УДК 631.554:621.796 https://doi.org/10.31713/vs220266

Змієвська О. Г. [1; ORCID ID: 0009-0004-4043-6578],
старший викладач

[1]*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне*

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ З ПИТАНЬ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

У статті систематизовано результати сучасних вітчизняних та зарубіжних наукових досліджень у галузі зберігання зерна. Розглянуто основні фактори, що впливають на збереженість зернових культур: вологість, температура, склад міжзернової атмосфери, шкідники та мікроорганізми. Проаналізовано технологічне обладнання для сушіння та активного вентилювання зернових мас. Особливу увагу приділено технологіям зберігання зерна у полімерних зернових рукавах в умовах воєнного часу. Розглянуто питання автоматизації зерносховищ та екологічного впливу елеваторної промисловості на довкілля. Для України, де значна частина зерносховищ пошкоджена внаслідок бойових дій, актуальним є впровадження сучасних альтернативних технологій зберігання та автоматизованих систем контролю якості зерна.

Ключові слова: зберігання зерна; вологість зерна; температурний режим; полімерні зернові рукави; автоматизація зерносховищ; елеватор; втрати зерна; технологія зберігання.

Вступ. Зернове господарство є стратегічною галуззю економіки України. Щорічно країна виробляє десятки мільйонів тонн зернових та олійних культур, значна частина яких іде на експорт. Водночас ефективне зберігання врожаю залишається однією з ключових проблем агропромислового комплексу. За оцінками фахівців, втрати зерна на постзбиральному етапі становлять від 3 до 7% від загального обсягу, що у грошовому вимірі є суттєвими збитками для аграрного сектору [1].

Воєнні дії, що тривають в Україні з лютого 2022 року, суттєво ускладнили ситуацію у галузі зберігання зерна. Руйнування елеваторів, порушення логістичних ланцюгів та енергодефіцит спонукають аграріїв до пошуку нових, більш гнучких і доступних технологій зберігання врожаю. Саме тому систематизація сучасних наукових досліджень у цій сфері набуває особливої актуальності [2].

 ISSN 3154-8059

Аналіз останніх досліджень. Проблема зберігання зерна є предметом широких наукових досліджень як в Україні, так і за кордоном. Левченко Ю. В. та співавтори [3] охарактеризували конструктивні елементи обладнання для зберігання зерна та обґрунтували необхідність модернізації зернокидальних машин. Авторами доведено, що вдосконалення конструкції робочих органів зернокидача дозволяє суттєво знизити травмування зерна під час переміщення в сховищах.

Питання автоматизації процесів очищення, фасування та зберігання зернових культур дослідив Ольховський А. С. [1]. У своїй роботі автор встановив, що впровадження сенсорних систем, Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту дозволяє знизити втрати зерна на 15–20% та скоротити енергоспоживання на 10–12%. Оптимізація кліматичних параметрів у зерносховищах мінімізує ризик псування зерна та сприяє покращенню його якісних показників.

Герасимчук О. П. [2] дослідив екологічний вплив елеваторної промисловості на довкілля України. Встановлено, що більшість елеваторів, збудованих ще за радянських часів, не відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки. Особливо небезпечними є комплекси без сучасних аспіраційних систем, що спричиняють викиди дрібнодисперсного пилу з мікроорганізмами, пестицидами та алергенами.

У роботі Бараболі О. В. [4] проаналізовані особливості використання полімерних зернових рукавів в умовах бойових дій. Автором доведено, що технологія зберігання в полімерних рукавах є найкращою з відомих технологій вологого зберігання зерна, а вартість зберігання приблизно в 2–3 рази нижча, ніж на елеваторі. Бараболя О. В. та Кириченко Д. В. [5] також визначили основні умови зберігання зерна на елеваторах та охарактеризували режими зберігання (сухий стан, охолодження, герметизація).

Хитренко О. О. [6] розробив SCADA-систему для забезпечення процесу зберігання зерна в силосі, що забезпечує автоматичне прогнозування процесу самозігрівання. Результати дослідження показали покращення показників зберігання зерна та підвищення енергоефективності процесу.

Логістичні аспекти зберігання та транспортування зерна в Україні, зокрема вплив нерівномірного розподілу елеваторних потужностей і морської блокади, проаналізували Ломотько Д. В. та співавтори [7]. Автори запропонували оптимізаційну математичну модель для оцінки рентабельності логістичної системи та

обґрунтували необхідність розвитку контейнерних перевезень зерна. Кирпа М. Я. та співавтори [9] виявили особливості зберігання зерна кукурудзи в металевих зерносховищах. Встановлено, що для тривалого зберігання вологість зерна кукурудзи не повинна перевищувати 12%, а для безпечного зберігання в металевих сховищах рекомендується здійснювати їх термозахист шляхом нанесення теплоізоляційного матеріалу на зовнішні стінки.

Антіпіна О. О. та співавтори [11] провели технологічну експертизу процесу зберігання зерна пшениці на основі принципів HACCP. Визначено, що обов'язковому контролю підлягають температура зерна, вологість, зараженість шкідниками та органолептичні показники. Шаповаленко О. І. та співавтори [10] дослідили вплив умов зберігання у поліетиленових мішках (рукавах) на технологічні властивості борошна.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз сучасних досліджень з питань зберігання зерна, зокрема впливу вологості і температури на збереженість зернових культур, технологій і обладнання для зерносховищ, а також перспективних напрямів розвитку галузі в умовах сьогодення.

Виклад основного матеріалу. Зберігання зерна є складним технологічним процесом, якість якого визначається взаємодією фізичних, хімічних і біологічних факторів. До основних чинників, що впливають на збереженість зернових мас, відносяться вологість, температура та склад міжзернової атмосфери [5].

Вологість зерна є визначальним параметром його збереженості. Критичний рівень вологості для більшості зернових культур становить 14–14,5%, для кукурудзи – 14%, для сої – 12,5%, для соняшнику – 7–9%. Перевищення критичної вологості призводить до різкого зростання активності гідролітичних ферментів, інтенсифікації дихання та розвитку мікроорганізмів. Вода, що виділяється при диханні зерна, утримується зерновою масою, що створює передумови для самозігрівання [5; 9].

Температура зернової маси є другим за значимістю чинником. Зберігання зерна при температурі до +5–10° С дозволяє суттєво знизити інтенсивність біологічних процесів, а також активність комах-шкідників і мікроорганізмів. Для металевих зерносховищ рекомендується здійснювати термозахист шляхом нанесення

 ISSN 3154-8059

теплоізоляційного матеріалу на зовнішні стінки, оскільки без нього у верхніх шарах насипу складаються несприятливі умови для зберігання у весняно-літній період [9].

Сучасні технології зберігання зерна охоплюють три основні режими: сухий стан (зберігання при вологості нижче критичної), охолодження (зниження температури зернової маси) та герметизація (зберігання в анаеробних умовах). Вибір режиму визначається видом культури, призначенням зерна (продовольче, насіннєве, кормове) та тривалістю зберігання [5].

Технологія зберігання зерна у полімерних зернових рукавах (аргентинська технологія) набула широкого поширення в Україні, особливо після 2022 року. Принцип технології базується на самоущільненні зернової маси внаслідок зниження її біологічної активності та виснаження кисню в герметичному просторі. Дослідженнями [4] доведено, що зберігання в полімерних рукавах без втрати кількості та якості зерна можливе більше півроку залежно від його вологості, а вартість зберігання у 2–3 рази нижча, ніж на елеваторі.

Для вдосконалення процесу зберігання в рукавах застосовується метод контрольованої атмосфери, який передбачає створення суміші атмосферних газів з підвищеним вмістом CO_2 та зниженим вмістом O_2. Впроваджено також використання бездротових датчиків платформи Internet-of-Crops® виробництва компанії Centaur для дистанційного моніторингу температури, вологості зерна та концентрації газів [4].

Автоматизація процесів зберігання зерна є одним із ключових напрямів розвитку галузі. За даними [1], впровадження IoT-систем управління зерносховищами дозволяє знизити втрати зерна на 15–20% та скоротити енергоспоживання на 10–12%. Сучасні SCADA-системи [6] забезпечують автоматичне прогнозування процесу самозігрівання, що є критично важливим для своєчасного виявлення проблем зберігання. Інтеграція та аналітика даних щодо викидів дозволяють реалізувати кліматичне управління у зерносховищах та оптимізувати використання ресурсів.

Конструктивні рішення зерносховищ в Україні охоплюють широкий спектр: від класичних підлогових складів і залізобетонних силосів до сучасних металевих силосів і тимчасових модульних складів шатрового типу [12]. Металеві силоси набувають дедалі більшого поширення завдяки можливості вентилювання, переміщення зерна та проведення газації для знищення шкідників.

Водночас при їх проєктуванні важливо враховувати складну поведінку системи «ґрунтова основа – фундаментна стрічка – підсилосна галерея» під впливом змінних навантажень [8].

Екологічний аспект функціонування зерносховищ та елеваторів залишається актуальною проблемою. Застаріла інфраструктура, більшість об'єктів якої побудована ще за радянських часів, не відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки. Особливо небезпечними є комплекси без сучасних аспіраційних систем, що спричиняють викиди дрібнодисперсного пилу з мікроорганізмами, пестицидами та алергенами у радіусі до 3 км [2]. Впровадження енергоефективних аспіраційних систем, автоматизація обліку та зберігання зерна, використання альтернативних джерел енергії здатні суттєво підвищити екологічну безпечність виробництва [2].

Для дрібних фермерів у країнах, що розвиваються, перспективним є застосування портативних вологомірів для оперативного контролю вологості зерна та сонячних бульбашкових сушарок [13]. Попередні результати польових випробувань у чотирьох країнах (Бангладеш, Гана, Гватемала, Ефіопія) показали, що нові типи мішків для зберігання є більш ефективними методами, ніж ті, що застосовуються нині.

На основі аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що найбільш перспективним напрямом розвитку технологій зберігання зерна в Україні є поєднання автоматизованих систем контролю із використанням альтернативних методів зберігання, зокрема полімерних зернових рукавів.

Висновок. Зберігання зерна є комплексним технологічним процесом, ефективність якого визначається взаємодією фізичних, хімічних і біологічних чинників. Аналіз сучасних досліджень дозволяє сформулювати такі висновки та практичні рекомендації:

– вологість і температура є визначальними керованими параметрами зберігання: дотримання вологості нижче критичної (14–14,5% для зернових, 7–9% для соняшнику) у поєднанні з охолодженням зернової маси до +5–10° С забезпечує безпечне тривале зберігання;

– технологія зберігання у полімерних зернових рукавах набуває стратегічного значення для продовольчої безпеки України в умовах воєнного часу, забезпечуючи вартість зберігання у 2–3 рази нижчу порівняно з елеватором;

 ISSN 3154-8059

– автоматизація зерносховищ із застосуванням IoT-систем, SCADA і датчиків бездротового моніторингу дозволяє знизити втрати зерна на 15–20% та підвищити енергоефективність зберігання;

– стан матеріально-технічної бази вітчизняних елеваторів не відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки, що потребує масштабної модернізації у повоєнний період із запровадженням енергоефективних аспіраційних систем та альтернативних джерел енергії.

1. Ольховський А. С. Автоматизація процесів очищення, фасування та зберігання зернових. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.17. **2.** Герасимчук О. П. Вплив елеваторної промисловості на екологічну ситуацію в Україні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2025. № 2. С. 64–68. DOI: https://doi.org/10.32782/2310-0478-2025-2-64-68 **3.** Левченко Ю. В., Басова Ю. О., Молчанова Н. Ю., Ситник Д. Р. Дослідження конструктивних елементів обладнання для зберігання зерна. *Подільський вісник. Сільське господарство, техніка, економіка.* 2023. № 39. С. 70–75. URL: https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/209. (дата звернення: 10.04.2026). **4.** Бараболя О. В. Зберігання зерна в полімерних рукавах як відповідь на виклик воєнного часу в Україні. *Науковий прогрес та інновації.* 2024. Вип. 27(2). С. 36–41. DOI: https://doi.org/10.31210/spi2024.27.02.06. **5.** Бараболя О. В., Кириченко Д. В. Перспективні технології зберігання зерна під час надзвичайних ситуацій. *Науковий вісник Полтавського державного аграрного університету.* 2023. Вип. 3. С. 45–52. DOI: https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.03 **6.** Хитренко О. О. SCADA-система забезпечення процесу зберігання зерна в силосі. *Вісник Сумського державного університету. Сер. Технічні науки*. 2018. № 4. С. 56–62. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/71260 (дата звернення: 10.04.2026). **7.** Ломотько Д. В., Ільчишин В. М., Афанасов Г. М., Афанасова О. Ф. Вплив логістичної складової на зберігання та транспортування зерна в Україні. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2023. Вип. 198. С. 34–44. DOI: https://doi.org/10.15802/tstt2025/325407. **8.** Винников Ю. Л., Харченко М. О., Марченко В. В., Кічасов О. В. Аналіз експлуатаційної придатності фундаментів споруд для зберігання зерна. *Основи та фундаменти (Bases and Foundations)*. 2023. Вип. 63. С. 58–71. DOI: https://doi.org/10.32347/0475-1132.46.2023.63-72. **9.** Кирпа М. Я., Стасів О. Ф., Базілєва Ю. С., Колісник О. М. Способи зберігання зерна кукурудзи в сховищах різного типу. *Зернові культури*. 2022. № 1. Т. 6. С. 112–122. DOI: https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-12. **10.** Шаповаленко О. І., Скорікова Г. І., Харченко Є. І., Штика Я. А., Павлушенко В. М. Зберігання зерна в поліетиленових мішках. *Зберігання та переробка зерна*. 2010. № 9. С. 28–31. URL: https://web.archive.org/web/20190304/http://hipzmag.com/tehnologii/hranenie/zberigannya-zerna-v-polietilenovih-mishkah. (дата звернення: 10.04.2026). **11.** Антіпіна О. О., Борта А. В., Ляшан Г. Г., Верещинський О. П. Технологічна експертиза процесу зберігання зерна пшениці як інструмент забезпечення якості. *Зернові продукти і комбікорми*. 2022. Т. 22. № 2. С. 18–25. DOI: https://doi.org/10.15673/swonaft.v2i83.1518. **12.** Feed the Future Innovation Lab for the Reduction of Post-Harvest Loss. Technological innovations improve grain storage for

smallholder farmers. Kansas State University, 2023. URL: https://www.k-state.edu/phl (дата звернення: 10.04.2026).

REFERENCES:

1. Olkhovskyi A. S. Avtomatyzatsiia protsesiv ochyshchennia, fasuvannia ta zberihannia zernovykh. *Ahrarni innovatsii*. 2025. № 30. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.17. **2.** Herasymchuk O. P. Vplyv elevatornoi promyslovosti na ekolohichnu sytuatsiiu v Ukraini. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2025. № 2. S. 64–68. DOI: https://doi.org/10.32782/2310-0478-2025-2-64-68. **3.** Levchenko Yu. V., Basova Yu. O., Molchanova N. Yu., Sytnyk D. R. Doslidzhennia konstruktyvnykh elementiv obladnannia dlia zberihannia zerna. *Podilskyi visnyk. Silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. 2023. № 39. S. 70–75. URL: https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/209. (data zvernennia: 10.04.2026). **4.** Barabolia O. V. Zberihannia zerna v polimernykh rukavakh yak vidpovid na vyklyk voiennoho chasu v Ukraini. *Naukovyi prohres ta inovatsii*. 2024. Vyp. 27(2). S. 36–41. DOI: https://doi.org/10.31210/spi2024.27.02.06. **5.** Barabolia O. V., Kyrychenko D. V. Perspektyvni tekhnolohii zberihannia zerna pid chas nadzvychainykh sytuatsii. *Naukovyi visnyk Poltavskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*. 2023. Vyp. 3. S. 45–52. DOI: https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.03. **6.** Khytrenko O. O. SCADA-systema zabezpechennia protsesu zberihannia zerna v sylosi. *Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Ser. Tekhnichni nauky*. 2018. № 4. S. 56–62. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/71260 (data zvernennia: 10.04.2026). **7.** Lomotko D. V., Ilchyshyn V. M., Afanasov H. M., Afanasova O. F. Vplyv lohistychnoi skladovoi na zberihannia ta transportuvannia zerna v Ukraini. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*. 2023. Vyp. 198. S. 34–44. DOI: https://doi.org/10.15802/tstt2025/325407. 8. Vynnykov Yu. L., Kharchenko M. O., Marchenko V. V., Kichasov O. V. Analiz ekspluatatsiinoi prydatnosti fundamentiv sporud dlia zberihannia zerna. *Osnovy ta fundamenty (Bases and Foundations)*. 2023. Vyp. 63. S. 58–71. DOI: https://doi.org/10.32347/0475-1132.46.2023.63-72 . **9.** Kyrpa M. Ya., Stasiv O. F., Bazilieva Yu. S., Kolisnyk O. M. Sposoby zberihannia zerna kukurudzy v skhovyshchakh riznoho typu. *Zernovi kultury*. 2022. № 1. T. 6. S. 112–122. DOI: https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-12. **10.** Shapovalenko O. I., Skorikova H. I., Kharchenko Ye. I., Shtyka Ya. A., Pavlushenko V. M. Zberihannia zerna v polietylenovykh mishkakh. *Zberihannia ta pererobka zerna*. 2010. № 9. S. 28–31. URL: https://web.archive.org/web/20190304/http://hipzmag.com/tehnologii/hranenie/zberigannya-zerna-v-polietilenovih-mishkah. (data zvernennia: 10.04.2026). **11.** Antipina O. O., Borta A. V., Liashan H. H., Vereshchynskyi O. P. Tekhnolohichna ekspertyza protsesu zberihannia zerna pshenytsi yak instrument zabezpechennia yakosti. *Zernovi produkty i kombikormy*. 2022. T. 22. № 2. S. 18–25. DOI: https://doi.org/10.15673/swonaft.v2i83.1518. **12.** Feed the Future Innovation Lab for the Reduction of Post-Harvest Loss. Technological innovations improve grain storage for smallholder farmers. *Kansas State University*. 2023. URL: https://www.k-state.edu/phl (data zvernennia: 10.04.2026).

ISSN 3154-8059

Zmiievska O. H. [1; ORCID ID: 0009-0004-4043-6578],
Senior Lecturer

[1]*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

REVIEW OF RESEARCH ON GRAIN STORAGE ISSUES

Grain storage is a key component of Ukraine's agro-industrial sector, as post-harvest losses significantly affect food security and economic efficiency. Current challenges caused by military actions, destruction of storage facilities, logistics disruptions, and energy shortages have increased the importance of flexible and cost-effective grain storage technologies. This study analyses the main factors influencing grain preservation during storage, including moisture content, temperature, gas composition, pest activity, and microbial contamination. Moisture is identified as the primary factor affecting grain stability, since exceeding safe limits activates biochemical and microbiological processes that lead to self-heating and quality deterioration. Temperature regulation is also essential, as maintaining grain mass at low temperatures reduces biological activity and limits insect development. Special attention is paid to grain storage in polymer sleeves, which has become widely used in Ukraine under wartime conditions. This technology provides a cost-effective alternative to traditional elevator storage, allowing grain quality to be maintained for extended periods while reducing infrastructure dependence. The integration of wireless IoT sensors for monitoring temperature, humidity, and gas concentration improves storage control and operational reliability. The study also examines the automation of grain storage systems through IoT technologies, SCADA-based monitoring, and predictive models for self-heating prevention. These solutions contribute to lower grain losses, improved energy efficiency, and better management of storage processes. The results confirm that combining automated monitoring systems with alternative storage methods is a перспективний напрям for modernising Ukraine's grain storage infrastructure.

Keywords: grain storage; grain moisture content; temperature regime; polymer grain sleeves; grain storage automation; elevator; grain losses; storage technology.

Отримано / Received: 12.04.2026
Прийнято до друку / Accepted: 14.05.2026
Опубліковано / Published: 29.05.2026



© 2026 [Zmiyevska O. G.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)