

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ, ФАСУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНОВИХ****ОЛЬХОВСЬКИЙ А.С.** – директор*orcid.org/0009-0001-1991-6815*

ТОВ «Томі Груп»

**Постановка проблеми.** Розвиток сільського господарства тісно пов'язаний із впровадженням інноваційних технологій, спрямованих на підвищення ефективності виробництва, мінімізацію втрат і забезпечення стабільної якості продукції. Автоматизація технологічних процесів очищення, фасування та зберігання зернових охоплює використання роботизованих систем, сенсорних технологій, штучного інтелекту та Інтернету речей (IoT). Завдяки таким підходам агропідприємства можуть не лише підвищити продуктивність, а й забезпечити стабільну якість продукції відповідно до міжнародних стандартів. Крім того, автоматизовані системи сприяють зниженню виробничих витрат і мінімізації впливу людського фактора.

Актуальність дослідження полягає у необхідності розробки та впровадження сучасних технологій, які здатні значно покращити ефективність аграрного сектору. Попри численні наукові дослідження, що розглядають окремі аспекти механізації та автоматизації, залишається відкритим питання комплексної інтеграції новітніх рішень у всі етапи виробництва зернових культур.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Є багато досліджень сучасних вітчизняних та зарубіжних науковців, що розглядали проблеми автоматизації процесів очищення, фасування та зберігання зернових. Серед зарубіжних дослідників можна виділити Joe J.L. Bovas, T. Tedla, S.J. Pallath, якими було запропоновано автоматизовану систему моніторингу та контролю зерносховищ, яка враховує ключові параметри, такі як вологість, температура та газовий склад повітря в силосах [1]. С. Saores та E. Gomes у своїй статті дослідили застосування технологій Інтернету речей (IoT) для моніторингу умов зберігання зерна в силосах та використання озонного газу для боротьби з грибковими забрудненнями [2].

Значний внесок серед українських науковців внесли С.П. Танчика, Ю.П. Манька та А.І. Бабенка [3], їх дослідження присвячене аналізу сучасних систем землеробства в Україні, а робота Г.І. Подпрятова, В.І. Рожка та Л.Ф. Скалецької охоплює комплекс питань, пов'язаних із післязбиральною обробкою, зберіганням та переробкою продукції рослинництва [4]. У ній детально розглядаються способи післязбиральної обробки, режими і методи зберігання, а також технології переробки зернових культур.

А.В. Просяник дослідив типові організаційні структури управління підприємствами, основні технологічні процеси (зберігання, очищення, сушіння, транспортування, переробка зерна) [5], а також можливості їх автоматизації. Окрему увагу приділено впровадженню сучасних цифрових технологій, таких як SCADA-системи, ERP-системи та інші програмно-апаратні рішення, що

дозволяють контролювати всі етапи виробництва, зменшувати витрати, підвищувати якість продукції та забезпечувати стабільну роботу підприємства.

**Метою даної статті** є аналіз існуючих технологій автоматизації процесів очищення, фасування та зберігання зернових, визначення їхніх переваг та недоліків, а також окреслення перспективних напрямів розвитку у цій сфері. Дослідження базується на огляді сучасних наукових публікацій та аналізі технологічних рішень, що впроваджуються у провідних аграрних компаніях світу. Завдання дослідження:

- Аналіз сучасних технологій автоматизації зерносховищ у світовій практиці.
- Огляд наукових публікацій, присвячених впровадженню IoT у контроль та моніторинг зерна.
- Визначення основних економічних та екологічних переваг автоматизованих систем зберігання.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до аналізу автоматизації процесів очищення, фасування та зберігання зерна, що дозволяє визначити оптимальні рішення для їхнього впровадження в умовах сучасного аграрного виробництва.

**Результати досліджень.** Зерносховища мають забезпечувати ефективні умови зберігання, зокрема відсутність надмірної вологості та належну вентиляцію. Висота приміщень повинна відповідати вимогам щодо розміщення обладнання для очищення зерна, а також можливості багаторушного зберігання фасованої продукції. Сучасні технології будівництва зерносховищ активно впроваджують концепцію безкаркасних ангарів, які є економічно вигідним рішенням для підприємств агропромислового комплексу. Їхня конструкція передбачає використання легкого фундаменту та арокних перекриттів з оцинкованої сталі, що забезпечує міцність, довговічність та ефективний захист від зовнішніх впливів. Такі сховища відзначаються високою енергоефективністю та мінімізують витрати на утримання, що особливо важливо для підприємств на початковому етапі розвитку.

Додатковою перевагою є можливість масштабування складських площ для зберігання різних видів сільськогосподарської продукції. Автоматизація процесів у таких зерносховищах дозволяє контролювати температурно-вологісний режим, покращуючи якість збереженого зерна та запобігаючи його псуванню. Широке впровадження інтелектуальних технологій, сенсорних систем і роботизованих рішень сприяє підвищенню ефективності всіх етапів обробки зернових – від очищення до зберігання. Завдяки цьому мінімізуються втрати продукції, а виробничі процеси стають більш керованими та прогнозованими [6].

Очищення зерна, яке традиційно здійснюється через механічні сепаратори, віялки та решітні механізми, значно вдосконалюється завдяки автоматизованим системам з візійними сенсорами та адаптивним управлінням [7]. Дослідження показують, що застосування сенсорних систем у сучасних комбайнах дозволяє автоматично регулювати подачу повітря та швидкість сепарації, що зменшує втрати зерна [8]. Крім того, системи з оптичним розпізнаванням забезпечують ефективне відокремлення домішок і сторонніх часток, що покращує якість зерна та підвищує ефективність процесу [9]. Впровадження автоматизованих класифікаційних систем дозволяє значно зменшити кількість пошкодженого зерна та підвищити його ринкову вартість.

Наприклад, автоматизовані зерноочисні машини BCX-300 та BCX-500 забезпечують ефективне первинне та остаточне очищення зерна, що підвищує його якість і зменшує втрати. У сфері фасування та пакування активно використовуються зернопакувальні машини ЗПМ-180 та ЗПМА-180, які дозволяють швидко й надійно запаковувати продукцію у полімерні рукави для тривалого зберігання [10].

Фасування та пакування значно виграють від інновацій завдяки використанню роботизованих маніпуляторів, що можуть швидко та точно формувати партії продукції. Герметичні пакувальні системи з контрольованою атмосферою допомагають зменшити ризик псування зерна, оскільки вони запобігають розвитку плісняви та ураженню комахами [11]. Результати досліджень підтверджують, що використання вакуумного пакування та модифікованих газових середовищ сприяє збільшенню терміну зберігання продукції без застосування хімічних консервантів [12]. Крім того, автоматизовані лінії пакування інтегруються з системами моніторингу якості, що дозволяє виявляти будь-які відхилення у фізичних характеристиках продукції ще до її відвантаження.

Використання цифрових платформ управління запасами дозволяє оптимізувати логістику та контролювати якість зерна. Бібліометричний аналіз публікацій у сфері зберігання зерна показує, що після 2015 року значно зросла кількість досліджень, пов'язаних із автоматизованими системами моніторингу та управління [13], це свідчить про актуальність проблеми та перспективність впровадження технологій автоматизації. Зокрема, деякі сучасні рішення пропонують комплексний підхід, поєднуючи сенсорні системи з прогностичними моделями на основі великих даних, що дозволяє ефективніше розподіляти ресурси та мінімізувати витрати на зберігання.

Автоматизація зерносховищ є одним із пріоритетних напрямів розвитку агропромислового комплексу, оскільки вона сприяє підвищенню ефективності зберігання зернових, зниженню втрат та збереженню якості продукції. У світовій практиці активно впроваджуються інноваційні технології, що дозволяють оптимізувати всі етапи зберігання, контролю та обробки зерна, забезпечуючи стаке функціонування елеваторних комплексів. Однією з таких технологій є використання баштових сховищ, обладнаних активною вентиляцією, що широко застосовуються у США, Канаді та Європі. Активна вентиляція в таких сховищах здійснюється за допомогою

вентиляторів, які подають повітря через перфоровану підлогу або спеціальні повітропроводи, що забезпечує рівномірне охолодження або підсушування зернової маси, а також є критично важливим для збереження її якості. Крім того, сучасні баштові зерносховища оснащуються системами моніторингу температури та вологості, що дозволяє оперативно реагувати на зміни умов зберігання та запобігати можливим втратам.

У контексті автоматизації процесів зберігання зерна, оптимізація конструктивних елементів обладнання сприяє підвищенню ефективності роботи систем автоматизації. Наприклад, правильно спроектовані системи вентиляції та теплоізоляції забезпечують точніші показники датчиків температури та вологості, що дозволяє системам автоматизації своєчасно реагувати на зміни умов зберігання та вживати необхідних заходів для їх корекції [14]. Застосування ефективних систем охолодження дозволяє знизити температуру зерна, уповільнюючи біохімічні процеси та розвиток мікроорганізмів, що сприяє тривалому збереженню якості продукції. Інтеграція таких систем охолодження в автоматизовані комплекси зберігання зерна дозволяє забезпечити точний контроль температурних параметрів, що є критично важливим для дрібнонасіньових культур [15].

Інноваційним підходом до зберігання зернових культур в умовах, коли традиційні методи можуть бути неефективними, є використання мобільних зерносховищ, які можна швидко розгорнути в будь-якому місці, та застосування герметичних контейнерів з модифікованим газовим середовищем, що запобігає розвитку шкідників та мікроорганізмів. Такі технології дозволяють зберігати зерно протягом тривалого часу без втрати якості, що є особливо важливим під час надзвичайних ситуацій, коли доступ до традиційних зерносховищ може бути обмеженим [16].

Попри активне впровадження металевих зерносховищ, залишається низка питань щодо їх ефективності та техніко-технологічних особливостей зберігання різних зернових культур. Досвід експлуатації таких сховищ у зарубіжній практиці не завжди повністю відповідає вітчизняним умовам, що ускладнює їх адаптацію та використання на локальному рівні. На практиці виникають проблеми, пов'язані з вибором культур для зберігання, оптимальними параметрами їх збереження, допустимими термінами та забезпеченням належної якості продукції [17].

Одним із ключових питань є контроль мікроклімату всередині сховищ. Недостатньо вивченими залишаються показники температурної та вологої динаміки зерна відносно змін зовнішніх метеорологічних умов, газового складу зернової маси та впливу цих факторів на якість продукції під час тривалого зберігання. Оскільки металеві сховища, як правило, розміщують на відкритих майданчиках, вони зазнають значного впливу навколишнього середовища, що може викликати температурні коливання та утворення конденсату, який негативно впливає на збереження зерна.

Зберігання зерна в умовах контрольованого середовища також значно покращується завдяки технологіям Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту.

Встановлення сенсорних систем у зерносховищах дозволяє у режимі реального часу контролювати параметри зберігання, включаючи температуру, вологість та рівень вуглекислого газу [18], що допомагає прогнозувати можливі ризики псування зерна та вчасно вживати заходи для їх усунення [19]. Наприклад, сучасні силосні комплекси обладнані автоматичними системами вентиляції, що коригують умови зберігання відповідно до змін мікроклімату [21], а розвиток технологій дистанційного управління дозволяє операторам керувати умовами зберігання з будь-якої точки світу, що мінімізує людський фактор та знижує ризик помилок.

Завдяки IoT, аграрії отримують можливість здійснювати постійний моніторинг та контроль ключових параметрів, що впливають на збереження та обробку зерна. Інтеграція IoT-рішень у технологічні лінії очищення дозволяє автоматизувати контроль за роботою обладнання, виявляти та усувати несправності, а також забезпечувати стабільну якість очищення. Наприклад, встановлення датчиків на сепараторах та інших машинах для очищення зерна дає змогу вчасно виявляти відхилення в роботі та мінімізувати ризики псування продукції. Основні економічні переваги таких систем полягають у зниженні експлуатаційних витрат, мінімізації впливу людського фактора та підвищенні продуктивності. Згідно з проведеними дослідженнями використання автоматизованих систем на елеваторних комплексах дозволяє знизити втрати зерна на 15–20% та сприяє зменшенню енергоспоживання на 10–12% [22]. Завдяки впровадженню сенсорного моніторингу та автоматизованого контролю параметрів зберігання, підприємства можуть скоротити витрати на енергоресурси та оптимізувати логістичні процеси. З точки зору економічної ефективності, автоматизація дозволяє зменшити витрати на ручну працю, оскільки більшість операцій, пов'язаних із транспортуванням, сортуванням та контролем за збереженням зерна, виконується автоматично [23], що значно скорочує час на обробку продукції та дозволяє більш точно планувати постачання. Крім того, зниження втрат продукції завдяки точному контролю умов зберігання дозволяє збільшити прибутковість

підприємств, що є важливим фактором для конкурентоспроможності на ринку [24].

Екологічні переваги автоматизованих систем зберігання полягають у скороченні використання хімічних консервантів та зменшенні викидів у довкілля. Завдяки постійному моніторингу температури та вологості зерна зменшується потреба в застосуванні фумігантів для боротьби зі шкідниками, що позитивно впливає на екологію. Оптимізація систем вентиляції та контролю клімату у зерносховищах сприяє зниженню енергоспоживання, що допомагає зменшити викиди парникових газів та негативний вплив на довкілля [25]. Основні переваги застосування системи IoT надані в Таблиці 1.

Іншим екологічним аспектом є мінімізація харчових відходів завдяки точному контролю умов зберігання – автоматизовані системи дозволяють запобігати псуванню зерна через перезволоження, перегрів або розвиток мікроорганізмів, а це, в свою чергу, сприяє більш раціональному використанню природних ресурсів, оскільки зменшується кількість продукції, що втрачається через неякісне зберігання.

**Висновки.** Автоматизація процесів очищення, фасування та зберігання зернових є ключовим напрямом розвитку агропромислового комплексу, що забезпечує оптимізацію виробничих процесів, зниження втрат продукції та покращення її якості. Інноваційні технології, такі як системи Інтернету речей, штучний інтелект, сенсорний моніторинг та автоматизовані системи контролю, дозволяють ефективно керувати зерносховищами та підвищувати їхню продуктивність.

Автоматизація сприяє скороченню експлуатаційних витрат, мінімізації впливу людського фактора та оптимізації використання енергоресурсів. Доведено, що її впровадження знижує втрати зерна на 15–20% та скорочує енергоспоживання на 10–12%. Також автоматизовані системи сприяють екологічній безпеці, зменшуючи потребу в хімічних консервантах та скорочуючи викиди парникових газів. Попри значний прогрес, подальші дослідження у сфері автоматизації мають бути спрямовані на підвищення ефективності аграрного виробництва, зменшення витрат, екологічну безпеку та впровадження передових цифрових технологій у зерносховищах.

Таблиця 1

**Переваги впровадження IoT у процеси зберігання та очищення зернових**

| № | Перевага                    | Опис                                                                                                                                            | Приклад застосування                                                                          |
|---|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Підвищення ефективності     | Автоматизація процесів зменшує потребу в ручній праці та мінімізує людський фактор, що призводить до підвищення продуктивності.                 | Використання автоматичних систем контролю температури та вологості в зерносховищах.           |
| 2 | Зменшення втрат             | Постійний моніторинг умов зберігання дозволяє вчасно виявляти та усувати несприятливі фактори, що можуть призвести до псування зерна.           | Моніторинг рівня вологості та температури в реальному часі для запобігання розвитку плісняви. |
| 3 | Оптимізація ресурсів        | Контроль за роботою обладнання та умовами зберігання сприяє раціональному використанню енергоресурсів та матеріалів.                            | Автоматичне регулювання вентиляційних систем для зниження енергоспоживання.                   |
| 4 | Покращення якості продукції | Забезпечення стабільних умов зберігання та ефективного очищення гарантує високу якість зерна, що підвищує його конкурентоспроможність на ринку. | Впровадження датчиків контролю якості зерна перед його фасуванням або транспортуванням.       |

Узагальнено автором на основі [18, 22]

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Pallath S., Tedla T., Bovas J. J. Automated granary monitoring and controlling system suitable for the sub-saharan region. *International journal of scientific & technology research*. 2019. Vol. 8. P. 1943–1951. URL: [https://www.researchgate.net/publication/338104145\\_Automated\\_Granary\\_Monitoring\\_And\\_Controling\\_System\\_Suitable\\_For\\_The\\_Sub-Saharan\\_Region](https://www.researchgate.net/publication/338104145_Automated_Granary_Monitoring_And_Controling_System_Suitable_For_The_Sub-Saharan_Region).
- Use of iot to real-time monitoring of storage silo and ozone gas fungal decontamination strategy / C. Soares et al. *International journal of computer applications*. 2020. Vol. 175. P. 1–7. URL: <https://doi.org/10.5120/ijca2020920663>.
- Подпратов Г., Рожко В., Скалецька Л. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва. Аграрна освіта, 2014. URL: <http://kizman-tehn.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/НП-Технология-зберігання-та-перероб.-продукц.-рослинництва.pdf>.
- Танчик С., Манько Ю., Бабенко А. Зміст сучасних систем землеробства та їх класифікація. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України серія: агрономія*. 2012. Т. 176. С. 137–146. URL: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&am p;I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&image\\_file\\_name=PDF/nvnaui\\_agr\\_2012\\_176\\_24.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&am p;I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&image_file_name=PDF/nvnaui_agr_2012_176_24.pdf).
- Просяник А., Просяник М., Ткаченко С. Актуальні задачі автоматизації підприємств зберігання і переробки зерна. *Зберігання та переробка зерна*. 2012. Т. 8, № 158. С. 1–15. URL: <http://dnvpeldorado.com/articles/АКТУАЛЬНІ-ЗАДАЧІ-АВТОМАТИЗАЦІЇ-ПІДПРИЄМСТВ-ЗБЕРІГАННЯ-І-ПЕРЕРОБКИ-ЗЕРНА.pdf>.
- Manandhar A., Milindi P., Shah A. An overview of the post-harvest grain storage practices of smallholder farmers in developing countries. *Agriculture*. 2018. Vol. 8, no. 4. P. 57. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture8040057>.
- Liang Z., Wada M. E. Development of cleaning systems for combine harvesters: a review. *Biosystems engineering*. 2023. Vol. 236. P. 79–102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.10.018>.
- Campo E., Labrot-Rhodes L., Poujaud P. Review of monitoring systems for stored grains in modified atmosphere. *Heliyon*. 2023. P. 1–33. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4658498>.
- Automation system for the cleaning of yellow corn in the company "Inversiones Santana" / H. H. Mallco-Segura et al. *2022 international conference on mechanical, automation and electrical engineering (CMAEE)*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/cmaee58250.2022.00017>.
- ШоТам. Завод Кобзаренка розробив три моделі техніки для пакування зерна. URL: <https://shotam.info/zavod-kobzarenka-rozrobyv-try-modeli-tehniky-dlia-pakuvannia-zerna/>.
- Wakchaure Y. B., Patle B. K., Pawar S. Prospects of robotics in food processing: an overview. *Journal of mechanical engineering, automation and control systems*. 2023. URL: <https://doi.org/10.21595/jmeacs.2023.23209>.
- Automated food grain monitoring system for warehouse using IOT / J. Lydia et al. *Measurement: sensors*. 2022. Vol. 100472. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100472>.
- Research and technologies to reduce grain postharvest losses: a review / B. Nath et al. *Foods*. 2024. Vol. 13, no. 12. P. 1875. URL: <https://doi.org/10.3390/foods13121875>.
- Дослідження конструктивних елементів обладнання для зберігання зерна / Ю. В. Левченко та ін. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 39. С. 70–75. URL: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2.10>.
- Петушенко С. М., Тітлов О. С. Розробка систем охолодження для первинної низькотемпературної обробки та зберігання зерна дрібнонасінневих культур. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2023. Т. 59, № 3. С. 167–181. URL: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i3.2661>.
- Бараболя О. В., Кириченко Д. В. Перспективні технології зберігання зерна під час надзвичайних ситуацій. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 4. С. 25–31. URL: <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.03>.
- Кирпа М. Особливості зберігання зерна у сховищах металевих типу. *Пропозиція – Головний журнал з питань агробізнесу*. 2025. URL: <https://propozitsiya.com/ua/osoblyvosti-zberigannya-zerna-u-shovyshchah-metalevogo-typu>.
- Кравець І. Як оцифрувати фермерське господарство. *Пропозиція – Головний журнал з питань агробізнесу*. 2019. № 11. URL: <https://propozitsiya.com/ua/kak-ocifrovat-fermerskoe-hozyaystvo>.
- Ziegler V., Paraginski R. T., Ferreira C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality – A review. *Journal of stored products research*. 2021. Vol. 91. P. 101770. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101770>.
- Quality classification of stored wheat based on evidence reasoning rule and stacking ensemble learning / H. Jiang et al. *Computers and electronics in agriculture*. 2023. Vol. 214. P. 108339. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108339>.
- Kodali R. K., John J., Boppana L. IoT monitoring system for grain storage. *2020 IEEE international conference on electronics, computing and communication technologies (CONECCT)*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/conecct50063.2020.9198549>.
- Піскарьов О., Тимко В. Розробка та дослідження автоматизованої системи керування елеваторним комплексом. *Матеріали конференції KIT-2024*. 2024. С. 220–222. URL: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e9cf722a-f7e2-4c2e-a239-c0f85c1d0f65/content>.
- Коваленко М. Економічне обґрунтування інноваційних технологій зберігання зерна. *Економіка і суспільство*. 2018. № 16. С. 348–356. URL: [https://economyandsociety.in.ua/journals/16\\_ukr/53.pdf](https://economyandsociety.in.ua/journals/16_ukr/53.pdf).
- Агробізнес сьогодні. Автоматизація елеваторів та обліку зерна. Сучасні підходи та програмне забезпечення. URL: <https://agro-business.com.ua/agrobusiness/item/29385-avtomatyzatsiia-elevatoriv-ta-obliku-zerna-suchasni-pidkhody-ta-prohramne-zabezpechennia.html>.
- Шмандій В. М., Климец В. В., Бахарев В. С. Зменшення рівня екологічної небезпеки від пилових викидів зернових елеваторів. *Екологічна безпека*. 2014. № 1. С. 103–109. URL: [https://www.kdu.edu.ua/EKB\\_jurnal/2014\\_1\(17\)/Pdf/103.pdf](https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2014_1(17)/Pdf/103.pdf).

## REFERENCES:

- Pallath, S., Tedla, T., & Bovas, J. J. (2019). Automated granary monitoring and controlling system suitable for the sub-saharan region. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8, 1943–1951. [https://www.researchgate.net/publication/338104145\\_Automated\\_Granary\\_Monitoring\\_And\\_Controlling\\_System\\_Suitable\\_For\\_The\\_Sub-Saharan\\_Region](https://www.researchgate.net/publication/338104145_Automated_Granary_Monitoring_And_Controlling_System_Suitable_For_The_Sub-Saharan_Region)
- Soares, C., Gomes, E., Dahlke, F., Rolt, C., Plentz, P., Dantas, M., & Scussel, V. (2020). Use of IoT to Real-time Monitoring of Storage Silo and Ozone Gas Fungal Decontamination Strategy. *International Journal of Computer Applications*, 175, 1–7. <https://doi.org/10.5120/ijca2020920663>
- Podpriatov, H., Rozhko, V., & Skaletska, L. (2014). *Tekhnolohiia zberihannia ta pererobky produktii roslinnystva* [Technology of storage and processing of crop production]. Ahrarna osvita. <http://kizman-tehn.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/НП-Технологія-зберігання-та-перероб.-продукц.-рослинництва.pdf> [in Ukrainian]
- Tanchyk, S., Manko, Yu., & Babenko, A. (2012). Zmist suchasnykh system zemlerobstva ta yikh klasyfikatsiia [The content of modern farming systems and their classification]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Serii: Ahronomiia*, 176, 137–146. [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C=21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/nvnau\\_agr\\_2012\\_176\\_24.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C=21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/nvnau_agr_2012_176_24.pdf) [in Ukrainian]
- Prosiannyk, A., Prosiannyk, M., & Tkachenko, S. (2012). Aktualni zadachi avtomatyzatsii pidpriemstv zberihannia i pererobky zerna [Current tasks of automation of grain storage and processing enterprises]. *Zberihannia ta pererobka zerna*, 8(158), 1–15. <http://dnvpeldorado.com/articles/АКТУАЛЬНІ-ЗАДАЧІ-АВТОМАТИЗАЦІЇ-ПІДПРИЄМСТВ-ЗБЕРІГАННЯ-І-ПЕРЕРОБКИ-ЗЕРНА.pdf> [in Ukrainian]
- Manandhar, A., Milindi, P., & Shah, A. (2018). An overview of the post-harvest grain storage practices of small-holder farmers in developing countries. *Agriculture*, 8(4), 57. <https://doi.org/10.3390/agriculture8040057>
- Liang, Z., & Wada, M. E. (2023). Development of cleaning systems for combine harvesters: A review. *Biosystems Engineering*, 236, 79–102. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.10.018>
- Campo, E., Labrot-Rhodes, L., & Poujaud, P. (2023). Review of monitoring systems for stored grains in modified atmosphere. *Heliyon*, 1–33. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4658498>
- Mallco-Segura, H. H., Chavez-Esteban, Y. M., Rojas-Santana, S. G., Llactahuaman-Rodriguez, I., Ortiz-Zacarias, J. R., & Vilchez-Baca, H. A. (2022). Automation system for the cleaning of yellow corn in the company “Inversiones Santana”. In *2022 International Conference on Mechanical, Automation and Electrical Engineering (CMAEE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/cmaee58250.2022.00017>
- ShoTam. (n.d.). *Zavod Kobzarenka rozrobyv try modeli tekhniki dlia pakuvannia zerna* [Kobzarenko plant developed three models of equipment for grain packaging]. <https://shotam.info/zavod-kobzarenka-rozrobyv-try-modeli-tekhniki-dlia-pakuvannia-zerna/> [in Ukrainian]
- Wakchaure, Y. B., Patle, B. K., & Pawar, S. (2023). Prospects of robotics in food processing: An overview. *Journal of Mechanical Engineering, Automation and Control Systems*. <https://doi.org/10.21595/jmeacs.2023.23209>
- Lydia, J., Leones Sherwin Vimalraj, S., Monisha, R., & Murugan, R. (2022). Automated food grain monitoring system for warehouse using IOT. *Measurement: Sensors*, 100472. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100472>
- Nath, B., Chen, G., O'Sullivan, C. M., & Zare, D. (2024). Research and technologies to reduce grain postharvest losses: A review. *Foods*, 13(12), 1875. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>
- Levchenko, Yu. V., Basova, Yu. O., Molchanova, N. Yu., & Sytnyk, D. R. (2023). Doslidzhennia konstruktyvnykh elementiv obladnannia dlia zberihannia zerna [Study of structural elements of grain storage equipment]. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, (39), 70–75. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2.10> [in Ukrainian]
- Petushenko, S. M., & Titlov, O. S. (2023). Rozrobka system okholodzhennia dlia pervynnoi nyzkotemperaturnoi obrobky ta zberihannia zerna dribnonasinnievkykh kultur [Development of cooling systems for primary low-temperature treatment and storage of small-seeded grain]. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(3), 167–181. <https://doi.org/10.15673/ret.v59i3.2661> [in Ukrainian]
- Barabolia, O. V., & Kyrychenko, D. V. (2022). Perspektyvni tekhnolohii zberihannia zerna pid chas nadzvyzhainykh sytuatsii [Promising grain storage technologies during emergencies]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, (4), 25–31. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.03> [in Ukrainian]
- Kyrpa, M. (2025). Osoblyvosti zberihannia zerna u skhovyshchakh metalevoho typu. *Propozytsiia – Holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu*. <https://propozitsiya.com/ua/osoblyvosti-zberigannya-zerna-u-shovyshchah-metalevogo-typu> [in Ukrainian]
- Kravets, I. (2019). Yak otsyfruvaty fermerske hospodarstvo. *Propozytsiia – Holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu*, (11). <https://propozitsiya.com/ua/kak-ocifrovat-fermerskoe-hozyaystvo> [in Ukrainian]
- Ziegler, V., Paraginski, R. T., & Ferreira, C. D. (2021). Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality – A review. *Journal of Stored Products Research*, 91, 101770. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101770>
- Jiang, H., Zhang, S., Yang, Z., Zhao, L., Zhou, Y., & Zhou, D. (2023). Quality classification of stored wheat based on evidence reasoning rule and stacking ensemble learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 214, 108339. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108339>
- Kodali, R. K., John, J., & Boppana, L. (2020). IoT monitoring system for grain storage. In *2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECT)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/conect50063.2020.9198549>
- Piskarov, O., & Tymko, V. (2024). Rozrobka ta doslidzhennia avtomatyzovanoi systemy keruvannia elevatornym kompleksom [Development and research of an automated control system for elevator complexes].

- In *Materialy konferentsii KIT-2024* (pp. 220–222). KhNADU. <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e9cf722a-f7e2-4c2e-a239-c0f85c1d0f65/content> [in Ukrainian]
23. Kovalenko, M. (2018). Ekonomichne obgruntuvannia innovatsiinykh tekhnolohii zberihannia zerna [Economic substantiation of innovative grain storage technologies]. *Ekonomika i suspilstvo*, (16), 348–356. [https://economyandsociety.in.ua/journals/16\\_ukr/53.pdf](https://economyandsociety.in.ua/journals/16_ukr/53.pdf) [in Ukrainian]
24. Ahrobiznes sohodni. (n.d.). *Avtomatyizatsiia elevatoriv ta obliku zerna. Suchasni pidkhody ta prohramne zabezpechennia* [Automation of elevators and grain accounting. Modern approaches and software]. <https://agro-business.com.ua/agrobusiness/item/29385-avtomatyizatsiia-elevatoriv-ta-obliku-zerna-suchasni-pidkhody-ta-prohramne-zabezpechennia.html> [in Ukrainian]
25. Shmandii, V. M., Klymets, V. V., & Bakhariev, V. S. (2014). Zmenshennia rivnia ekolohichnoi nebezpeky vid pylovykh vykydiv zernovykh elevatoriv [Reducing the level of ecological danger from dust emissions of grain elevators]. *Ekolohichna bezpeka*, (1), 103–109. [https://www.kdu.edu.ua/EKB\\_jurnal/2014\\_1\(17\)/Pdf/103.pdf](https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2014_1(17)/Pdf/103.pdf) [in Ukrainian]

#### **Ольховський А.С. Автоматизація процесів очищення, фасування та зберігання зернових**

Сучасний розвиток агропромислового комплексу неможливий без автоматизації процесів очищення, фасування та зберігання зернових культур. Впровадження інноваційних технологій, зокрема сенсорних систем, Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту, дозволяє підвищити ефективність управління зерносховищами, знизити втрати продукції та забезпечити її стабільну якість. Попри наявність численних досліджень, залишається актуальною проблема комплексної інтеграції автоматизованих рішень у всі етапи обробки та зберігання зерна. Метою цієї роботи є аналіз сучасних технологій автоматизації процесів зберігання зернових, оцінка їхніх економічних та екологічних переваг, а також визначення перспектив розвитку у цій сфері. Дослідження ґрунтується на вивченні наукових публікацій та аналізі технологічних рішень, що впроваджуються у провідних аграрних підприємствах. Для досягнення поставленої мети використано методи системного аналізу, порівняльного огляду літератури та узагальнення отриманих результатів. Результати дослідження показують, що автоматизація 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. Впровадження автоматизованих систем моніторингу забезпечує безперервний

контроль вологості, температури та газового складу зернової маси, що дозволяє зменшити використання хімічних засобів та підвищити екологічну безпеку. Практична цінність дослідження полягає у можливості застосування отриманих результатів для розробки рекомендацій щодо впровадження автоматизованих технологій у зерносховищах. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку адаптивних систем управління мікрокліматом, інтеграцію альтернативних джерел енергії та оптимізацію логістичних процесів у зернових комплексах.

**Ключові слова:** сільське господарство, інтелектуальні системи управління зерносховищами, автоматизовані елеватори, IoT у агросекторі, моніторинг кліматичних параметрів, зниження втрат зерна.

#### **Olkhovskiy A.S. Automation of grain cleaning, packaging, and storage processes**

The modern development of the agro-industrial complex is impossible without the automation of grain cleaning, packaging, and storage processes. The implementation of innovative technologies, including sensor systems, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence, enhances the efficiency of grain storage management, reduces product losses, and ensures stable quality. Despite numerous studies, the issue of comprehensive integration of automated solutions into all stages of grain processing and storage remains relevant. The aim of this study is to analyze modern automation technologies for grain storage processes, assess their economic and environmental benefits, and identify development prospects in this field. The research is based on a review of scientific publications and an analysis of technological solutions implemented by leading agricultural enterprises. To achieve the set objectives, methods of system analysis, comparative literature review, and generalization of obtained results were applied. The study results indicate that automation can reduce grain losses by 15–20% and decrease energy consumption by 10–12%. Optimizing climate parameters in grain storage facilities minimizes the risk of grain spoilage and improves its quality indicators. The introduction of automated monitoring systems ensures continuous control of humidity, temperature, and gas composition of the grain mass, reducing the need for chemical preservatives and increasing environmental safety. The practical significance of the study lies in the potential application of the obtained results to develop recommendations for implementing automated technologies in grain storage. Future research should focus on developing adaptive microclimate management systems, integrating alternative energy sources, and optimizing logistics processes in grain storage complexes.

**Key words:** agriculture, intelligent grain storage management systems, automated elevators, IoT in the agricultural sector, climate parameter monitoring, grain loss reduction.