

JUSTIFICATION OF THE LIST OF FACTORS FOR SELECTING A WEEDING
ROBOT MODEL

A. Mykhailov

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

The problem of weeds is one of the most pressing issues in modern agriculture. Traditional technologies, which involve the use of large amounts of chemical agents, have become a serious threat to global ecological systems. Moreover, some weed species have developed resistance to various herbicides, reducing the effectiveness of chemical control measures. This situation necessitates the adoption of innovative approaches to organizing technological processes for efficient weed elimination. Analysis of current research has shown that the global scientific community considers the introduction of robotics in agriculture a highly promising and relevant direction for further development. The deployment of robots in agriculture in countries such as the United States, the Netherlands, and China already contributes to resolving multiple pressing problems. Specifically, it allows farmers to reduce production costs, address labor shortages, maintain consistently high product quality, and improve overall working conditions. Considering these factors, the National University of Water and Environmental Engineering conducts applied scientific projects aimed at developing and testing robots for various agricultural tasks. The author has carried out a series of works on developing a specialized robot for targeted weed removal. This article presents the results of analyzing current research focused on designing and implementing advanced technologies for weed detection and control based on robotic systems. The analysis serves as the foundation for the conceptual design of a practical robot model. Additionally, the article outlines the results of expert evaluation of key factors determining the choice of a weeding robot for a specific agricultural enterprise. Effective selection of a robot for a particular farm requires a systematic scientific approach to organizing the weed elimination process, considering all quantitative and qualitative factors, many of which may not directly depend on the manufacturer. The results obtained can be used by agricultural producers to make a well-justified choice of robot and efficiently organize weeding technologies in a sustainable and productive manner.

Key words:

weeds,
robot,
expert evaluation,
factors,
weed control methods

Article history:

Received 03.07.2025

Accepted 01.10.2025

***Corresponding author:**

a.o.mykhailov@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi51.1891

To cite this article:

Mykhailov A. (2025). Justification of the List of Factors for Selecting a Weeding Robot Model. *Agricultural Machines*, 51, 7-14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1891>

ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРЕЛІКУ ФАКТОРІВ ДЛЯ ВИБОРУ МОДЕЛІ РОБОТА – ПРОПОЛЮВАЧА БУР'ЯНІВ

А.О. Михайлов

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне,
Україна

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Проблема бур'янів є однією з актуальних для сільського господарства. Традиційні технології, які передбачають застосування великої кількості хімічних речовин, стали загрозою для світових екологічних систем. Крім того, деякі види бур'янів розвинули стійкість до ряду гербіцидів. Все це вимагає запровадження інноваційних підходів до організації технологічних процесів знищення бур'янів. Аналіз чинних досліджень виявив, що світова наукова спільнота рахує запровадження робототехніки в галузь сільського господарства перспективним й актуальним напрямком його подальшого розвитку. Запровадження роботів у сільському господарстві у США, Нідерландах, Китаї вже на даний час сприяє вирішенню ряду проблем. Зокрема, дозволяє аграріям скорочувати виробничі витрати, вирішувати проблему дефіциту робочих рук, забезпечує стабільно високі показники якості продукції, сприяє поліпшенню умов праці робітників. З урахуванням зазначеного у Національному університеті водного господарства та природокористування проводяться науково – прикладні роботи, спрямовані на розроблення та випробування роботів для виконання різних видів сільськогосподарських робіт. Автором проведено ряд робіт із розроблення робота для прополювання бур'янів. У статті представлено результати аналізу чинних досліджень, спрямованих на розроблення та запровадження новітніх технологій в галузі виявлення та боротьби з бур'янами, які базуються на застосуванні роботів. Проведений аналіз буде покладено в основу концептуального проєктного рішення моделі робота. Також викладено результати експертного оцінювання факторів, які визначають вибір моделі робота – прополювача для конкретного сільськогосподарського підприємства. Ефективний підбір робота для конкретного господарства вимагає системного наукового підходу до організації самого процесу знищення бур'янів. Необхідно враховувати всі кількісні та якісні фактори, які не завжди залежать від виробника. Отримані результати можуть бути використані аграрними виробниками для обгрунтованого вибору робота й ефективної організації технологій прополювання.

Ключові слова:

бур'яни,
робот,
експертне оцінювання,
фактори,
способи боротьби з бур'янами.

Історія публікації:

Отримано 03.07.2025

Затверджено 01.10.2025

*Автор для листування:

a.o.mykhailov@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi51.1891

Цитувати цю статтю:

Михайлов А.О. (2025). Обгрунтування переліку факторів для вибору моделі робота – прополювача бур'янів. Сільськогосподарські машини, 51, 7-14.
<https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1891>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сільське господарство – одна з перспективних галузей економіки України. Враховуючи зростання кількості населення планети, а отже й потреб у продуктах харчування, сільськогосподарське виробництво потребує постійних інноваційних змін. Запровадження робототехнічних засобів – є перспективним напрямком підвищення ефективності аграрного виробництва.

Роботизація сільського господарства у таких країнах, як США, Нідерланди, Китай вже на даний час дозволяє комплексно вирішувати проблеми скорочення виробничих витрат, забезпечення стабільно високої якості продукції, поліпшення умов праці робітників, забезпечення зростання обсягів виробництва, збільшення технологічної гнучкості виробництва, скорочення виробничих відходів та збільшення виходу продукції, забезпечення відповідності вимогам техніки безпеки та підвищення якості охорони праці, скорочення плинності під час персоналу ресурси, незавершене виробництво), економія виробничих площ (*Kushwaha, H. et al., 2020; Zhao, X. et al., 2024; Sparrow, R., Howard M., 2021; Moshayedi, Ata Jahangir et al., 2024*).

Також роботизація сільськогосподарського виробництва сприяє мінімізації впливу суб'єктивного фактору на процеси управління технологічними операціями та управління парком сільськогосподарської техніки.

Однак впровадження робототехніки в сільське виробництво на даному етапі утруднюється через відсутність теоретичних розробок з даної проблеми, недостатньої вивченості доцільності впровадження та ефективності використання робототехніки в порівнянні з традиційними засобами виробництва, відсутності методик із підбору, впровадження, експлуатації робототехніки. Цим пояснюються актуальність теми дослідження.

Сільськогосподарська робототехніка вважається однією з найскладніших галузей у сфері робототехнічних досліджень через численні виклики, пов'язані з особливостями місцевості, культур і навколишнього середовища. З цим пов'язані різноманітні підходи авторів до досліджень даного виду техніки.

Так автори (*Martin, T., Gasselin, P., Hostiou, N. et al, 2022*) називають роботів у сільському господарстві революцією в сільському господарстві.

Ряд авторів аналізують процес запровадження роботів у сільському господарстві в сенсі впливу даного процесу на ринок праці (*Gallardo RK, Sauer J., 2018; G. Gebre-senbet, et al, 2023*).

Так у роботі (*Gallardo RK, Sauer J., 2018*) автори аналізуючи функціонування сімейних молочних ферм у Європейських країнах, відмічають постійне зростання середнього розміру стада. Саме даний фактор дослідники називають ключовим для запровадження робототехнічних засобів на фермах.

Нестача робочої сили призводить до залучення сезонних робітників, зокрема мігрантів, для роботи у фермерських господарствах Європейських країн. Запровадження роботів дає можливість зменшити витрати на утримання робочої сили, а також підвищити ефективність виконання робіт (*G. Gebre-senbet, et al, 2023*). Крім того, запровадження роботів приводить до зростання висококваліфікованих робітників у галузі сільського господарства.

На сільськогосподарське виробництво постійно впливають різноманітні фактори: температурний режим, стан ґрунту, кількість опадів, тощо. Роботи, які використовують штучний інтелект та машинне навчання, здатні використовувати дані, що оцінюють дані фактори, в режимі реального часу для збору корисних знань, таких як коли садити насіння, які культури вибрати, яке гібридне насіння вибрати для вищої врожайності, тощо (*M. Javaid et al, 2023*).

Використання роботів в аграрному виробництві допомагає у ранньому виявленні шкідників, хвороб та дефіциту поживних речовин на фермах (*M. Javaid et al, 2023*).

З урахуванням наукових розробок інженери створюють роботів, які використовують комп'ютерний зір та штучний інтелект для точного моніторингу бур'янів та їх обприскування або прополювання (*A. Khadatkhar et al, 2025*).

Так у роботі (*A. Khadatkhar et al, 2025*) авторами представлено конструкцію механічного сільськогосподарського робота для прополювання. Схема робота для прополювання просяпних культур (WeeRo) подана на рис. 1.

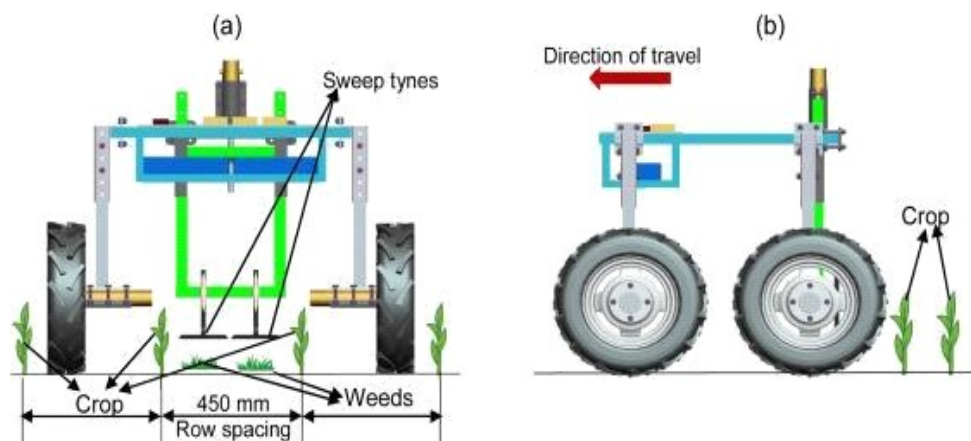


Рис. 1 – Робот WeeRo (A. Khadatkar at all, 2025)

Робот, запропонований у роботі (A. Khadatkar at all, 2025) дозволяє (відповідно до результатів польових досліджень) досягати ефективності прополювання 81,6% з рівнем пошкодження рослин лише 4,5%. Крім того, робот вирішує проблему нестачі робочої сили в пікові сільськогосподарські періоди, пропонуючи надійну та ефективну альтернативу боротьбі з бур'янами.

Ряд дослідників спрямовували свою роботу на питанні екологічного контролю бур'янів за рахунок використання роботів (A. Khadatkar at all, 2025; A. C.N. Merfield, 2016; C.N. Merfield, 2023; C. MacLaren at all, 2020; R. Raja at all, 2023; L. Quan at all, 2022; J. Machleb at all, 2020).

Автори (R. Raja, 2023) базуючись на ідеї зменшення залежності від хімічних гербіцидів, мінімізації витрат на оплату праці та обмеження негативного впливу на навколишнє середовище, розробили інтелектуальну механічну роботизовану систему внутрішньорядного прополювання, засновану на глибокому навчанні для виявлення культур та бур'янів (рис.2). Проведено польові випробування розробленої роботизованої системи, яка вибірково знищувала бур'яни. Ефективність знищення становила 98%.

Як показав аналіз чинних досліджень, вчені значну увагу приділяють розроблянню інноваційних підходів до механічного роботизованого видалення бур'янів (L. Petrich at all, 2022; D.S. Paraforos at all, 2022).

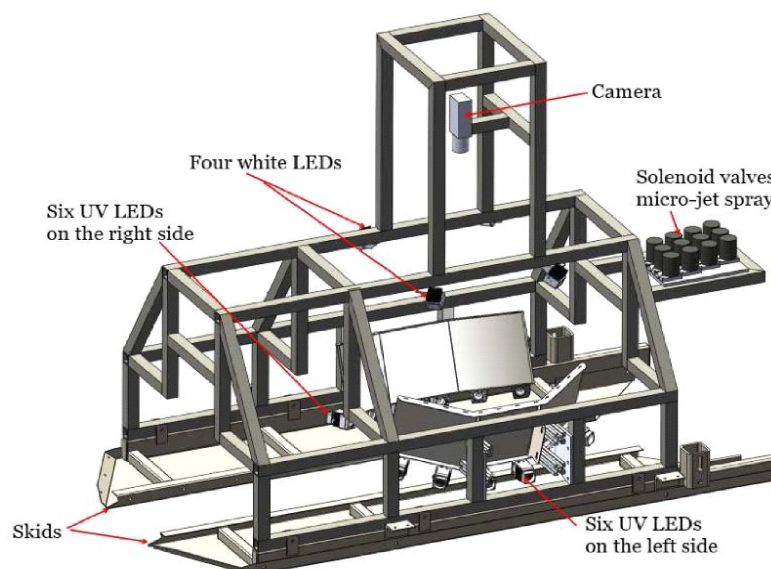


Рис. 2 – Мікроструминний розпилювач Raja (R. Raja at all, 2023)

Перспективність методу механічної боротьби з бур'янами відмічена в роботі (*L. Quan at all, 2022*), особливо для органічного землеробства. У роботі викладено результати досліджень внутрішньорядного прополювання, заснованого на глибокому навчанні для виявлення культур та бур'янів. На основі результатів глибокого навчання було запропоновано цільову схему прополювання. Крім того, авторами запропоновано три види ножів для боротьби з бур'янами. Польові випробування показали, що найкращі результати отримано за умови використання клиноподібного ножа для прополювання. Коефіцієнт видалення бур'янів становив 85,91%, а коефіцієнт пошкодження посівів – 1,17%. Результати продемонстрували доцільність запропонованого методу боротьби з бур'янами в рядках.

Слід відмітити також, що одним з популярних напрямків дослідження є розробляння систем, які дозволяють точно виявляти та ідентифікувати бур'яни та культурні рослини на полі. Процес ідентифікації складається зі збору наборів даних, підготовки наборів даних, алгоритмів цифрової обробки зображень. При цьому вирішуються наступні проблеми: диференціація бур'янів від посівів, які мають схожий зовнішній вигляд; розпізнавання окремої рослини при значному їхньому скупченні (*Li N, Zhang X, Zhang C, Ge L, He Y, Wu X., 2019; N. Hussain et al, 2020*).

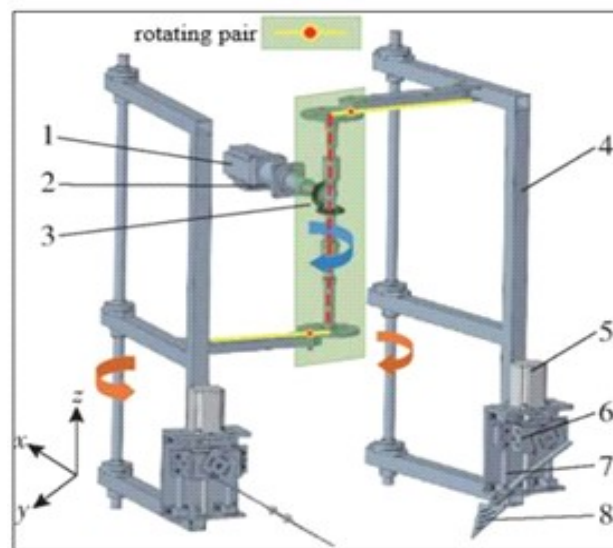


Рис. 3 – Модель конструкції для внутрішньорядного прополювання: 1- серводвигун, 2- редуктор, 3- вісь оптична, 4 – опора, 5 – гвинтовий кроковий двигун, 6- редуктор, 7 - повзун, 8 – робочий орган (*L. Quan at all, 2022*).

У роботі (*L. Petrich at all, 2022*) викладено результати випробувань розробленого роботизованого обладнання, яке навішується на трактор. Авторами доведено, що навісне роботизоване обладнання добре підходить для застосування на полях, де є значні скупчення бур'янів.



Рис. 4 – Роботизоване обладнання (*L. Petrich at all, 2022*)

Як бачимо, розроблення й запровадження роботів у сільськогосподарському виробництві, зокрема з метою знищення бур'янів, є актуальним в умовах сучасності.

Роботи викликають значний інтерес як агрохолдингів, так й фермерів. Але для вибору робота потрібно розуміти на які особливості потрібно звертати увагу щоб обрати модель, яка буде найбільш ефективною для конкретного господарства. З урахуванням цього сформуємо мету нашої роботи.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ – аналіз факторів, які найбільшим чином впливають на вибір робота – прополювача на основі системного аналізу процесу знищення небажаної рослинності.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Ефективний підбір робота для конкретного господарства вимагає системного наукового підходу до організації самого процесу знищення бур'янів. Необхідно враховувати всі кількісні та якісні фактори, які не завжди залежать від виробника.

Першим етапом дослідження стала експертна оцінка ключових факторів, що впливають на ефективність роботи робота.

З урахуванням рекомендацій, викладених у спеціальній літературі, була сформована експертна група (Г.М. Гнатієнко., В.Є. Снитюк, 2008) До її складу увійшли 12 експертів: 4 викладачі, 9 представників аграрних підприємств.

Технологія експертної оцінки включала в себе кілька етапів:

- формулювання мети експертного аналізу;
- формування експертної групи;
- розробка процедур та експертної оцінки;
- отримання результатів;
- обробка результатів та аналіз отриманих даних;
- визначення ступеня досягнення мети експертної оцінки.

Експертам було запропоновано проаналізувати наступні фактори: спосіб знищення бур'янів, технології для розпізнавання бур'янів, тип двигуна, продуктивність роботи, маса робота, час автономної роботи, екологічність, ґрунтова – метеорологічні умови.

Для обробки індивідуальних експертних висновків використано метод ранжирування - розташування факторів у порядку зростання або спадання. Метод ранжирування дозволяє вибрати найбільш важливі з набору факторів або параметрів, які були вивчені. Отриманий ранжований список називається ранжированим списком, де ранг найбільш важливого показника дорівнює 1, а ранг найменш важливого показника дорівнює числу n . Перевагою методу є його простота. Відповіді експертів усереднюються для отримання узагальненої оцінки групи експертів. Найчастіше для цього використовуються середні значення.

Середнє арифметичне рейтингів, присвоєних об'єктів:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m}, \bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m x_j}{m}, \quad (1)$$

де $\bar{x}$ - середнє арифметичне балів експертної групи;

x_j - оцінка j експерта.

Точність оцінок експертів визначалася ступенем збігу думок експертів. Коефіцієнт узгодженості розраховувався за формулою

$$W = \frac{12S}{n^2(m^2-m)}, W = \frac{12S}{n^2(m^2-m)}, \quad (2)$$

де S - сума квадратів відхилень кількості рейтингів або переваг кожного фактора від середнього значення; n - кількість експертів; m - кількість факторів для оцінки.

Сума квадратів відхилень від середньої арифметичної

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{i,j} - \bar{x} \right)^2, S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{i,j} - \bar{x} \right)^2, \quad (3)$$

де $x_{i,j}$ - кількість рангів, присвоєних j експертом i фактору;

$\bar{x}$ - середнє арифметичне ранжирування.

Результати експертного рейтингу представлені нижче (табл.1).

Узгодженість результатів оцінювалась за (2) і становила 0,78, що вказує на узгодженість думок експертів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Систематизуємо зміст перших трьох факторів, визначених експертами як такі, що надають найбільший вплив на вибір моделі робота для здійснення технологічного процесу знищення бур'янів.

1. Спосіб знищення бур'янів.

Розглянемо переваги та недоліки способів боротьби з бур'янами, що застосовуються робототехнічними системами.

Традиційний спосіб – механічний. Даний спосіб передбачає фізичний вплив на бур'яни з метою їхнього руйнування. При цьому застосовують різноманітні методи, наприклад, скошування, зрізання, обробіток ґрунту, тощо.

Перевагами застосування методу є зменшення використання хімічних гербіцидів, що особливо важливо в органічному землеробстві. Крім того, застосування роботів дозволяє вирішити проблему нестачі робочої сили. Так, зокрема, у (L. Shang *at all*, 2023) авторами встановлено, що роботи для механічного прополювання можуть зменшити використання робочої сили на 85% та 60% в органічному вирощуванні цукрових буряків та моркви. Але слід враховувати, що роботи оснащені такими інструментами, як граблі та роторні леза, може привести до значного порушення ґрунтів, що призводить до ерозії (L. Shang *at all*, 2023). Застосування таких роботів ефективне за потреби знищувати бур'яни з глибоким корінням (L. Shang *at all*, 2023).

Другий поширений спосіб – це хімічне знищення бур'янів, який передбачає використання використання хімічних речовин. До переваг даного методу можна віднести те, що він дає можливість знищувати широкий спектр бур'янів і тим самим, забезпечують порівняно високу продуктивність виконання технологічного процесу прополювання. **Таблиця 1.**

Точна подача гербіциду значним чином дозволяє зменшити витрату хімічних речовин і зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище.

Одним із іноваційних способів знищення бур'янів із застосуванням роботів є лазерна обробка небажаної рослинності. Лазерний спосіб рекомендований для застосування в умовах органічного землеробства, оскільки не передбачає використання хімічних речовин. Крім того, лазер не порушує структуру ґрунту. Роботи, які використовують лазер, не рекомендовані до використання на полях, де домінують бур'яни з глибоким корінням та товстим стеблом.

Відомими є роботи, які використовують гаряче повітря або воду для знищення бур'янів (A. Thakur, S. Venu, M. Gurusamy, 2023), а також полум'я (M.J. Mia *at all*, 2020). Згідно (A. Thakur, S. Venu, M. Gurusamy, 2023; M.J. Mia *at all*, 2020) термічні методи дозволяють порушує клітинну структуру рослин бур'янів, що призводить до їх зневоднення, в'янення та, зрештою, загибелі. Недоліками є: висока енергоємність; неможливість знищення глибоко вкорінених або багаторічних бур'янів; високі експлуатаційні витрати; можливі пошкодження культурних рослин; значні витрати води або пари.

2. Технології для розпізнавання бур'янів.

Під час вибору робота слід приділяти особливу увагу характеристикам систем, які призначені для диференціації бур'янів на полі. Від точності виявлення бур'янів залежить ефективність їхнього знищення, об'єм використаних ресурсів; пошкодження врожаю культур. Для виявлення бур'янів використовують: різноманітні датчики, мультиспектральні, гіперспектральні, інфрачервоні камери; машинне навчання; LiDAR.

Використання мультиспектральних камер дозволяє забезпечувати високу точність ідентифікації бур'янів. Крім того, вони є значно дешевшими ніж гіперспектральні камери, які здатні вирізняти небажану рослинність в умовах щільного переплетення її з культурними рослинами.

Роботи, інтегровані з машинним зором та методами глибокого навчання, забезпечують найбільш точну ідентифікацію бур'янів, що дозволяє цілеспрямовано та ощадно використовувати гербіциди.

3. Ґрунтово – метеорологічні умови.

Типи ґрунтів і метеорологічні умови визначають вид культур, які вирощують у господарствах. Від цього, в свою чергу, залежить щільність посівів, а також види бур'янів, які переважають на полях. Щільність посівів буде впливати на точність виявлення бур'янів, що потрібно враховувати при виборі складу систем для виявлення небажаної рослинності, встановлених на роботах.

На вибір способу знищення бур'янів також впливає рельєф місцевості.

На точність роботи камер та датчиків впливають погодні умови, які переважають у тій чи іншій місцевості.

ВИСНОВОК

Виконано аналіз факторів, які впливають на вибір моделі робота прополювача, з метою найбільш ефективної організації технологічного процесу знищення небажаної рослинності на полях конкретних господарств.

Результати дослідження з використанням експертного аналізу дозволили зробити наступний висновок: вибір моделі робота – прополювача необхідно здійснювати з урахуванням наступних факторів: спосіб знищення бур'янів, технології для розпізнавання бур'янів, тип двигуна, продуктивність роботи, маса робота, час автономної роботи, екологічність, ґрунтово – метеорологічні умови. Причому найбільш значущими серед них є: спосіб знищення бур'янів, технології для розпізнавання бур'янів, ґрунтово – метеорологічні умови.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Sujit, P. B., Agrawal, R., Vishwanath, K., Sawant, C. P., Magar, A. P., & Chaudhary, V. P. (2025). WeeRo: Design, development and application of a remotely controlled robotic weeder for mechanical weeding in row crops for sustainable crop production. *Results in Engineering*, 26, 105–202. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105202>
- Gallardo, R. K., & Sauer, J. (2018). Adoption of labor-saving technologies in agriculture. *Annual Review of Resource Economics*, 10, 185–206. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023018>
- Gebresenbet, G., Bosona, T., Patterson, D., & Persson, H. (2023). A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100–255. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100255>
- Kushwaha, H. (2020). Robotic and mechatronic application in agriculture. *RASSA Journal of Science for Society*, 1(3), 89–97.
- Li, N., Zhang, X., Zhang, C., Ge, L., He, Y., & Wu, X. (2019). Review of machine-vision-based plant detection technologies for robotic weeding. In *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2370–2377.
- Machleb, J., Peteinatos, G. G., Kollenda, B. L., Andújar, D., & Gerhards, R. (2020). Sensor-based mechanical weed control: Present state and prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105–638. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105638>
- MacLaren, C., Storkey, J., Menegat, A., Metcalfe, H., & Research, R. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631-6>
- Martin, T., Gasselin, P., Hostiou, N., et al. (2022). Robots and transformations of work in farm: A systematic review of the literature and a research agenda. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 66. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00796-2>
- Merfield, C. N. (2016). Robotic weeding's false dawn? Ten requirements for fully autonomous mechanical weed management. *Weed Research*, 56(5), 340–344. <https://doi.org/10.1111/wre.12217>
- Merfield, C. N. (2023). Could the dawn of Level 4 robotic weeders facilitate a revolution in ecological weed management? *Weed Research*, 63(2). <https://doi.org/10.1111/wre.12570>
- Mia, M. J., Massetani, F., Murri, G., & Neri, D. (2020). Sustainable alternatives to chemicals for weed control in the orchard – A review. *Horticultural Science*, 47(1), 1–12. <https://doi.org/10.17221/29/2019-HORTSCI>
- Mohd Javaid, A., Haleem, A., Khan, I. H., & Suman, R. (2023). Understanding the potential applications of artificial intelligence in agriculture sector. *Advanced Agrochem*, 2(1), 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.10.001>
- Moshayedi, A. J., Khan, A., Yang, Y., Hu, J., & Kolahdooz, A. (2024). Robots in agriculture: Revolutionizing farming practices. *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics*, 3, 1–23. <https://doi.org/10.4108/airo.5855>
- Paraforos, D. S., Aube, C., Athanasakos, L., Avgoustakis, I., Baron, S., Bresilla, T., Fountas, S., Hemming, J., Karagiannis, P., Mylonas, N., Nieuwenhuizen, A. T., Garcia, F. R., Pavlenko, T., Scovill, A., Sharipov, G. M., Vidal, J., & Van Evert, F. K. (2022). Connecting agricultural robots and smart implements by using ISO 11783 communication. *IFAC-Papers OnLine*, 55, 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.11.139>
- Petrich, L., Lohrmann, G., Martin, F., Stoll, A., & Schmidt, V. (2022). Model-based scenario analysis for effective site-specific weed control on grassland sites. *Computers and Electronics in Agriculture*, 202, 107–332. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107332>
- Quan, L., Jiang, W., Li, H., Li, H., Wang, Q., & Chen, L. (2022). Intelligent intra-row robotic weeding system combining deep learning technology with a targeted weeding mode. *Biosystems Engineering*, 216, 13–31. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.019>
- Raja, R., Slaughter, D. C., Fennimore, S. A., & Siemens, M. C. (2023). Real-time control of high-resolution micro-jet sprayer integrated with machine vision for precision weed control. *Biosystems Engineering*, 228, 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.02.006>

AGRICULTURAL MACHINES, 2025, Vol. 51

- Shang, L., Pahmeyer, C., Heckeleei, T., Rasch, S., & Storm, H. (2023). How much can farmers pay for weeding robots? A Monte Carlo simulation study. *Precision Agriculture*, 24, 1712–1737. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10015-x>
- Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: Prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, 22, 818–833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>
- Thakur, A., Venu, S., & Gurusamy, M. (2023). An extensive review on agricultural robots with a focus on their perception systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 212, 108146. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108146>
- Zhao, X., Yang, J., Zhong, Y., Zhang, C., & Gao, Y. (2024). Study on chassis leveling control of a three-wheeled agricultural robot. *Agronomy*, 14, 1765. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081765>
- Гнатієнко, Г. М., & Снитюк, В. Є. (2008). Експертні технології прийняття рішень [Expert decision-making technologies]. Київ: Маклаут.
- Jiang, W., Quan, L., Wei, G., Chang, C., & Geng, T. (2023). A conceptual evaluation of a weed control method with post-damage application of herbicides: A composite intelligent intra-row weeding robot. *Soil Tillage Research*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105837>
- Hussain, N., Farooque, A. A., Schumann, A. W., McKenzie-Gopsill, A., Esau, T., Abbas, F., et al. (2020). Design and development of a smart variable rate sprayer using deep learning. *Remote Sensing*, 12(24), 4091. <https://doi.org/10.3390/rs12244091>

Таблиця 1
Результати експертної оцінки

Фактори	оцінки експертів												сума рейтингу	квадрат відхилень
Бали	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
час автономної роботи	1	1	2	3	1	1	1	2	3	1	1	1	18	1296
грунтово – метеорологічні умови	6	5	6	5	5	5	6	6	6	3	5	2	60	36
продуктивність роботи	2	2	1	1	2	3	2	1	1	2	3	3	23	961
спосіб знищення бур'янів	8	7	8	8	8	6	8	7	7	8	7	8	90	1296
екологічність	5	4	5	4	6	7	5	3	5	4	6	4	58	16
технології для розпізнавання бур'янів	7	6	7	6	7	8	7	8	8	7	8	7	86	1024
тип двигуна	3	3	4	7	4	2	3	4	2	5	2	6	45	81
маса робота	4	8	3	2	3	4	4	5	4	6	4	5	52	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\bar{x} = 54$	56856