

УДК 631.316.4

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.250-256>

О.В. Нестеренко, доц., канд. техн. наук, **Д.В. Апостолов**, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, **В.В. Амосов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: nov_78@ukr.net

В.Ю. Боровик, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
e-mail: vadym.borovyk@pdau.edu.ua

Напрямки вдосконалення технічних засобів для міжрядного обробітку просапних культур

У статті проведено аналіз конструкцій машин для міжрядного обробітку ґрунту з системами машинного зору для адаптивного керування рухом робочих органів. Висвітлено сучасні напрямки розвитку технічних засобів, призначених для догляду за посівами, розпушування та підрізання бур'янів. Проведено порівняння технологічних параметрів зарубіжних та вітчизняних агрегатів. Розглянуто можливості застосування комбінованих робочих органів з роботизованими системами управління, засобами автоматичного контролю та керування, запропоновано напрямки підвищення їх ефективності.
міжрядний культиватор, робочі органи, система точного водіння, система автоматичного контролю

Постановка проблеми. Сучасні технології вирощування просапних культур, таких як кукурудза, соняшник, цукрові буряки та ін. передбачають інтенсивне застосування засобів хімічного захисту рослин, зокрема гербіцидів суцільної та вибіркової дії. При цьому, зростання частки хімічного контролю бур'янів в структурі технологічних процесів призводить до низки екологічних та агробіологічних проблем [1, 2].

Зокрема, спостерігається деградація ґрунтової мікрофлори, накопичення залишкових кількостей гербіцидів у ґрунті та рослинній продукції, а також розвиток стійких біотипів бур'янів [3].

Механічний догляд за рослинами має суттєві переваги: він не порушує рівновагу екосистеми, сприяє покращенню водно-повітряного режиму ґрунту, активізує біологічну діяльність, а також дає змогу одночасно знищувати бур'яни й розпушувати поверхневий шар [4]. Але більшість існуючих машин для міжрядного обробітку забезпечують лише поверхнєве розпушування міжрядь, при цьому зона безпосередньо навколо рослини залишається необробленою через ризик пошкодження кореневої системи. Це створює сприятливі умови для росту бур'янів та знижує ефективність агротехнічних заходів [5].

З іншого боку, розвиток технологій точного землеробства з засобами машинного зору, засобами автоматичного керування та роботизації відкриває можливості створення нового покоління комбінованих робочих органів, які б поєднували переваги традиційного механічного обробітку з інтелектуальними системами управління [6].

Застосування міжрядних культиваторів із системами автоматичного візуального контролю та ведення по рядку зумовлена необхідністю забезпечення високої точності механічного обробітку в умовах скорочення використання хімічних засобів захисту рослин. Такі системи здатні розпізнавати положення культурних рослин у рядку та керувати активними робочими елементами для точного, безпечного обробітку зони біля рослин.

Тому, досить важливою науково-технічною задачею є створення або удосконалення технічних засобів для міжрядного догляду за рослинами, який виконує операції у безпосередній близькості до їх кореневої системи не пошкоджуючи її.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багатьма дослідниками відзначається, що боротьба з бур'янами в рядках і захисній зоні є найбільш трудомістким процесом, що залежать від ступеня механізації міжрядної обробки і від ширини оброблюваної смуги в міжряддях [7–9].

Особливої актуальності механічний обробіток набуває у технологіях вирощування культур із значною шириною міжрядь, таких як кукурудза та соняшник. Саме ці культури формують основну частку посівних площ і водночас характеризуються високою чутливістю до забур'яненості у ранні фази росту [10].

Встановлено, що навіть незначна присутність бур'янів у захисній зоні рядка на початкових етапах вегетації призводить до істотного зниження врожайності [11, 12]. У зв'язку з цим механічні засоби догляду повинні забезпечувати не тільки ефективний міжрядний, а й внутрішньорядковий обробіток без пошкодження культурних рослин.

Вітчизняні дослідження також підтверджують ефективність поєднання механічного обробітку із системами автоматичного керування рухом культиваторів. Встановлено, що застосування активних систем наведення дозволяє не лише зменшити втрати культурних рослин, а й підвищити допустиму робочу швидкість агрегатів, що позитивно впливає на продуктивність і енергетичну ефективність технологічного процесу [6, 13]. Крім того, автоматичне водіння створює передумови для використання більш агресивних робочих органів без ризику травмування рослин.

Поряд із розвитком систем автоматичного керування, значна увага в наукових дослідженнях приділяється удосконаленню конструкцій робочих органів для обробітку захисної зони [14, 15]. У цьому контексті важливе місце займають ротаційні робочі органи, які здатні забезпечувати інтенсивне розпушування ґрунту, руйнування ґрунтової кірки, активне вичісування бур'янів та формування вирівняного профілю поверхні.

У наукових роботах встановлено, що ротаційні робочі органи забезпечують більш якісне кришення ґрунту порівняно з пасивними, сприяють поліпшенню повітряного режиму ґрунту та активізації мікробіологічних процесів [15].

Постановка завдання. Аналіз напрямків розвитку управління технічними засобами для їх орієнтації вздовж рядків при міжрядному обробітку та визначення напрямків їх вдосконалення.

Виклад основного матеріалу. У провідних світових виробників сільськогосподарської техніки (Lemken, Garford, Einböck, Steketee, Claas, HORSCH) отримали широке поширення культиватори, які обладнані активними системами копіювання рядка на основі відеоконтролю [16–20].

Такі системи дозволяють зменшити захисну зону з традиційних 100...120 мм до 20...30 мм, що істотно підвищує ефективність механічного знищення бур'янів без ризику пошкодження культурних рослин. Автоматизоване водіння забезпечує стабільність траєкторії руху робочих органів навіть за змінних умов освітлення, рельєфу та густоти стояння рослин.

Міжрядний культиватор фірми LEMKEN EC-Weeder (рис. 1, а) може в автоматичному режимі або з ручним керуванням обробляти усі рядкові сільськогосподарські культури [16]. Культиватор обладнаний камерою IC-Light (рис. 1, в) та системою автоматичного управління. Коригування руху робочих органів відбувається шляхом підрулювання рами за допомогою гідравліки, що зміщується паралельно до рядів та дозволяє агрегату точно слідувати по міжряддю.

Комп'ютер (рис. 1, б) працює на основі даних із камери, яка направлена на ряди рослин і, працюючи в RGB-спектрі, може точно визначати рядки культурних рослин.

Для проведення міжрядної обробки компанія HORSCH виготовляє культиватори Transformer VF з шириною захвату 6, 9, 12 і 18 м (рис. 2) [17].



Рисунок 1 – Міжрядний культиватор EC-Weeder з системою автоматичного управління
Джерело: [16]

Особливістю культиваторів Transformer VF є можливість розсування рами для забезпечення компактності і точності обробки та використання відеоспостереження для контролю якості обробки [17]. Керування за допомогою системи відеокамери можливе в двох робочих режимах: кольорове розпізнавання в 2D форматі і незалежна від кольорів 3D-ідентифікація рядків, що дозволяє розпізнавати рослини на ранніх стадіях розвитку. При цьому, культурні рослини додатково захищені спеціальними щитками або дисками, завдяки чому лапи та бритвені ножі знищують бур'яни у міжрядді, не пошкоджуючи їх (рис. 2).



Рисунок 2 – Робочі органи культиватора Transformer VF фірми HORSCH з захисними дисками
Джерело: [17]

Для підвищення точності міжрядної обробки компанією Maschio Gaspardo розроблена система GUIDA INTELLIGENTE [18]. Ця система представляє собою незалежний агрегат, який начіпляється на трактор і до рами якого приєднуються робочі органи просапного культиватора. Управління агрегатом виконується через комп'ютерний термінал Communicator III terminal. За допомогою камери з двома лінзами

відбувається розпізнавання рослини від кольору ґрунту, що дозволяє визначити центр рядка і порівняти його з актуальним положенням культиватора та у випадку відхилення вирівняти робочі органи електрогідравлічним клапаном.

В культиваторі Kverneland Onyx (рис. 3) застосована функція GEOCONTROL у поєднанні з ISOBUS ONYX, що забезпечує максимальну точність обробки. Кожна секція за допомогою гідравліки автоматично піднімається або опускається шляхом системи автоматичного керування секціями. Завдяки такій системі робочі органи підрізають коріння бур'янів якомога ближче до культурних рослин, не пошкоджуючи їх та забезпечуючи прямолінійну траєкторію в посівному ряду.



Рисунок 3 – Робочі органи культиватора Kverneland Onyx

Джерело: [20]

У культиваторі для міжрядного обробітку Schmotzer Hacktechnik фірми AMAZONE в якості робочих органів використовуються прополувальні ножі з системою швидкої заміни Rapido Clip, а також розсувна рама VR 2 та система камер Smart Vision, що дозволяє розпізнавати у рядку культурні рослини розміром від 2x2 см [19].

Рама VR 2 має компактну конструкцію та може лінійно зміщуватись на 600 мм (300 мм вліво і 300 мм вправо), що дозволяє обробляти ділянки з бічним нахилом та на поворотних полосах.

Фірма Einbock використовує на культиваторах систему керування камерою ROW-GUARD (рис. 4). Зображення з відеокамер передається на контролер, з якого подається сигнал на механізм управління робочими органами та відбувається необхідне зміщення рами культиватора [21].



Рисунок 4 – Застосування системи керування камерою ROW-GUARD на культиваторах фірми «Einbock»

Джерело: [21]

Отже, сучасні міжрядні культиватори провідних світових виробників уже реалізують концепцію інтелектуального механічного догляду за посівами. Дані агрегати оснащуються системами автоматичного ведення по рядку на основі відеокамер, які в реальному часі зчитують положення рослин і коригують положення робочих секцій.

Особливе місце серед таких рішень займає система ROW-GUARD, яка забезпечує високоточне позиціонування культиватора відносно рядка навіть за нерівномірних сходів та складних умов освітлення, що створює передумови для роботи з мінімальною захисною зоною.

Поєднання подібних систем автоматичного наведення з комбінованими робочими органами відкриває нові можливості для підвищення ефективності механічного контролю забур'яненості посівів. Це створює реальні передумови для поступової заміни хімічного догляду за рослинами інтелектуальними технологіями.

Висновки. Таким чином, на основі проведеного огляду та аналізу можна зробити висновок, що використання відеокамер і систем машинного зору для адаптивного керування рухом робочих органів просапних культиваторів створює умови для адресного впливу на бур'ян без пошкодження культурних рослин, що підвищує агротехнічну якість обробітку та стабільність технологічного процесу.

При цьому, найбільш перспективним напрямом удосконалення технічних засобів для міжрядного обробітку є інтеграція пасивних і активних робочих органів в єдину комбіновану конструктивно-технологічну схему з одночасним використанням систем автоматичного водіння та машинного зору. Такі системи дозволяють реалізувати принцип адресного впливу на ґрунт у зоні рядка з мінімальним ризиком пошкодження культурних рослин.

Список літератури

1. Сидоренко, І.О. Оцінка екологічних ризиків використання пестицидів у сільському господарстві України. *Екологічний вісник*. 2020. №3. С. 12–18.
2. Ляшенко, В.М. Екологічні наслідки застосування пестицидів у сільському господарстві України. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Екологія*. 2016, №233. С. 15–22.
3. Вплив пестицидів на біорізноманіття ґрунтової мікрофлори / В.Л. Кравченко та ін. *Вісник аграрної науки*. 2017. №5. С. 45–50.
4. Сільськогосподарські машини. Частина 1. Книга 2. Культиватори: Навчальний посібник / Р.В. Кириченко, М.В. Бакум, О.В. Козаченко та ін.; за ред. Р.В. Кириченка і М.В. Бакума. Харків : ДБТУ, 2024. 338 с.
5. Бур'яни та заходи боротьби з ними. / Г.В. Веселовський, Ю.П. Манько, С.П. Танчик, Л.В. Орел. Київ : Учбово-методичний центр Мінагропрому України, 1998. 240 с.
6. Огляд розвитку засобів для орієнтації просапних знарядь вздовж рядків, зокрема у вирощуванні цукрових буряків / В. Ветохін та ін. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2020. Вип. 26 (40). С. 30–46.
7. Сисолін П.В., Сало В.М., В.М. Кропивний. Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1: Машини для рільництва / за ред. М.І. Черновола. Київ : Урожай, 2001. 382 с.
8. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. 6-е вид., перероб. і допов. Київ : Урожай, 1992. 448 с.
9. Грушецький Сергій, Пукас Віталій, Стратій Іван. Аналіз методів та засобів боротьби з бур'янами. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2024. Vol. 3, No.6. Pp. 48–60.
10. Єрмоленко О. Контроль бур'янів у посівах кукурудзи. *Пропозиція*. 17 червня 2025 р. <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-herbitsydy/kontrol-buryaniv-u-posivakh-kukurudzy> (дата звернення: 12.11.2025)
11. Бабенко А.І. Вплив забур'яненості на урожай та якість насіння соняшника. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агронія*. 2017. Вип. 269. С. 90–98.

12. Бомба М.Я., Бомба М.І. Бур'яни в агрофітоценозах та екологізація заходів щодо контролювання їх чисельності. *Вісник Уманського Національного університету садівництва*. 2019. № 1. С. 15–20.
13. Автоматичне керування культиваторами для міжрядного обробітку ґрунту просапних культур / М. Солоха. *пропозиція*. 2016. № 12. С. 162–165.
14. Ветохін В.І. Проектування глибокорозпушувачів з урахуванням деяких аспектів деформування ґрунту. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту*. 2008. № 20. С. 104–109.
15. Пастухов В. І., Браженко С. А. Ротаційні робочі органи для обробітку міжрядь просапних культур. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. Вип. 107 «Механізація сільськогосподарського виробництва»; Том 1. 2011. С. 292–296.
16. Культиватори LEMKEN. URL: <http://lemken.com.ua/ua/ec-weeder> (дата звернення: 16.11.2025)
17. Культиватори HORSCH. URL: <https://www.horsch.com/ua/produkti/gibridne-silskogospodarstvo/prosapnii-kultivator/transformer-vf> (дата звернення: 27.11.2025)
18. Культиватори MASCHIO GASPARD0. URL: https://www.maschiogaspardo.com/en_row/guida-intelligente.html (дата звернення: 16.11.2025)
19. Культиватори AMAZONE. URL: <https://amazone.net/ua> (дата звернення: 28.11.2025)
20. Культиватор Kverneland Онух. URL: https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tehnika/polovi_kultivatori/mizhrjadni_kultivatori/kverneland-1548.html (дата звернення: 26.11.2025)
21. Camera steering system ROW-GUARD. *Einböck*. URL: <https://www.einboeck.at/en/products/crop-care/accessories-for-hoes/row-guard/#2-1> (дата звернення: 27.11.2025)

Referencis

1. Sydorenko, I.O. (2020). Otsinka ekolohichnykh ryzykiv vykorystannia pestytsydiv u silskomu hospodarstvi Ukrainy. *Ekolohichnyi visnyk*. №3, 12–18. [in Ukrainian]
2. Liashenko, V.M. (2016). Ekolohichni naslidky zastosuvannia pestytsydiv u silskomu hospodarstvi Ukrainy. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, Seriya: Ekolohiia*, №233, 15–22.
3. Kravchenko, V.L., ta in. (2017) Vplyv pestytsydiv na bioriznomanittia ґруntovoi mikroflory. *Visnyk ahrarnoi nauky*. №5, 45–50.
4. Kyrychenko R.V., Bakum M.V., Kozachenko O.V. et al. (2024). Silskohospodarski mashyny. Chastyna 1. Knyha 2. Kultyvatory: Navchalnyi posibnyk / [R.V. Kyrychenko, M.V. Bakum, O.V. Kozachenko, V.I. Pastukhov, A.D. Mykhailov, M.M. Krekot, O.B. Kozii, M.M. Abduiev] za redaktsiieiu R.V. Kyrychenka i M.V. Bakuma. Kharkiv : DBTU. 338 s.
5. Veselovskyi H.V., Manko Yu.P., Tanchyk S.P., Orel L.V. (1998). Buriany ta zakhody borotby z nymy. Kyiv : Uchbovo-metodychnyi tsentr Minahropromu Ukrainy. 240 s.
6. Vetokhin V. et al. (2020). Ohliad rozvytku zasobiv dlia oriantatsii prosapnykh znariad vzdovzh riadkiv, zokrema u vyroshchuvanni tsukrovnykh buriakiv. *Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*. 26 (40). 30–46.
7. Sysolin P.V., Salo V.M., Kropivnyi V.M. (2001). Silskohospodarski mashyny. Teoretychni osnovy, konstruktsiia, proektuvannia. Knyha 1: Mashyny dlia rilnytstva: Za red. M.I. Chernovola. K.: Urozhai., 382 s.
8. Haponenko V.S., Voitiuk D.H. (1992). Silskohospodarski mashyny. 6-e vyd., pererob. i dopov. K.: Urozhai. 448 s.
9. Hrushetskyi Serhii, Pukas Vitalii, Stratii Ivan. (2024). Analiz metodiv ta zasobiv borotby z bur'ianamy. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 3, 6. 48–60.
10. Yermolenko O. Kontrol burianiv u posivakh kukurudzy. *Propozytsiia*.
11. Babenko A.I. (2017). Vplyv zaburianenosti na urozhai ta yakist nasinnia soniashnyka. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Ahronomiia*. 269. 90–98.
12. Bomba M.Ia., Bomba M.I. (2019). Bur'iany v ahrofitotsenozakh ta ekolohizatsiia zakhodiv shchodo kontroliuvannia yikh chyselnosti. *Visnyk Umanskoho Natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 1. 15–20.
13. Solokha M. (2016). Avtomatychne keruvannia kultyvatoramy dlia mizhriadnoho obrobittu hruntu prosapnykh kultur. *Propozytsiia*. 12. 162–165.
14. Vetokhin V.I. (2008). Proektuvannia hlybokorozpushuvachiv z urakhuvanniam deiakykh aspektiv deformuvannia hruntu. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. 20. 104–109.
15. Pastukhov V. I., Brazhenko S. A. (2011). Rotatsiini robochi orhany dlia obrobittu mizhriad prosapnykh kultur. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva*, Vyp. 107 «Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva»; Tom 1. S. 292–296.

16. Kultyvatory LEMKEN URL: <http://lemken.com.ua/ua/ec-weeder>
17. Kultyvatory HORSCH URL: <https://www.horsch.com/ua/produkti/gibridne-silskogospodarstvo/prosapnii-kultivator/transformer-vf>
18. Kultyvatory MASCHIO GASPARDO URL: https://www.maschiogaspardo.com/en_row/guida-intelligente.html
19. Kultyvatory AMAZONE. URL: <https://amazone.net/ua>
20. Kultyvator Kverneland Onyx. URL: https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tehnika/polovi_kultivatori/mizhrjadni_kultivatori/kverneland-1548.html
21. Camera steering system ROW-GUARD. *Einböck*. URL: <https://www.einboeck.at/en/products/crop-care/accessories-for-hoes/row-guard/#2-1>

Olexandr Nesterenko, Assoc. Prof., PhD in tech. sci., **Denys Apostolov**, post-graduate, **Volodymyr Amosov**, Assoc. Prof., PhD in tech. sci.,

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Vadym Borovyk, post-graduate

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Directions for Improving Technical Means for Inter-row Cultivation of Row Crops

The use of inter-row cultivators with automatic visual control and row guidance systems is due to the need to ensure high precision of mechanical cultivation in conditions of reduced use of chemical plant protection products. Such systems are able to recognize the position of cultivated plants in the row and control active working elements for precise, safe cultivation of the zone near the plants.

Along with the development of automatic control systems, significant attention in scientific research is paid to improving the designs of working elements for cultivating the protective zone. In this context, rotary working elements play an important role, which are capable of providing intensive soil loosening, destruction of the soil crust, active weeding and the formation of a leveled surface profile.

Modern inter-row cultivators from leading global manufacturers already implement the concept of intelligent mechanical crop care. These units are equipped with automatic row guidance systems based on video cameras, which read the position of plants in real time and adjust the position of the working sections.

The combination of such automatic guidance systems with combined working bodies opens up new opportunities for increasing the efficiency of mechanical weed control. This creates real prerequisites for the gradual replacement of chemical plant care with intelligent technologies.

The most promising direction for improving technical means for inter-row cultivation is the integration of passive and active working bodies into a single combined structural and technological scheme with the simultaneous use of automatic driving and machine vision systems. Such systems allow implementing the principle of targeted impact on the soil in the row zone with minimal risk of damage to cultivated plants.

inter-row cultivator, working bodies, precision driving system, automatic control system

Одержано (Received) 11.12.2025

Прорецензовано (Reviewed) 19.12.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2025