

## AI-СИСТЕМИ ТИПУ ECOROBOTIX ARA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТОЧКОВОГО ОБПРИСКУВАННЯ ПОСІВІВ

**Пархоменко О.Ю.**, канд. фіз.-мат наук, доцент  
*Миколаївський національний аграрний університет*  
<https://orcid.org/0000-0002-7940-7414>

**Анотація:** У доповіді розглянуто інноваційну AI-систему EcoRobotix ARA для автоматизованого точкового обприскування посівів. Описано технологію на основі комп'ютерного зору та машинного навчання, наведено приклади практичного застосування в Європі та Україні. Проаналізовано економію ЗЗР (до 90%), порівняння з традиційними методами та рекомендації для територіальних громад. Технологія забезпечує ресурсозбереження та посилення продовольчої безпеки.

**Ключові слова:** AI-системи, точкове обприскування, EcoRobotix ARA, машинне навчання, економія ЗЗР, цифрові технології в АПК.

Цифровізація агропромислового комплексу (АПК) є ключовим фактором забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнних викликів та обмежених ресурсів. Однією з перспективних інновацій є AI-системи точкового обприскування, зокрема технологія EcoRobotix ARA. Ця система поєднує комп'ютерний зір, машинне навчання та ультраточне нанесення засобів захисту рослин (ЗЗР), дозволяючи зменшити витрати хімікатів на 70-95% без втрати ефективності захисту посівів.

EcoRobotix ARA – це високоточний обприскувач з AI з Plant-by-Plant™ AI. Система складається з:

- 6 високороздільних RGB- та глибинних камер з LED-підсвіткою;
- 6 процесорів для реал-тайм аналізу зображень (швидкість прийняття рішення – менше 250 мс);
- штанги шириною до 6,2 м з 156 форсунками (відстань 4 см), кожна з яких керується електромагнітним клапаном.

AI розпізнає окремі рослини (культури та бур'яни) з точністю F1-score понад 90 % для понад 50 видів бур'янів та 20+ культур. Мінімальний розмір «плямки» обробки – 6×6 см. Технологія дозволяє використовувати як селективні, так і неселективні гербіциди, працюючи вдень і вночі при швидкості до 7,2 км/год. Система інтегрується з RTK-GPS ( $\pm 3$  см) та мобільним додатком для керування.

Важливо відзначити, що ефективність систем точкового обприскування типу EcoRobotix ARA базується на поєднанні кількох ключових підходів сучасного напряму точного землеробства. Зокрема, використання методів комп'ютерного зору передбачає застосування глибоких нейронних мереж

(CNN), які забезпечують класифікацію об'єктів у польових умовах із високою точністю навіть за наявності шумів, варіацій освітлення та перекриття рослин.

Алгоритмічна основа таких систем включає етапи попередньої обробки зображень, сегментації рослинного покриву, виділення ознак та подальшої класифікації культур і бур'янів у режимі реального часу. Використання метрики F1-score як інтегрального показника якості моделі дозволяє враховувати баланс між точністю (precision) та повнотою (recall), що є критично важливим для аграрних застосувань, де помилки класифікації можуть призводити до втрат урожаю або перевитрат ресурсів.

Крім того, важливим елементом є синхронізація системи комп'ютерного зору з виконавчими механізмами обприскувача, що забезпечує мінімізацію затримок між розпізнаванням об'єкта та внесенням препарату. Це досягається за рахунок використання вбудованих обчислювальних модулів (edge computing), що дозволяє обробляти дані безпосередньо на борту машини без необхідності передачі в хмарні сервіси. Таким чином, AI-системи точкового обприскування можна розглядати як кіберфізичні системи, в яких інтеграція сенсорних, аналітичних та виконавчих компонентів забезпечує адаптивне управління агротехнологічними процесами. Це відкриває перспективи подальшого розвитку автономних аграрних роботизованих комплексів.

У 2023-2024 рр. технологія ARA активно впроваджувалася в Європі (Швейцарія, Німеччина, Нідерланди, Великобританія). За даними 57 машин на цибулі (1682 місії, 8266 га) та 33 машин на цукрових буряках (480 місій, 2000 га) досягнуто стабільних результатів. У 2024 р. продано понад 1000 одиниць ARA по всьому світу, що підтверджує комерційну зрілість технології. В Україні проводилися тестові впровадження на сої та кукурудзі (близько 300 га), де економія ЗЗР коливалася від 40 % до 90 % залежно від щільності бур'янів.

Традиційне суцільне обприскування (broadcast spraying) передбачає 100% покриття поля, що призводить до перевитрат ЗЗР, дрейфу та фітотоксичності.

Таблиця 1

Порівняння традиційного та точкового обприскування  
(за даними 2023–2024 рр.)

Показник	Традиційне (суцільне)	ARA (точкове)	Економія, %
Витрати ЗЗР на 1 га	100% (базовий об'єм)	10-30%	70-90%
Середня економія гербіцидів (цибуля)	100%	21,1%	78,9%
Середня економія гербіцидів (буряки)	100%	20,2%	79,8%
Дрейф розчину	Високий	Знижений на $\geq 95\%$	Клас 95%
Врожайність (цибуля)	43 т/га	67-70 т/га	+55-63%
Фітотоксичність	Висока	Низька	Зниження втрат

Джерело: розраховано на основі Anne et al. (2024) [1] та van Steenberg et al. (2024) [2].

Економічний ефект: при ціні гербіцидів 500-800 грн/л та витратах 150-300 л/га традиційно економія на 1 га становить 50-150 тис. грн за сезон.

Додатково – зниження витрат на паливо та працю (до 4 га/год), зменшення впливу на біорізноманіття. Загальна економія за 2025 р. на 180 тис. га (дані користувачів АРА) – понад 80% гербіцидів. АРА не лише економить ресурси, але й підвищує врожайність завдяки зниженню фітотоксичності (дані ANOVA-тестів показують статистично значущі відмінності).

Для органів місцевого самоврядування та громад рекомендується:

- створити кооперативи для спільного придбання/оренди АРА (вартість ~200 тис. євро) через державні гранти (Державний аграрний реєстр, програма «АгроТех»);
- інтегрувати дані з АРА у цифрові карти полів громад та Державний аграрний реєстр для моніторингу продовольчої безпеки;
- організувати навчання фермерів через платформи ІТ-освіти;
- запровадити пілотні проекти в південних і центральних регіонах для роботи в зонах ризику (мінні поля, обмежений доступ);
- розробити місцеві програми субсидування (50-70% вартості) для малих і середніх господарств з метою зниження навантаження на ґрунт та воду.

AI-системи типу EcoRobotix АРА – це готове рішення, яке поєднує передові ІТ з агрономією, забезпечуючи економію ресурсів, екологічну безпеку та зростання врожайності. Впровадження в Україні посилить продовольчу безпеку та конкурентоспроможність територіальних громад. Рекомендується державна підтримка пілотних проектів уже у 2026-2027 рр.

#### Список використаних джерел

1. Anne P., Gasser S., Göttl M., Tanner S. The reduction of chemical inputs by ultra-precise smart spot sprayer technology maximizes crop potential by lowering phytotoxicity. *Front. Environ. Econ.* 2024. Vol. 3. Art. 1394315. DOI: <https://doi.org/10.3389/frevc.2024.1394315>.
2. Van Steenberghe G., De Hoog D., Djouhri-Touri M., Holterman H. J., Van de Zande J. Spray drift evaluation of the Ecorobotix АРА spot sprayer: A technical performance comparison between the Ecorobotix АРА and the shielded bed sprayer : Report. Wageningen : Wageningen Plant Research, 2024. No. WPR-1276. DOI: <https://doi.org/10.18174/642717>.
3. Lochan K. Y., Khan A., Elsayed I., Suthar B., Seneviratne L., Hussain I. Advancements in precision spraying of agricultural robots: A comprehensive review. *IEEE Access.* 2024. Vol. 12. P. 129447–129483. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3450904>.

**Abstract:** The paper examines the innovative AI-system EcoRobotix АРА for automated spot spraying of crops. The technology based on computer vision and machine learning is described, practical examples from Europe and Ukraine are presented. The analysis covers pesticide savings (up to 90 %), comparison with traditional methods, and recommendations for territorial communities. The technology ensures resource conservation and strengthens food security.

**Keywords:** AI systems, spot spraying, EcoRobotix АРА, machine learning, pesticide savings, digital technologies in agriculture.