черновола. Кн. 2: Машини для рільництва. Київ: Урожай, 2002. 364.

14. Грудовий Р. С. (2013). Обґрунтування конструкцій і параметрів робочих органів шнекових транспортерів зерна : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Вінниця. 225.

#### **Yu.V. Levchenko**

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical and Electrical Engineering, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine*

*E-mail: yuliia.levchenko@pdaa.edu.ua*

*ORCID ID: 0000-0001-7087-3681*

#### **Yu.O. Basova**

*Ph.D., associate professor, associate professor of the Department of Mechanical and Electrical Engineering, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine E- E- E-mail: yuliia.basova@pdaa.edu.ua*

*ORCID ID: 0000-0003-4057-7712*

**IMPROVEMENT OF GRAIN THROWER DESIGN IN GRAIN PROCESSING TECHNOLOGY**

**Abstract.** An important aspect of the development of the grain processing industry is the provision of optimal storage conditions in the post-harvest period. Maximum technical re-equipment and modernization of existing post-harvest complexes remains an effective solution to this issue. The article describes generally accepted methods of post-harvest processing of grain, in particular airing, sorting and threshing of grain. The application of grain throwers in the technological process of post-harvest processing of grain is considered, and serial designs of the working bodies of grain throwing machines are analyzed. The main shortcomings of the constructions of the working bodies of grain throwing machines, which are used today, have been determined, the main one of them is an injury to the grain due to the imperfect design of the grain thrower itself. The need to improve existing machines while maintaining performance parameters to reduce grain damage was substantiated.

The design of an improved combined belt grain thrower aimed at reducing damage to processed grain is considered. A feature of the proposed design of the grain thrower is the use of a bladed grain feeding system instead of a continuous belt. The efficiency of work and the reduction of injuries is due to the elastic material, as well as the specifics of their installation - they installed with a small gap to the endless tape. The working process of the proposed design of the combined belt grain thrower was analyzed. Indicators of grain quality after its processing in the improved design of the grain-throwing machine are given. The directions for further research will be proposed, in particular, the study of the parameters of the grain thrower under different conditions of placement of the blades, as well as the study of changes in grain quality indicators.

**Keywords:** grain, grain thrower, grain storage, grain irrigation, losses during storage, shovels

#### **References.**

1. Adamchuk, V. V. and others (2014). The concept of the perspective of a comprehensive solution to the problem of post-harvest processing and storage of

grain in agricultural enterprises of Ukraine. Mechanization and electrification of agriculture. No. 99 (1). P. 40-56.

2. Evgeniia Burdilna, Serhii Serhiienko, Hennadii Rykov, Roman Voliansky (2022). The Electrotechnical Complex of The Grain Thrower With Improved Performance Characteristics IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). p.1-6

3. Haydenko Oleh. Factors and causes that lead to grain loss (2021). Agronomy today. Journal of practical advice for agronomists. Available from: <http://agronomy.com.ua/statti/511-chynnyky-ta-prychyny-iaki-pryzvodiut-do-vraty-zerna.html>

4. Ray Bucklin, Sid Thompson, Michael Montross, Ali Abdel-Hadi. (2019). Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering (Third Edition). Chapter 9 - Grain Storage Systems Design, 175-223 doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00009-9.

5. Factors determining the duration of grain storage (2017). Agroexpert. Available from: <https://agroexpert.ua/chynnyky-shcho-vyznachaiut-tryvalist-zberihannia-zerna/>

6. Yampilov, S.S. et al. (2021). Separating grain thrower for processing grain material. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 839. No. 5. 34-42.

7. Best Practices: The Post-harvest Management Process (2020). Available from: <https://news.grainpro.com/best-practices-the-post-harvest-management-process>

8. Mechanical injury of grain after harvesting (2017). Agroexpert. Available from: <https://agroexpert.ua/mekhanichne-travmuvannia-zerna-pislia-zbyrannia>.

9. Mikhailov E.V. (2019). Technical means of post-harvest processing of sunflower seeds: monograph. FORWARD PRESS Publishing and Printing Center, Melitopol, 203.

10. Kazakbaev, S.Z., Karymsakov, N.S., Karabayev, N., Shevtsov, A. (2019). The grain thrower classifier for grain processing ISJ Theoretical & Applied Science 05 (73). 86-90 <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.05.73.16>.

11. E. Mykhaylov, E. Serbii, N. Zadosna [and others] (2016). Recommendations regarding the substantiation of the complex of technical means of post-harvest processing of grain in the conditions of Southern Ukraine. Scientific journal "Techniques and technologies of agricultural industry". No. 5(80), Kyiv, 28-30.
12. Kotov B.I., Stepanenko V.O., Shvydya S.P. (2012). A system-project approach to the management of a complex of current machines. Proceedings of the Tavri State Agro-Technological University. Vol. 12, volume 5. 78-85.
13. Agricultural machines: theoretical foundations, construction, design / Ed. E. Chernobyl. Book 2: Machines for agriculture. Kyiv: Urozhai, 2002. 364.
14. Grudovy R. S. (2013). Justification of structures and parameters of working bodies of screw conveyors of grain: diss. ... candidate technical Sciences: 05.05.11. Vinnitsa. 225.