

УДК 631.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.185-192>

К.В. Васильковська, доц., канд. техн. наук, **С.М. Мороз**, доц., канд. техн. наук,
О.О. Андрієнко, доц., канд. с.-г. наук, **М.О. Васильковський**, здобувач
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vasilkovskakv@ukr.net

Агроробот для міжрядного обробітку просапних культур

Метою написання статті є аналіз існуючих конструкцій агророботів для міжрядного обробітку ґрунту, знищення бур'янів та обприскування в міжряддях.

Проведено аналіз функціональних можливостей агророботів для міжрядної обробки, боротьби із бур'янами та обприскування. Проаналізовані їх переваги та недоліки. Запропоновано конструкцію агроробота для забезпечення якісної роботи в міжряддях просапних культур. Також, для уніфікації робіт на одному корпусі агроробота пропонується можливість створення конструкцій різних варіацій агроробота, як транспортний агрегат та інтелектуальний обприскувач.

агроробот, міжрядний обробіток, знищення бур'янів, обприскування, конструкція

Постановка проблеми. Протягом всієї історії розвитку сільського господарства, землеробство розвивалось від простих ручних інструментів та агрегатів, запряжених тваринами, до складного автоматизованого устаткування [1].

Перехід від простих знарядь та устаткувань для обробітку ґрунту та догляду за посівами до складних систем та комплексів машин, які працюють в режимі паралельного водіння, навігації та моніторингу біло здійснено не за один день. Майбутнє набагато ближче, і ми розуміємо, що запроваджуються новітні технології машинного навчання, штучний інтелект, візуальне розпізнавання образів та інше.

Таким чином, сільське господарство, з використанням роботизованих рішень є основою для сталого сільського господарства в майбутньому [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Подальше підвищення продуктивності продукції сільськогосподарського виробництва можливе за рахунок новітніх технологічних рішень в землеробстві, що не просто гарантуватиме продовольчу та харчову безпеку в країні, а надасть можливість збільшити валютні надходження до казни [3, 4].

Саме автоматизація, механізація сільського господарства та пошук новітніх оптимальних засобів для заміни кропіткої ручної праці є актуальною задачею сьогодення.

Одним із перспективних технологічних рішень в аграрному виробництві є використання агророботів для забезпечення якісного та вчасного технологічного процесу. Агророботи відносяться до розумних роботів, керування якими можливе за допомогою різних програм і програмного забезпечення, що адаптоване під різні технологічні операції [1, 5].

Привнесення інтелекту у сільське господарство, збільшуючи при цьому ефективність і стійкість аграрного виробництва, забезпечує майбутнє, в якому продукти харчування виробляються з мінімальною шкодою для навколишнього середовища [6].

Точне землеробство продемонструвало переваги такого підходу, але тепер ми можемо перейти до нового покоління машин. Саме поява автономного устаткування надає можливість розробити цілий спектр сільськогосподарського обладнання на основі невеликих інтелектуальних машин, які зможуть робити потрібну роботу, в потрібному місці, в потрібний час і в потрібний спосіб [7].

Постановка мети статті. Метою написання статті є аналіз існуючих конструкцій агророботів для міжрядного обробітку ґрунту, знищення бур'янів та обприскування в міжряддях.

Проведено аналіз функціональних можливостей агророботів міжрядної обробки, боротьби із бур'янами та обприскування. Проаналізовані їх переваги та недоліки. Запропоновано конструкцію агроробота для міжрядного обробітку просапних культур.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день, на ринку представлено багато різноманітних роботів для сільськогосподарського виробництва, тому що існуючі технологічні потреби вимагають виконання стільки ж технологічних операцій, для яких можливе застосування роботів у сільському господарстві. Найбільш складними роботами є ті, які потребують інтелектуального підходу для виконання технологічних операцій: підготовка ґрунту, висів насіння, знищення бур'янів.

Розглянемо роботи для міжрядного обробітку посівів та боротьби із бур'янами.

Лідером серед роботів за об'ємами продаж є агродрон XAG R150. Наземний агроробот для сільського господарства XAG R150 – це безпілотний наземний транспортний засіб для ведення робіт в сільському господарстві (рис. 1).

Агроробот являє собою платформу, яка може модифікуватись у різні конструкції для різних технологічних процесів. Багатофункціональна платформа швидко перетворюється на специфічну для виконання широкого спектра операцій: обприскування, моніторинг полів, знищення бур'янів та підстригання рослин, а також перевезення різноманітних матеріалів.

Агроробот XAG R150 здатен виконувати обприскування на 360° та ефективно виконує операції із захисту рослин від хвороб і шкідників у садівництві та плодоовочівництві.

Керування агророботом виконується за допомогою пульта дистанційного керування. Існують три модифікації цього агроробота: SprayModel (для обприскування), RevoMower (для боротьби із бур'янами) та транспортна платформа для перевезення до 200 кг вантажу.



а



б

а – конструкція SprayModel з ємністю для обприскування; б – конструкція RevoMower із подвійними лезами для знищення бур'янів і підстригання рослин

Рисунок 1 – Загальний вигляд модифікацій агроробота XAG R150

Джерело: на підставі [9]

Максимальна швидкість такого агрегату становить 1,2 м/с. Номінальна потужність синхронного двигуна з постійними магнітами складає 1500 W. Електричний привід оснащений двома інтелектуальними літій-полімерними батареями. Номінальна ємність батарей 960 Вт·год. Тривалість роботи на двох батареях (без навантаження) складає близько 4 годин, а при повному навантаженні – 1 годину. Наступний представник – агроробот ROBOTTI LR від компанії Aggointelli. Агроробот може бути оснащений стандартним знаряддям для виконання широкого спектру польових робіт протягом усього сезону (рис. 2).

Агроробот оснащений одним дизельним двигуном, який має бак ємністю 300 л, що дозволяє виконувати роботу безперервно протягом 60 год. Агроробот ROBOTTI LR має вантажопідйомність 1,2 т.



Рисунок 2 – Загальний вигляд агроробота ROBOTTI LR

Джерело: на підставі [9]

ROBOTTI – є багатоцільовим, що означає, що він може виконувати різні види польових робіт. Він може використовуватись, як транспортний перевізник, а також виконавець певних завдань. Він може виконувати висів, прополювання, боронування та обприскування. Крім того, він може бути налаштований для розпушування ґрунту, для чого використовується вал відбору потужності 540 об/хв потужністю 14 кВт/18 к.с.

Швидкість руху агроробота становить до 8 км/год. ROBOTTI оснащений пультом дистанційного керування з функцією E-stop. Для моніторингу поля та роботи використовується система GPS, а також лазерний сканер LIDAR.

Наступний представник агророботів – FendtXaver (рис. 3). Цей агроробот обладнано системою PrecisionPlanting, яка керує за допомогою електроприводу інтегрованим висівним апаратом vSet, що розкладає насінини в рядку із заздалегідь заданою точністю (+/-1 см).

Конструкція агроробота має три колеса, управління відбувається на задню вісь (рис. 3). Великі колеса збільшують площу контакту з поверхнею поля, забезпечуючи більший кліренс та більший кут розвороту на краю поля. Вага передніх коліс допомагає збільшити тиск на сошник при висіві на важких ґрунтах.

Вага агроробота 150 кг, довжина 2 м. При повному оснащенні вага збільшується до 250 кг. Об'єм бункера для насіння складає 20 л, що забезпечує висів на площі до 0,5 га при нормі висіву 90 тис. насінин/га.

Насіннєвий матеріал поступає до борозни за допомогою гнучкого насіннєпровода. Заднє колесо виконує роль прикочуючого для ущільнення ґрунту над борозною.

Ємність літій-іонної батареї складає 2,6 кВт·год., завдяки чому агроробот може працювати до 1,5 години, після чого повертається на дозарядку на базову станцію.

Агроробот оснащений системою навігації VarioGuide, а платформа FendtONE дозволяє отримувати інформацію про стан поля.



Рисунок 3 – Загальний вигляд агроробота FendtXaver

Джерело: на підставі [11]

Багатофункціональний агроробот BoniRob (рис. 4) – наступний представник роботів для роботи в полі.

Це чотириколісний польовий робот створений для спостереження за рослинами за допомогою двох камер. Він також може оцінювати стан посівів, вносити добрива та знищувати бур'яни. Швидкість роботи BoniRob складає 3,7 см/с, але залежить від щільності бур'янів. При меншій щільності, швидкість може збільшуватись до 9 см/с.

За допомогою вбудованого алгоритму на базі завантажених зображень агроробот розрізняє бур'яни та культурні рослини, порівнюючи колір, форму та розмір листя. За допомогою спеціального маніпулятора бур'яни загортаються в ґрунт.

Робот BoniRob працює автономно, обробляючи до 150 кг матеріалу, а генератор енергії працює без підзарядки 24 години.



Рисунок 4 – Загальний вигляд агроробота BoniRob

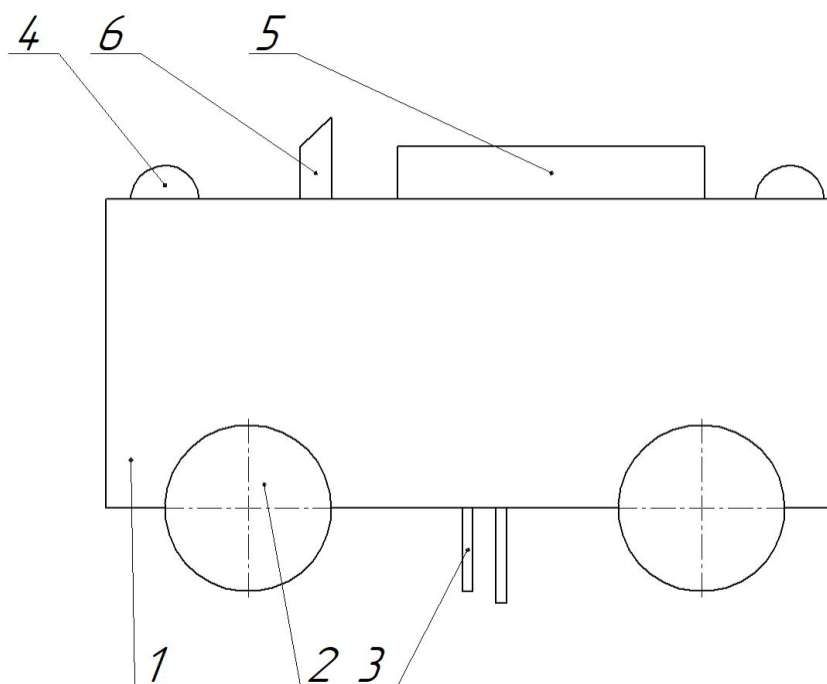
Джерело: на підставі [12]

Всі перераховані конструкції агроботів забезпечують якісне виконання одного або декількох технологічних процесів. Однак, є один величезний мінус – вони є дуже високоартісними. В умовах війни не всі агровиробники можуть дозволити собі такий девайс. З метою розробки агробота для роботи у міжряддях нами запропоновано конструкцію агробота, яка забезпечувала якісну роботу в міжряддях просапних культур і була, в той же час, достатньо простою.

Для виконання технологічної операції розпушення ґрунту та знищення бур'янів потрібно дотримуватись певної ширини міжряддя. Так, ширина міжряддя для висіву цукрових буряків становить 45 см, для соняшнику та кукурудзи – 70 см. Тому, для роботи із просапними культурами нами обрано ширину міжрядь в 70 см. Вихідними даними для дослідної конструкції обрано:

1. Габарити (не більше):
 - ширина: 500 мм (для міжряддя в 70)та регульовану зміну ширини міжосьової відстані коліс для менших міжрядь,
 - довжина повинна не перевищувати 700 мм,
 - кліренс повинен бути достатнім для безперебійної роботи робочих органів: більше 100 мм;
2. Наявність акумулятора;
3. Наявність системи орієнтування в просторі (2 камери);
4. Наявність робочих органів (розпушувач);
5. Наявність модуля зв'язку та управління;
6. Наявність системи позиціонування.

Запропоновано схему агробота для міжрядного обробітку просапних культур (рис. 5).



- 1 – корпус; 2 – кероване колесо; 3 – стійки для кріплення робочих органів;
4 – відеокамера; 5 – акумуляторна батарея; 6 – GPS передавач

Рисунок 5 – Загальний вигляд запропонованої конструкції агродрона для міжрядного обробітку просапних культур

Джерело: розроблено авторами

Для роботи в міжряддях запропоновано конструкцію агроробота, яка включає в себе корпус 1, який рухається за допомогою гумових коліс. Привід здійснюється на керуючі колеса 2, розміщені на передній осі. Для розпушування міжряддя та боротьби із бур'янами до корпусу агроробота на стійку 3 кріпляться робочі органи, які йдуть в комплекті (голчасті розпушувачі або стрілочасті лапи). На корпусі встановлено дві відеокамери 4, з'ємну акумуляторну батарею 5 та GPS передавач 6.

Перед роботою агроробота задається маршрут. Перед початком операції, робочі органи опускаються на задану глибину, вмикається робочий режим і агроробот починає рухатись по заданому маршруту. Крім того, в режимі реального часу можна слідкувати за роботою робота на екрані планшета.

Для вдосконалення конструкції передбачено невдовзі провести польові дослідження. Також, для уніфікації робіт на одному корпусі агроробота пропонується можливість створення конструкцій різних варіацій агроробота, як транспортний агрегат та інтелектуальний обприскувач.

Інтелектуалізація сільськогосподарського господарства рухається шляхом надання існуючим машинам здатності працювати автономно та без втручання людини. Збільшується рівень складності робіт, які можуть виконуватись аграрними роботами.

Висновки. Агророботи, як новітня технологія для сільськогосподарського виробництва, не тільки заощаджують витрати на робочу силу, але покращують можливості контролю якості та збільшують здатність протистояти природним ризикам. Тому, запропонована конструкція простого та надійного агроробота для забезпечення якісної роботи в міжряддях просяпаних культур – є актуальним і своєчасним рішенням для аграрного виробництва нашої країни.

Список літератури

1. Васильковська К.В. Системний аналіз агророботів в сільськогосподарському виробництві. Аграрні інновації. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2024. – Вип. 24. С. 31-36. (DOI: <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2024.24.4>)
2. Vasytkovska K.V., Leshchenko S.M., Vasytkovskyi O.M., Petrenko D.I. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. INMATEH - Agricultural Engineering. 2016. Vol. 50(3). P. 13-20.
3. Білінська В. Сучасні інноваційні технології в сільському господарстві: основна характеристика та перспективи впровадження. Вісник Київського національного університету імені Т. Шевченка: Економіка. 2015. Вип. 7 (172). С. 74-80. (DOI: <https://dx.doi.org/10.17721/1728-2667.2015/172-7/11>)
4. Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П. Ефективність агродронів в системі точного землеробства. Аграрні інновації. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика». 2023. Вип. 16. С. 13-18. (DOI: <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.17.2>)
5. Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Малаховська В.О. Аналіз ефективності агродронів для внесення технологічних матеріалів в системі точного землеробства. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 53. 2023. С. 131-138. (DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.131-138>)
6. Komitov G., Mitkov I., Harizanov V., Neshev N., Yanev M. Justification of Agrotechnical Indicators of Agrobot. 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 2020. (DOI: <https://doi.org/10.1109/EEAE49144.2020.9279046>)
7. Blackmore S., Stout B., Wang M. & Runov B. Robotic agriculture – the future of agricultural mechanisation? Precision Agriculture, 5. 2000. pp. 621–628. (DOI: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-549-9_077)

8. Santos Valle, S. et Kienzle, J. Agriculture 4.0: Robotique agricole et matériel automatisé au service d'une. 2021. URL: https://www.naio-technologies.com/wp-content/uploads/2016/02/naoi-oz-lafranceagricole.fr_.jpg (дата звернення 05.10.2024)
9. Наземний дрон XAG R150 2022 XAUV Spray Model. ГектарUA. URL: <https://hectare.ua/internet-magazin/product/view/681/1382638> (дата звернення 20.10.2024)
10. ROBOTTI LR. FarmConcepts. URL: <https://farmconcepts.com.au/solutions/autonomous/robotti/> (дата звернення 09.11.2024)
11. Fendt удосконалив інноваційного агроробота Xaver. TRAKTORIST.UA. URL: <https://traktorist.ua/news/fendt-udoskonaliiv-innovatsiynogo-agrorobota-xaver> (дата звернення 08.11.2024)
12. Багатофункціонального агроробота Bosch запускають у серійне виробництво. KURKUL – онлайн асистент фермера. URL: <https://kurkul.com/news/11500-bagatofunktsionalnogo-agrorobota-bosch-zapustyat-u-seriynе-virobnitstvo> (дата звернення 08.11.2024)

Referencis

1. Vasytkovska, K.V. (2024). System analysis of agricultural robots in agricultural production. *Ahrarni innovatsii*, 24. 31-36. (DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.4>) [in Ukrainian]
2. Vasytkovska, K.V., Leshchenko, S.M., Vasytkovskyi, O.M., & Petrenko, D.I. (2016). Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 50(3). 13-20.
3. Bilinska, V. (2015). Modern innovative technologies in agriculture: main characteristics and prospects for implementation. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni T. Shevchenka: Ekonomika*, 7 (172). 74-80. (DOI: <https://dx.doi.org/10.17721/1728-2667.2015/172-7/11>) [in Ukrainian]
4. Vasytkovska, K.V., Andriienko, O.O., & Shepilova, T.P. (2023). Efficiency of agrodrones in the precision farming system. *Ahrarni innovatsii*. 16. 13-18. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.2> [in Ukrainian]
5. Vasytkovska, K.V., Andriienko, O.O., & Malakhovska, V.O. (2023). Analysis of the effectiveness of agrodrones for the introduction of technological materials in the system of precision agriculture]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery*, 53. 131-138. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.131-138> [in Ukrainian]
6. Komitov, G., Mitkov, I., Harizanov, V., Neshev, N., & Yanev, M. (2020). Justification of Agrotechnical Indicators of Agrobot. 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE). DOI: <https://doi.org/10.1109/EEAE49144.2020.9279046>
7. Blackmore, S., Stout, B., Wang, M. & Runov, B. (2005). Robotic agriculture – the future of agricultural mechanisation? *Precision Agriculture*, 5. 621–628. DOI: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-549-9_077
8. Santos, Valle, S. & Kienzle, J. (2021). Agriculture 4.0: Robotique agricole et matériel automatisé au service d'une. https://www.naio-technologies.com/wp-content/uploads/2016/02/naoi-oz-lafranceagricole.fr_.jpg 05.10.2024
9. Nazemnyi dron XAG R150 2022 XAUV Spray Model [Ground drone XAG R150 2022 XAUV Spray Model]. *HektarUA*. <https://hectare.ua/internet-magazin/product/view/681/1382638> [in Ukrainian]
10. ROBOTTI LR. FarmConcepts. <https://farmconcepts.com.au/solutions/autonomous/robotti/>
11. Fendt improves innovative agricultural robot Xaver]. *TRAKTORIST.UA*. <https://traktorist.ua/news/fendt-udoskonaliiv-innovatsiynogo-agrorobota-xaver/> 08.11.2024 [in Ukrainian]
12. Bosch multifunctional agricultural robot to be put into mass production. (2024). *KURKUL: onlain asystent fermera*. <https://kurkul.com/news/11500-bagatofunktsionalnogo-agrorobota-bosch-zapustyat-u-seriynе-virobnitstvo> 08.11.2024 [in Ukrainian]

Kateryna Vasytkovska, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Moroz**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olha Andriienko**, Assoc. Prof., PhD agr. sci., **Mykhailo Vasytkovskyi**, student
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Agrobot for Inter-Row Cultivation of Row Crops

Throughout the history of agriculture, farming has evolved from simple hand tools and animal-drawn machines to sophisticated automated equipment. One of the most promising technological solutions in agricultural production is the use of agricultural robots to ensure a high-quality and timely technological process.

Agricultural robots are smart robots that can be controlled by various programs and software adapted to different technological operations. Bringing intelligence to agriculture, while increasing the efficiency and sustainability of agricultural production, ensures a future in which food is produced with minimal environmental damage.

The purpose of this article is to analyze the existing designs of agricultural robots for inter-row tillage, weed control, and spraying in the inter-row.

All of the analyzed designs of agricultural robots provide high-quality performance of one or more technological processes. However, there is one huge disadvantage: they are very expensive. In times of war, not all agricultural producers can afford such a device.

The functional capabilities of agricultural robots for inter-row tillage, weed control and spraying were analyzed. Their advantages and disadvantages are analyzed. The design of an agricultural robot is proposed to ensure high-quality work in the row spacing of row crops. Also, to unify the work of the agro-robot on one body, it is possible to create designs of various variations of the agro-robot, such as a transport unit and an intelligent sprayer.

The intellectualization of agriculture is moving towards enabling existing machines to work autonomously and without human intervention. The level of complexity of work that can be performed by agricultural robots is increasing. Agricultural robots, as the latest technology for agricultural production, not only save labor costs, but also improve quality control capabilities and increase the ability to withstand natural risks. Therefore, the proposed design of a simple and reliable agricultural robot to ensure high-quality work in the rows of row crops is a relevant and timely solution for agricultural production in our country.

agricultural robot, inter-row cultivation, weed control, spraying, design

Одержано (Received) 25.11.2024

Прорецензовано (Reviewed) 25.11.2024

Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.192-202>

І.М. Бажан, асп., **О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук, **С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Амосов**, доц. канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна
e-mail: olexa74@ukr.net*

Інтенсифікація процесу сепарації зерна на плоскому коливальному решеті із зигзагоподібним розташуванням отворів

У статті викладені результати теоретичного аналізу шляхів підвищення ефективності роботи плоских коливальних решіт. Встановлено, що підвищення ефективності сепарації можливо досягти лише шляхом інтенсифікації процесів взаємного переміщення (сегрегації) часток всередині шару матеріалу у вертикальній і горизонтальній площинах. Висловлено припущення, що найбільш ефективною є активізація внутрішньшарових процесів у оброблюваному матеріалі, яка забезпечується двома способами – встановленням оптимального кінематичного режиму коливальних і конструкційними параметрами самого решета. Наведено нове, запатентоване технічне рішення – решето із зигзагоподібним розташуванням отворів і сформовано основні задачі і елементи методики попередніх досліджень. Сформульовано висновки за результатами проведеного аналізу.

зерно, зерновий матеріал, очищення, решето, сепаратор, інтенсифікація, сепарація, ефективність, внутрішньшарові процеси, активізація, зигзаг

© І.М. Бажан, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, В.В. Амосов, 2024