

С.В. Ягелюк^[0000-0002-7428-0848], В.С. Пуць^[0000-0003-3164-6173], В.Л. Мартинюк^[0000-0002-6914-2336]

Луцький національний технічний університет

РОБОТОТЕХНІКА – ШЛЯХ ЗАПРОВАДЖЕННЯ РЕВОЛЮЦІЇ 4,0 У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

На сучасному етапі розвитку сільськогосподарської галузі для українських виробників особливо актуальною є проблема дефіциту робочої сили, що має значний негативний вплив на процес запровадження інноваційних технологій. Така ситуація є прямою загрозою продуктової безпеки країни. Одним із актуальних напрямків вирішення даної проблеми є розроблення та запровадження роботів, які здатні замінити людину й виконувати технологічні операції автономно. У статті виконано огляд роботів, які активно запроваджуються в сільськогосподарському виробництві. Як показав огляд досліджень і чинних конструкцій роботів, вони здатні виконувати різноманітні технологічні операції від моніторингу поля до посіву й збору врожаю тим самим зменшують залежність від ручної праці. При цьому значним чином зростає продуктивність виконаних робіт і якість готової продукції.

Ключові слова: робот, робототехнічна система, сільське господарство, інновації, автоматизація.

S. Yaheliuk, V. Puts, V. Martyniuk

ROBOTICS – THE PATH TO IMPLEMENTING INDUSTRY 4.0 IN AGRICULTURE

At the current stage of development in the agricultural sector, the labor shortage is a particularly pressing issue for Ukrainian producers, significantly hindering the adoption of innovative technologies. This situation poses a direct threat to the country's food security. One of the most promising approaches to solving this problem is the development and deployment of robots capable of replacing human labor and performing agricultural operations autonomously. As a review of research and existing robot designs has shown, they are capable of performing a variety of technological operations, from field monitoring to sowing and harvesting, thereby reducing dependence on manual labor. At the same time, the productivity of the work performed and the quality of the finished product increase significantly, while the negative impact on the environment decreases. This article provides an overview of robots that are being actively introduced into agricultural production. The advantages and challenges of robot implementation are outlined. It has been established that the creation of swarm robotic systems is a promising direction for the development of robotics in agriculture.

Keywords: robot, robotic system, agriculture, innovation, automation.

Постановка проблеми. Вчені-аграрії, виробники сучасної сільськогосподарської техніки, спрямовуючи свої дослідження на вирішення проблеми забезпечення людства продуктами харчування. З цією метою останні роки ми спостерігаємо активне розроблення та застосування передових технологій в аграрному секторі.

Активний розвиток складних технологій, що базуються на використанні датчиків, GPS технологій, розроблення автономних машин дозволяють значним чином скоротити втрати урожаю, оптимізувати використання ресурсів, підвищити продуктивність й рентабельність виробництва в усіх галузях сільського господарства. В умовах сільського господарства 4,0 виробники вирішують демографічні проблеми (нестача робочих рук), обмежених ресурсів, зміни клімату та повторного використання відходів.

У якості ключового аспекту розвитку сільського господарства 4,0 можна відмітити розроблення та запровадження роботів для виконання різних задач як у рослинництві так й в тваринництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запровадження технологічних процесів із використанням роботів, багатьма авторами [1, 2, 3] позиціонується як перспективний напрямок вирішення проблеми дефіциту робочої сили у сільському господарстві. Крім того, роботи за рахунок імітації рухів людини, замінюють їх під час виконання складних процесів, а також у небезпечних для здоров'я людей умовах [3], забезпечують високу точність і якість виконання робіт [2].

Сільське господарство виконує складне завдання – забезпечення харчової безпеки людства. Одночасно перед ним стоїть глобальна проблема зменшення викидів у навколишнє середовище. Відомо, що у сільському господарстві відбувається накопичення в ґрунтах, водних джерелах та атмосфері надлишкової кількості небезпечних речовин. Крім впливу на здоров'я людини, викиди від сільського господарства також шкодять урожаю, знижують урожайність, ушкоджують екосистеми та зменшують біорізноманіття [4]. Вирішити дану проблему допомагають роботи.

З урахуванням цього, багато вчених зосереджують свої наукові дослідження на вирішенні даної проблеми. Зокрема критично важливим є вирішення проблеми зменшення кількості використовуваних у сільському господарстві агрохімікатів. На даний час обробка рослин із метою знищення бур'янів і пригнічення хвороб проводиться із застосуванням гідравлічних та

гідропневматичних обприскувачів. За умови їхнього застосування значна частина хімічних речовин потрапляють основні компоненти агрофітоценозів: ґрунти сільськогосподарських угідь, рослини, надземна та ґрунтова біота, ґрунтові води, поверхневі водні об'єкти [5]. Дрібні краплі рідини переносяться вітром на сусідні посіви або поля, що призводить до утворення залишків гербіцидів (або агрохімікатів загалом) на сільськогосподарській продукції. Це може завдати шкоди посівам, а також може бути передано кінцевому споживачеві, де це може мати значний вплив на його здоров'я.

У роботах [6, 7] авторами доведено, що використання роботів і штучного інтелекту дозволяють забезпечити високу ефективність використання ресурсів, зокрема й пестицидів. Це досягається за рахунок точного внесення пестицидів у зону розвитку бур'янів. При цьому може бути зменшене використання гербіцидів у середньому на 77% [7].

Значна частина наукових праць присвячена розроблянню та дослідженню роботів для збирання врожаю. Роботизовані системи збору врожаю привертають увагу як рішення проблем нестачі робочої сили та обмежень ефективності в сільському господарстві [9, 10, 11].

У роботі [9] авторами розроблено та досліджено модель робота YOLOv8m, який здатен аналізувати плоди томатів за стиглістю в процесі збирання. Завдяки точному виявленню стиглих плодів (99,9%) точність збору врожаю становить 83,3%, коефіцієнта пошкодження врожаю лише 4,0%.

У дослідженні [10] представлено результати проектування, та польового випробування робота для збору цитрусових. Польові експерименти, виконані для 142 зразків цитрусових показали, що 99% плодів було зірвано без пошкоджень. Застосування роботів дозволить повністю автоматизувати збір врожаю.

Як бачимо з аналізу чинних досліджень робототехніка відіграє важливу роль у сільському господарстві 4.0 та вирішує проблеми: скороченні ручної праці, підвищення продуктивності виконання технологічних процесів, зменшення витрат, покращення якості готової продукції, зменшення екологічного навантаження тощо.

Мета роботи. Аналіз напрямків застосування роботів у сільському господарстві, визначення перспектив і особливостей їхнього запровадження.

Виклад основного матеріалу. Роботи широко використовують як у рослинності, так і в тваринництві. Розглянемо деякі конструкції сільгоспроботів. Моделі унікальні і автономні: для виконання ними своїх функцій участь людини абсолютно не потрібна.

Робот для прополювання Nexus Robotics (рис. 1) - автономний робот для прополювання на базі ШІ, розроблений для овочівництва.

Nexus Robotics La Chèvre використовується для автономного прополювання на сільськогосподарських полях, особливо в овочівництві. Унікальна точність виконання технологічної операції внесення пестицидів дозволяє фермерам ефективно боротися з поширенням бур'янів, не забруднюючи навколишнє середовище.

Робот вирішує проблему нестачі робочої сили та знижує експлуатаційні витрати. Застосування La Chèvre забезпечує економію гербіцидів та фунгіцидів до 50%, сприяючи більш стійким та органічним методам ведення сільського господарства [12]. Робот також збирає дані про посіви та умови вирощування, надає фермерам інформацію в режимі реального часу для прийняття обґрунтованих рішень про родючість ґрунту, боротьбу з хворобами і прогнозування врожаю. Система навігації робота включає RTK-GPS, датчики LiDAR. Гібридна електрична трансмісія робота, оснащена електричною системою приводу, що живиться від акумуляторів, що заряджаються від бортового дизельного генератора забезпечує розширену автономність роботи в полі.

Nexus Robotics La Chèvre використовується для автономного прополювання на сільськогосподарських полях, особливо в овочівництві. Унікальна точність виконання технологічної операції внесення пестицидів дозволяє фермерам ефективно боротися з поширенням бур'янів, не забруднюючи навколишнє середовище.

Робот вирішує проблему нестачі робочої сили та знижує експлуатаційні витрати. Застосування La Chèvre забезпечує економію гербіцидів та фунгіцидів до 50%, сприяючи більш стійким та органічним методам ведення сільського господарства [12]. Робот також збирає дані про посіви та умови вирощування, надає фермерам інформацію в режимі реального часу для прийняття обґрунтованих рішень про родючість ґрунту, боротьбу з хворобами і прогнозування врожаю. Система навігації робота включає RTK-GPS, датчики LiDAR. Гібридна електрична трансмісія робота, оснащена електричною системою приводу, що живиться від акумуляторів, що заряджаються від бортового дизельного генератора забезпечує розширену автономність роботи в полі.



Рис.1. Робот для прополювання Nexus Robotics: а – загальний вигляд, б – робочий орган

На виставці Agritechnica 2025 компанія Fendt представила робота Xaver GT (рис.2) який призначено для боротьби з бур'янами на овочевих полях [13]. Ходова частина робота містить чотири колеса, які мають незалежне керування. У якості джерела енергії використано електродвигуни. Таке незалежне керування дає можливість з особливою точністю Fendt Xaver GT орієнтуватися в просторі. Робоча швидкість робота до 10 км/год. Робот точно визначає бур'яни, культурні рослини за рахунок використання штучного інтелекту. За добу робот здатен обробляти до 4 га. Згідно даних виробника та користувачів, економічний ефект від використання Nexus Robotics становить приблизно 1000 доларів з одного гектару.



Рис.2. Робот Xaver GT

© С.В. Ягелюк, В.С. Пуць, В.Л. Мартинюк

Xaver GT нагадує автономну платформу. Робот має при цьому порівняно невелику масу – 3 т. Особливістю робота є мінімальне ущільнення ґрунту навіть під час багаторазових проходів. Мінімізувати тиск на ґрунт виробникам вдалося за рахунок забезпечення рівномірного розподілу навантаження між осями.

Бельгійська робототехнічна компанія Oostinion запустила повністю автономного робота для збирання полуниці під назвою Rubion (рис.3). Робот автономно рухається по теплицям або полю, визначає ступінь стиглості ягід. Робочий орган робота здатен захоплювати ягоди з різним впливом на них (залежно від стиглості), що дає можливість зберігати їхню цілісність. Ще однією особливістю робота Rubion є здатність прогнозувати наступний урожай на основі аналізу даних про поточний врожай [14].



Рис. 3. Робот Rubion

Новим напрямком розвитку роботизованих систем у сільському господарстві є ройова робототехніка. Вчені та виробники все більше уваги приділяють вивченню процесів взаємодії роботів, які працюють у групі для виконання спільних завдань. Роева робототехніка у сільському господарстві використовується для моніторингу посівів, збору даних про якість ґрунту та виконання завдань точного землеробства, таких як цілеспрямоване застосування пестицидів.

Прикладом роевої робототехніки є проект RoboBees, також розроблений у Гарварді. RoboBees (рис. 4) – це крихітні літаючі роботи, створені для імітації поведінки бджіл. Вони можуть бути використані для виконання різних завдань, включаючи моніторинг навколишнього середовища, пошук та порятунок, а також запилення сільськогосподарських культур [15].

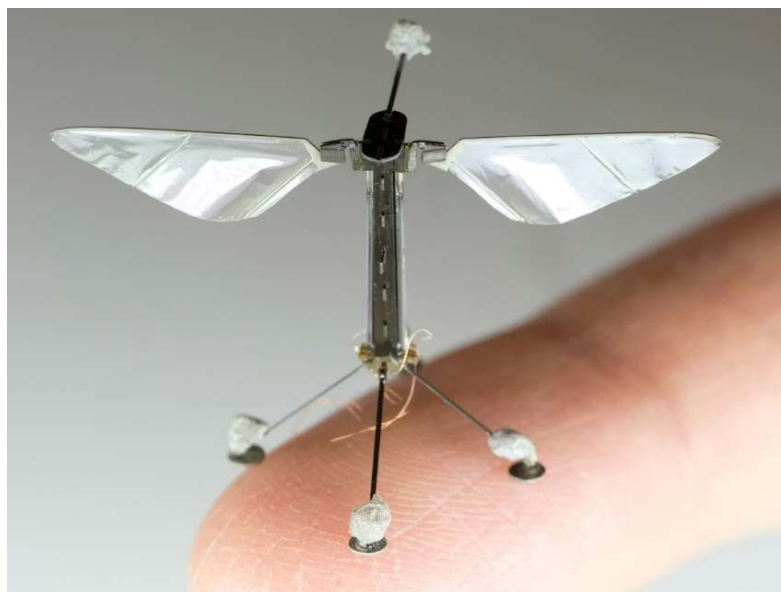


Рис. 4. Роева робототехніка RoboBees

Відомою також є роботизована система MARS (рис. 5), яка реалізує роеві принципи роботи. Роботи MARS призначені для виконання технологічного процесу висіву кукурудзи. Застосування роботизованої системи MARS дозволить замінити важкі агрегати (трактор і сівалка) й зменшити ущільнення ґрунту, а також споживання енергії важкою технікою. Крім того, запровадження роботизованої системи MARS призведе до зменшення витрат насіння, добрив та пестицидів і збільшення врожайності [16].



Рис.5. Роботизована система MARS

Система MARS реалізує інтегрований процес автоматизованого посіву з використанням гнучкої кількості роботів, які керують положенням кожного посаженого насіння. На рис. 6 показано глобальну архітектуру системи, яка поділена на 3 частини. Роботи (3) виконують процес посіву, який попередньо планується та контролюється OptiVisor (2). Хмарне середовище (1) забезпечує функцію керування даними та користувачами.

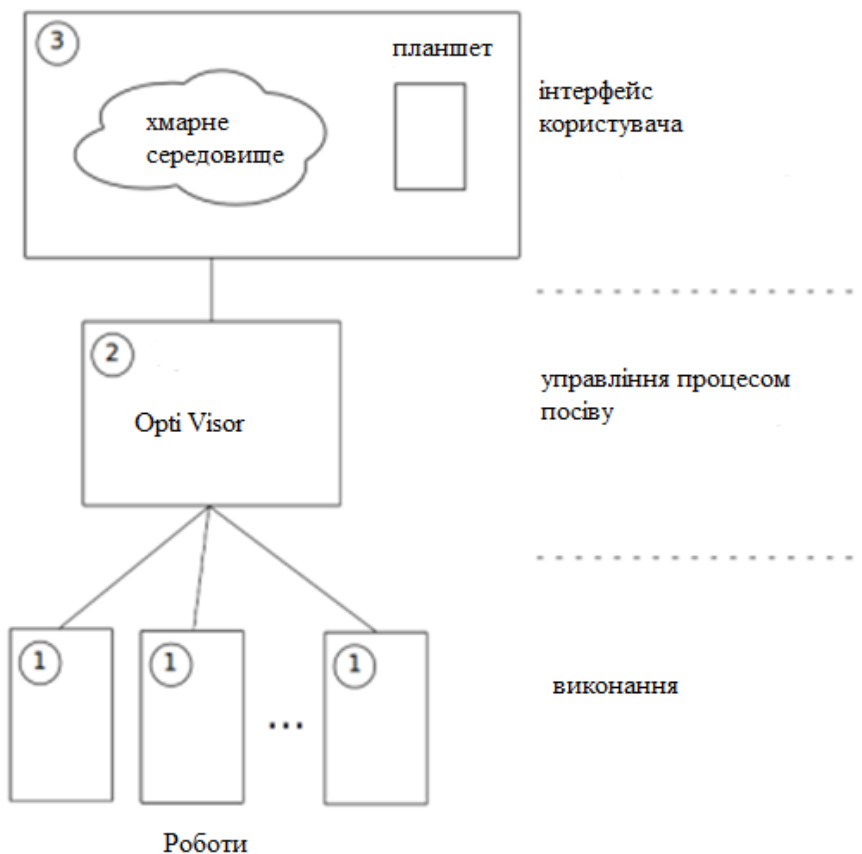


Рис. 6. Системна архітектура роботизованої системи MARS [16]

Бачимо, що для сільськогосподарського виробництва робототехніка є ефективним засобом вирішення проблем продовольчої безпеки, дефіциту робочої сили та збереження навколишнього середовища. Роботи змінюють виробничі процеси, підвищуючи їхню ефективність, сприяють зростанню продуктивності та якості їхнього виконання. Роботи зменшують залежність від ручної праці в різних сільськогосподарських процесах, що призводить до зниження витрат на оплату праці. Роботизовані системи оптимізують водні ресурси, використання добрив та пестицидів, сприяють запровадженню сталих сільськогосподарських практик [17].

Запровадження роботів у сільськогосподарське виробництво відповідає основним трендам Індустрії 4.0, яка характеризується активним розвитком автоматизації процесів, застосуванням Інтернет – речей, хмарних технологій.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Аналіз чинних наукових досліджень і різноманітних конструкцій роботів, які інтегруються у сільське господарство, доводить, що сучасне сільське господарство знаходиться на етапі 4.0 («Сільське господарство 4.0»). Це сприяє запровадженню процесів, які сприяють підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва за рахунок автоматизації й підвищення точності окремих технологічних операцій. Роботизація агропромислового комплексу дозволить:

- вирішити проблему дефіциту робочих рук в галузі;
- підвищити ефективність та продуктивність технологічних процесів;
- підвищити якість продукції;
- зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема, вирішити проблему переуцілювання ґрунтів, шкідливих викидів в атмосферу, хімічного навантаження на ґрунт і водні ресурси;

- замінити людей піл час виконання небезпечних для здоров'я роботах.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на:

- розроблення й запровадження вітчизняної робототехніки, яка буде доступною для українського виробника сільськогосподарської продукції;
- розроблення навчальних програм для підготовки висококваліфікованих робітників, здатних керувати та обслуговувати складні автоматизовані системи.

Список використаних джерел

1. Marinoudi V., Sorensen C. G., Pearson S., Bochtis D., et al. Robotics and labour in agriculture. A context consideration// Biosystems Engineering. – 2019.- Vol. 184. - P. 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.06.013>.
2. Marinoudi V., Lampridi M., Kateris D., Pearson S. et al. The Future of Agricultural Jobs in View of Robotization// Sustainability. – 2021. – Vol. 13(21), 12109. <https://doi.org/10.3390/su132112109>
3. Manning L. Innovating in an Uncertain World: Understanding the Social, Technical and Systemic Barriers to Farmers Adopting New Technologies// Challenges – 2024. – Vol. 15(2), 32. <https://doi.org/10.3390/challe15020032>
4. Swanson, N.L., Leu, A., Abrahamson, J., Wallet, B. Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America// Journal of Organic Systems. – 2014. – Vol. 9(2). P. 6–37.
5. Костенко С.О. Пестициди та агрохімікати як інновації в аграрній сфері: до питання правового регулювання «розумних меж» використання. На сторожі земельного ладу: до 20-річчя Земельного кодексу: Міжнар. наук.-практ. Конф., м. Київ, 26 листопада 2021 р. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021. С. 92-98.
6. Das S., Wiafe E. K., Upadhyay A., et al. Design and evaluation of a vision-guided robotic platform with root-zone drilling for targeted weed removal// Computers and Electronics in Agriculture. - 2026.- Vol. 246, 111605. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111605>.
7. Aijaz N., Lan H., Raza T., et al. Artificial intelligence in agriculture: Advancing crop productivity and sustainability// Journal of Agriculture and Food Research.- 2025.-Vol. 20, 101762. - <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101762>.
8. John Deere. John Deere запускає систему See & Spray™ Select для обприскувачів серій 400 та 600. URL: <https://www.deere.com/en/news/all-news/2021mar02-john-deere-launches-see-and-spray-select/> (дата звернення 17.01. 2026).

9. Prajwal R, Parray R. A., Bhaleka D. G., Tushar Dhar, et al. Maturity detection based autonomous robotic system for tomato harvesting in green houses.// Results in Engineering. - 2026. – 110044. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.110044>.
10. Espinoza J., Chinnock B., Bahne C., et al. A novel high-precision citrus harvesting robotic system for controlled stem length: Design, validation, and field evaluation//Smart Agricultural Technology. – 2026. – Vol. 13, 101918. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.101918>.
11. Li H., Chen Y., Li Z., et al. A following collaborative robot Harvesting-Assisted transport system with collaborative region constraints model for fruit harvesting//Computers and Electronics in Agriculture. – 2026. – Vol. 244. -p. 111467. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111467>.
12. Inertia. URL: <https://www.inertiapd.com/cases/autonomous-weeding-robot> (дата звернення 17.01. 2026).
13. Fendt. Press release. URL: https://www.fendt.com/php/create_pdf/pdf2/47576_web_en_2026-01-27_09-38-19.pdf (дата звернення 17.01. 2026).
14. Octinion. URL: <http://octinion.com/> (дата звернення 17.01. 2026).15. Wyss Institute. URL: <https://wyss.harvard.edu/technology/robobees-autonomous-flying-microrobots/> (дата звернення 17.01. 2026).
16. Mobile Agricultural Robot Swarms (MARS)/ AGCO GmbH (AGCO)// Final Report. - 2016. – p.48. Hochschule Ulm – Ulm University of Applied Sciences, Germany (HSU). <https://echord.eu/public/wp-content/uploads/2018/01/Final-Report-MARS.pdf>
17. Yang, Q., Du, X., Wang, Z., Meng, Z., Ma, Z., & Zhang, Q. A review of core agricultural robot technologies for crop productions.// Computers and Electronics in Agriculture. – 2023. - Vol. 206. P. 107701. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107701>

Дата надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026

Дата оприлюднення 14.04.2026