

DEVELOPING A CLASSIFICATION OF AGRICULTURAL ROBOTS

O. Nalobina^{1*}, M. Holotiuk¹, V. Puts², A. Mykhailov¹¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine²Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

The introduction of sustainable methods of agriculture, soil and plant condition monitoring is carried out through the optimization of agricultural production management, the introduction of innovative design and technological solutions, as well as digital technologies. An important role in this process is played by agricultural machinery and automation technologies, which allow monitoring and forecasting of work, reduce the cost of finished products, improve their quality indicators, solve personnel problems and reduce environmental impact. Manufacturers of agricultural robotics offer solutions for a variety of industries, including crop and livestock farming. According to a specific agricultural task, the robot has certain design, kinematic and energy characteristics. Despite the various designs of robots, there is still no developed classification of agricultural robots, which are only divided into groups by type and application. The article presents the results of the analysis of models of agricultural robots. The analysis is reduced to features that can be used to classify agricultural robots. For this purpose, a focused interview was conducted, which made it possible to determine the most important classification features, on the basis of which it would be possible to justify the choice of a robot for a specific agricultural production, taking into account its needs. During the research, information was obtained that was the basis for the development of a classification of robots. The main characteristics suggested by the focus groups for the basis of the classification were: field of application, degree of specialization, type of drive, type of motor, control system. The authors of the article also suggested additional characteristics: type of production, mass of work, mobility, energy source, type of work, duration of work without recharging.

Key words:

agriculture,
robot,
robot parameters,
classification of robots,
agricultural robots

Article history:

Received 22.05.2024

Accepted 17.06.2024

***Corresponding author:**

o.o.nalobina@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi50.1384

To cite this article:

Nalobina, O., Holotiuk, M., Puts, V., & Mykhailov, A. (2024). Developing a classification of agricultural robots. *Agricultural Machines*, 50, 88-97. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1384>

УДК 004.896:681.5

РОЗРОБЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОБОТІВ**О.О. Налобіна^{1*}, М.В. Голотюк¹, В.С. Пуць², А.О. Михайлов¹**¹Національний університет водного господарства та природокористування,
Рівне, Україна²Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СММ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Запровадження стійких методів ведення сільського господарства, моніторингу стану ґрунтів та рослин відбувається шляхом оптимізації управління виробництвом, впровадження цифрових технологій, а також інноваційних конструкторських та технологічних рішень. Важливу роль у цьому процесі відіграють сільськогосподарські роботи та автоматизовані технології, які дозволяють проводити моніторинг та прогнозування робіт, зменшити собівартість готової продукції, покращити її якісні показники, вирішити проблеми з кадрами та зменшити екологічне навантаження. Виробники техніки, які займаються сільськогосподарською робототехнікою, пропонують рішення для різних галузей, зокрема, для рослинництва та тваринництва. Відповідно до конкретного сільськогосподарського завдання робот має конструктивні, кінематичні та енергетичні особливості. Не зважаючи на різні конструкції роботів дотепер немає розробленої класифікації сільськогосподарських роботів, яких поділяють лише на групи за типом та застосуванням. У статті викладено результати аналізу різних моделей сільськогосподарських роботів. Аналіз зведено до ознак, за якими можуть бути класифіковані роботи, що працюють у сільському господарстві. З цією метою було проведено фокусоване інтерв'ю, що дозволило визначити найбільш суттєві класифікаційні ознаки, спираючись на які можна було б обґрунтувати вибір робота для конкретного сільськогосподарського виробництва з урахуванням його потреб. Під час дослідження отримано інформацію, яка була покладена в основу розроблення класифікації роботів. Основними ознаками, які запропонували фокус-групи для покладання в основу класифікації, були: галузь застосування, ступінь спеціалізації, тип приводу, тип рушія, система керування. Також авторами статті запропоновані ознаки: вид виробництва, маса робота, мобільність, джерело енергії, тип виконання роботи, тривалість роботи без заряджання.

Ключові слова:

сільське господарство,
робот,
параметри робота,
класифікація роботів,
сільськогосподарські роботи

Історія публікації:

Отримано 22.05.2024

Затверджено 17.06.2024

***Автор для листування:**

o.o.nalobina@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi50.1384

Цитувати цю статтю:

Налобіна, О. О., Голотюк, М. В., Пуць, В. С., & Михайлов, А. О. (2024). Розроблення класифікації сільськогосподарських роботів. *Сільськогосподарські машини*, 50, 88-97. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1384>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Згідно зі звітом (*Exactitude Consultancy, 2024a*) очікують, що глобальний ринок роботів для сільського господарства зростатиме з середньорічним темпом 31,50% протягом 2023–2030 рр. Одним з домінуючих факторів активного запровадження робототехніки у сільськогосподарському виробництві є стрімке зростання попиту населення на продукти харчування (*Nasirahmadi & Hensel, 2022*). Стимулює запровадження робототехніки також нестача робочої сили та кваліфікованих робітників для обслуговування сучасних інтелектуальних машин, які використовуються на полях. Використання роботів у сільському господарстві відкриває широкі можливості підвищення продуктивності виконання робіт, оптимізації технологічних процесів та підвищення якості готової продукції. Роботи можуть працювати у різних сферах сільського господарства від висаджування рослин до збирання урожаю, забезпечуючи при цьому точність виконання операцій та високу швидкість роботи. Розвиток сільського господарства 4.0 створює нові можливості, усуває багато проблем у галузі та сприяє її економічній стійкості (*Bechar et al., 2015; Солоня, 2020; Li et al., 2022; Кучмішова та ін., 2023; Williams et al., 2023; Exactitude Consultancy, 2024b*).

Отже, можна сформулювати такі завдання роботизації у сільському господарстві:

- моніторинг та прогнозування;
- зниження собівартості виробництва продукції рослинництва та тваринництва;
- покращення якісних показників виконання технологічних процесів;
- зниження екологічного навантаження;
- підвищення конкурентоспроможності середніх та дрібних виробників;
- підвищення безпеки виробництва;
- вирішення проблем з кадрами;
- розширення можливостей використання сільськогосподарської техніки.

Впровадження робототехніки, наприклад, у рослинництві сприяє вирішенню проблеми негативних впливів на ґрунт (*Billingsley et al., 2008*). Внаслідок зростаючої уваги до сталого розвитку і нового законодавства, спрямованого на пом'якшення зміни клімату, спостерігається тенденція до екологічно чистих альтернатив існуючим сільськогосподарським машинам.

Відповідно, зростає значимість досліджень у галузі робототехніки, аналізу та прогнозування зв'язку між технічними характеристиками роботів і продуктивністю, а також досліджень наслідків поширення робототехніки залежно від соціально-економічних умов, притаманних конкретному суспільству, й досліджень ринків різних видів роботів.

Глобальний ринок сільськогосподарських роботів поділяють на сегменти (дані 2022 року) (*Exactitude Consultancy, 2024a*): безпілотні трактори (40%), безпілотні літальні апарати (БПЛА) (25%), роботи для доїння (15%), автоматизовані збиральні роботи (10%) та інші (10%). Виробниками роботів для сільського господарства є Yamaha Motor Company, GEA Group Aktiengesellschaft, DeLaval Inc., Deere and Company та AGCO Corporation. Домінує на ринку сільськогосподарських роботів Північна Америка (60% ринку) (*Exactitude Consultancy, 2024a*). Фермери у США та Канаді широко використовують дрони для обприскування пестицидами та моніторингу посівів, сівби, контролю зрошення тощо.

Основними чинниками розвитку ринку сільськогосподарських роботів у США є масштабні сільськогосподарські операції, зменшення кількості робочої сили та потреба підвищити продуктивність виробництва. У Канаді основними рушійними факторами розвитку цього ринку є можлива економія коштів внаслідок ефективного використання технологій та сучасного обладнання, а також підвищення урожайності та якості урожаю. У країнах з найбільшим сільськогосподарським потенціалом (Китай, Індія, країни Латинської Америки, Україна) основним стимулом для розвитку агротехнологій з використанням робототехніки є нарощування експорту та зміцнення позицій на зовнішніх ринках.

Не зважаючи на різноманіття конструкцій сільськогосподарських роботів дотепер немає розробленої їх класифікації. Їх поділяють на групи за типом та застосуванням (**рис. 1**). Представлена класифікація не враховує конструктивних особливостей усіх роботів, наприклад, виду ходової системи, маси та габаритів роботів, особливостей системи керування, а також енергоспоживання. А це ті ознаки, спираючись на які можна було б обґрунтувати вибір машини для конкретного виробництва агропродукції з урахування його потреб.



Рис. 1 – Чинна класифікація роботів для сільського господарства

Мета дослідження – аналітичний огляд конструкцій сучасних роботів для сільського господарства та створення їх класифікації.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У сільському господарстві застосовують роботів, які характеризуються значною різноманітністю, що спричиняє потребу їх систематизації. Широкої класифікації роботів, яка б відповідала рівню їх розвитку та поширення, у науковій літературі на сьогодні немає. Тому є потреба у виборі чітких ознак, за якими може бути проведена класифікація роботів сільськогосподарського призначення. З цією метою проведено фокусоване інтерв'ю (Merton et al., 1990) для виявлення найбільш суттєвих класифікаційних ознак.

В інтерв'ю брали участь 3 фокус-групи, до яких були залучені:

- група № 1: 10 осіб, зокрема, 5 викладачів та 5 представників аграрних підприємств;
- група № 2: 10 осіб, зокрема, 3 викладачі та 7 представників аграрних підприємств;
- група № 3: 10 осіб, зокрема, 5 викладачів, 2 студенти магістерського рівня вищої освіти та 3 представники аграрних підприємств.

Після проведення інтерв'ю модератор фіксував усю отриману інформацію, яка стосувалася теми інтерв'ю. На наступному етапі було сформовано детальний звіт, в якому були зафіксовані усі думки респондентів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Інтерв'ю, що проведене у фокус-групах, дозволило отримати інформацію, яка була

покладена в основу розроблення класифікації роботів. Основні ознаки, які запропонували у фокус-групах для покладання в основу класифікації, були:

- 1) галузь застосування;
- 2) ступінь спеціалізації;
- 3) тип приводу;
- 4) тип рушія;
- 5) система керування.

Параметри, які додатково запропоновані авторами статті:

- 1) вид виробництва;
- 2) маса робота;
- 3) мобільність;
- 4) джерело енергії;
- 5) тип виконання роботи;
- 6) тривалість (час) роботи без заряджання.

Розглянемо застосування класифікації на прикладах моделей роботів.

Галузь застосування. У сільському господарстві значний сегмент ринку займають роботи, що створені для використання у тваринництві. Вони призначені для виконання технологічних операцій:

- змішування та дозування тваринних кормів (TRIOMATIC) (рис. 2);
- роботи-дояри (LELY ASTRONAUT A4, GEA) (рис. 3);
- роботи для очищення ферм від гною (JOZ, Lely Discovery, RS420S).

У рослинництві роботи виконують різні технологічні операції:

- збирання урожаю різних культур (Tortuga, Apple, Autopickr Gus, Afara);
- створення карт полів (Ladybird, RoamIO, Korechi Innovations);



Рис. 2 – Самохідний робот для змішування та дозування кормів TRIOMATIC



а



б

Рис. 3 – Роботи-дояри:
а – LELY ASTRONAUT A4; б – GEA

- захист рослин (Mini GUSS, Eden TRIC Robotics, Yanmar YV01);
- зрошення (AgroIntelli Robotti LR);
- обрізання дерев (RoamIO-НСТ, VitiBot Bakus, Wall-Ye);
- прополювання бур'янів (Luna TRIC, Eden TRIC Robotics, WeedBot Lumina);
- операції у тепличних господарствах (Agrobot SW6010, HV-100, RoBoPlant);
- моніторинг полів (Mamut, Мерору);
- висаджування розсади (HV-100, FarmBot Genesis);
- операції з використанням безпілотних літальних апаратів (DJI AGRAS T25, Agri.Builders);
- обслуговування вертикальних ферм (Watney).

Вид виробництва. Вид виробництва є важливою ознакою класифікації, оскільки для спеціалізованого сільського господарства з розвиненим агропромисловим комплексом потрібні потужні роботи (робототехнічні

системи), здатні виконувати значні об'єми різних робіт з високою продуктивністю. Зокрема, перспективними для використання є роботизовані трактори (Стельмах & Приймак, 2022) та комбайни.

Модель Case IH Magnum (рис. 4) має потужність 419 к.с., розвиває швидкість до 50 км/год. Робототрактор немає кабіни, натомість встановлені камери, радар та GPS. Він може працювати в умовах туману та автоматично припиняє роботу, якщо пішов дощ. Робототрактор також автоматично виявляє перешкоди та зупиняється до отримання команди від оператора.

Італійська компанія OXE-E розробила роботизований електротрактор Trattrice elettrica (рис. 5). Основна його відмінність від інших роботів – живлення електрокабелем, довжина якого досягає 1500 м. Робот підключають до лінії 380 В потужністю 50–100 кВт; він може обробляти до 225 га землі. Втручання людини потрібне лише на етапі



Рис. 4 – Робототрактор Case IH Magnum (CNH Industrial NV, Нідерланди)

заміни навісного сільськогосподарського устаткування – навігація здійснюється за допомогою GPS. Робот може проводити різні польові роботи: від культивування до сівби. Інші переваги робота: екологічність, низький рівень шуму, економія до 50% коштів порівняно з традиційною сільськогосподарською технікою та витратами на працю сезонних робітників, можливість працювати 24 год на добу. Робот важить близько 20 т та може зорати площу до 13 тис м²/год.

Особливої уваги також заслуговують телекеровані роботизовані трактори (**рис. 6**).

Для високотоварного виробництва також рекомендовано використовувати роботи, які можуть тривалий час виконувати роботи без заряджання з високою продуктивністю виконання технологічних процесів (**рис. 7**). Універсальність платформи Metalfor VAX дозволяє їй легко адаптуватися до таких завдань як: обприскування, сівба, внесення добрив, збирання урожаю.

Технічна характеристика Metalfor VAX:

- потужність двигуна: 153-сильний чотирихотактний двигун MWM;
- гідростатичний тип трансмісії;
- ширина розпилувальної штанги 32 м;
- GPS та сенсорна навігація для точного керування.

Машина WeedBot Lumina призначена для оброблення великої площі шириною до 6 м з високим рівнем точності.

Технічна характеристика WeedBot Lumina:

- швидкість до 600 м/год;
- оперативна ширина 3–15 гребенів;
- охоплення – може покривати площу шириною до 6 м;
- у випадку знищення бур'янів точність до 2 мм;
- джерело живлення – працює від генератора з валом відбору потужності;



Рис. 5 – Роботизований електротрактор OXE-E

- інструменти для прополювання – використовує технологію синього лазера для точної боротьби з бур'янами.

Обидві машини (Metalfor VAX та WeedBot Lumina) мають високу продуктивність та можуть автономно працювати більше 10 год.

Високотоварне сільське господарство – це перспективний напрям використання БПЛА. Дрони та квадрокоптери використовують як у рослинництві, так й у тваринництві (випасання ВРХ, пошук тварин, виявлення небезпек). Для малих господарств більш доцільним є використання коптерів, для яких немає потреби обладнувати великі спеціальні площадки, вони здійснюються у повітря вертикально. Також квадрокоптер коштує менше та він дешевший в експлуатації. Замість дорогого палива коптер використовує електроенергію.

Мобільність. Швидкість переміщення під час виконання технологічних операцій є одним з найважливіших параметрів при виконанні будь-яких операцій сільськогосподарською технікою. Від цього параметра, як правило, залежить продуктивність та якість виконання робіт. Аграрії давно це усвідомили та вже почали впроваджувати управління швидкістю. Найпростіший спосіб – це встановити GPS-трекери на трактори, комбайни та іншу техніку. Швидкість – це один з важливих параметрів для аналізу якості виконання робіт роботом, для тактичного та стратегічного планування роботи.

Ступінь спеціалізації. Значний інтерес для виробників представляють універсальні (багатоцільові) роботи, призначені для виконання різних операцій, зокрема, для роботи з різним робочим обладнанням.

На **рис. 8** представлено багатоцільового робота SoftiRover e-K18, що може виконувати різні завдання, зокрема, підготовлення ґрунту,



Рис. 6 – Телекерований трактор Robocut (McConnel, Англія)



а



б

Рис. 7 – Роботи для виконання робіт в умовах високотоварних аграрних підприємств:
а – автономна сільськогосподарська платформа Metalfor VAX; б – устаткування для боротьби з бур'янами WeedBot Lumina



Рис. 8 – Багатофункціональний сільськогосподарський робот SoftiRover e-K18

розпушування, сівбу, внесення добрив та фітосанітарне оброблення. Робот забезпечує найкращий стан ґрунту для сівби, сприяючи швидкому розвитку сільськогосподарських культур. Точність розпушування та сівби дозволяє ефективно боротися з бур'янами та оптимально розташовувати насіння у ґрунті, що є важливим фактором для збільшення урожайності.

Спеціалізовані (цільові) роботи (рис. 9 та 10) мають більш вузьке призначення та проводять лише одну технологічну операцію (збирання фруктів, транспортування тощо).

Джерело енергії. Огляд конструкцій сільськогосподарських роботів (138 моделей) дозволяє зробити висновок, що у конструкції 87% роботів використовують літєві батареї в якості джерела енергії. Пояснюється це тривалим строком служби та порівняно коротким терміном заряджання, причому часткова та неповна зарядка не впливають на термін служби батареї.

Прагнення до екологічності, зниження вуглецевого сліду, пов'язаного з традиційною сільськогосподарською технікою, реалізовані у конструкціях роботів, що працюють на сонячних батареях (рис. 11). Завдяки сонячним батареям робот може працювати протягом тривалого часу, використовуючи енергію сонця для виконання завдань.

Тип виконання роботи. Роботи можуть бути автономними (рис. 12) або ж напів-

автономними, їх оснащують давачами та камерами для ефективного виконання завдань. Такі країни як США, Японія, Німеччина та інші активно запроваджують автоматизовані сільськогосподарські виробництва, на яких немає робітників.

У господарствах вже сьогодні працюють різні моделі роботів, що здатні виконувати значну частину сільськогосподарських робіт. На думку науковців (*Gil et al., 2023*) впровадження роботів дозволить суттєво підвищити продуктивність та рентабельність сільського господарства, а також зменшити собівартість продукції, що особливо актуально на сьогоднішній день, коли ціни на продукти харчування постійно зростають. Також використання роботів дозволяє не залучати людей до важких монотонних операцій та скоротити втрати робочого часу, пов'язані з людським фактором. Роботи можуть замінити не лише людину, а й сільськогосподарські машини, якими керує людина.

Тривалість (час) роботи без заряджання.

Цей критерій відображає головну перевагу роботів – виконання поставленого завдання без втручання людини. Роботи, як правило, працюють без додаткового заряджання від 2 до 24 год.

З урахуванням результатів інтерв'ювання фокус-груп запропонована класифікація роботів сільськогосподарського призначення (рис. 13).



Рис. 9 – Робот для транспортування фруктів



Рис. 10 – Робот-косарка



Рис. 11 – Автономний польовий робот FarmDroid FD20



Рис. 12 – Автономний робот для догляду за рослинами

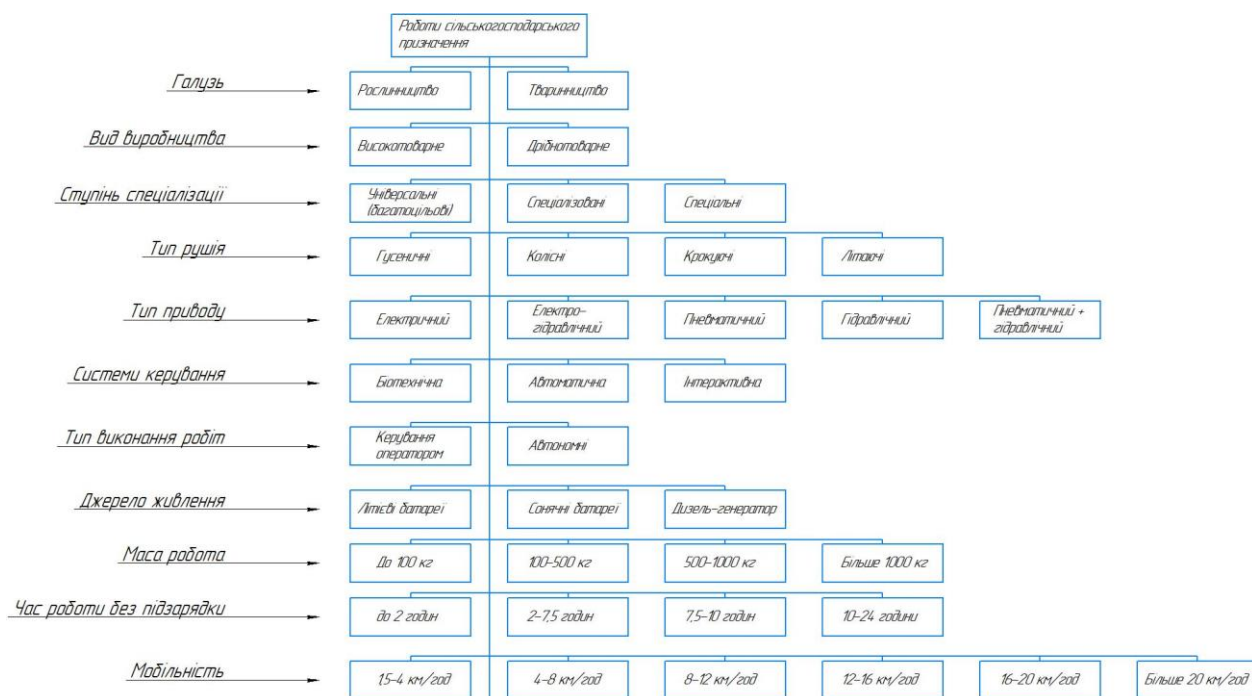


Рис. 13 – Запропонована класифікація робіт сільськогосподарського призначення

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз конструкцій роботів для виконання сільськогосподарських робіт дозволив систематизувати відомі знання щодо робототехніки у сільському господарстві, встановити галузі та підкомплекси сільського господарства, де доцільно запроваджувати техніку такого виду. На підставі фокус-інтерв'ювання встановлено перелік ознак, які було покладено в основу класифікації роботів для сільськогосподарських робіт. Беручи до уваги запропоновану класифікацію роботів, можна обґрунтувати вибір машини для

сільськогосподарського виробництва, причому урахувавши його потреби.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Bechar, A., Nof, S. Y., & Wachs, J. P. (2015). A review and framework of laser-based collaboration support. *Annual Reviews in Control*, 39, 30-45. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2015.03.003>
- Billingsley, J., Visala, A., & Dunn, M. (2008). Robotics in agriculture and forestry. *Springer Handbook of Robotics*, 10, 1065-1077. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_47
- Exactitude Consultancy (2024a). *Agriculture robots market overview*. Retrieved May 2, 2024, from

- <https://exactitudeconsultancy.com/reports/40784/agriculture-robots-market/>
- Exactitude Consultancy. (2024b). *Agriculture drones and robots market overview*. Retrieved May 2, 2024, from <https://exactitudeconsultancy.com/reports/40911/agriculture-drones-and-robots-market/>
- Gil, G., Casagrande, D., Cortes, L. P., & Verschae, R. (2023). Why the low adoption of robotics in the farms? Challenges for the establishment of commercial agricultural robots. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100069. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100069>
- Li, K., Huo, Y., Liu, Y., Shi, Y., He, Z., & Cui, Y. (2022). Design of a lightweight robotic arm for kiwifruit pollination. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107114>
- Merton, R. K., Fiske, M., & Kendall, P. L. (1990). *The focused interview: A manual of problems and procedures* (2nd ed.). Free Press.
- Nasirahmadi, A., & Hensel, O. (2022). Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*, 22(2), 498. <https://doi.org/10.3390/s22020498>
- Williams, H., Smith, D., Shahabi, J., & Gee, T. (2023). Modelling wine grapevines for autonomous robotic cane pruning. *Biosystems Engineering*, 235, 31-49. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.09.006>
- Кучмійова, Т. С., Мороз, Т. О., & Шешунова, А. В. (2023). Використання штучного інтелекту в сільському господарстві. *Modern Economics*, 39, 69-74. <https://modecon.mnau.edu.ua>
- Солона, О. В. (2020). Застосування сучасних мехатронних систем та роботизованих комплексів у АПК України (*Application of modern mechatronic systems and robotic complexes in the agricultural industry of Ukraine*). *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 3(110), 71-76.
- Стельмах, І. В., & Приймак, Б. І. (2022). Безпілотні електротрактори стають сьогоденням фермерських господарств (*Unmanned electric tractors are becoming the present of farms*). *Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики*, 283-285.