

Національна академія аграрних наук України
ННЦ «Інститут аграрної економіки»
Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН

**ОСОБЛИВОСТІ ІНВЕСТИВАННЯ
ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ
В ПОЛЬОВОМУ КОРМОВИРОБНИЦТВІ
У ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ**

Вінниця 2025

УДК: 330.3:636.08

ББК 65.05

Авторський колектив:

Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»: **Захарчук О.В.**, д. е. н., професор, член-кореспондент НААН, завідувач відділу інвестиційного та матеріально-технічного забезпечення

Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН: **Кісіль М.І.**, к.е.н., провідний науковий співробітник відділу інвестиційного та матеріально - технічного забезпечення

Спринчук Н. А., к. е. н., с. н. с., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Воронецька І. С., к. е. н., доц., завідувач відділу координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Петриченко І.І., к. е. н., с. н. с. відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Задорожна І.С., к.с.н., с. н. с., завідувач сектором інновацій та інтелектуальної власності

Бабич-Побережна А.А., д.е.н., Г. н. с., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Корнійчук О.О., к.е.н., с. н. с., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Юдова О.І., к.с.-Г.н., провідн. н.с., відділ координації наукових досліджень, економіки, маркетингу, аспірантури та кадрового забезпечення

Рецензенти:

Корнійчук О.В., доктор сільськогосподарських наук, директор Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН

Малік М.Й., доктор економічних наук, професор, академік НААН, головний науковий співробітник відділу підприємництва, кооперації та агропромислової інтеграції Національного наукового центру «Інститут аграрної економіки»

Друкується за рішенням ученої ради Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН (протокол № 11 від 7 жовтня 2025 р.) і координаційно-методичної ради ННЦ «Інститут аграрної економіки» (протокол № 23 від 18 листопада 2025 р.)

Особливості інвестування та впровадження роботизовани систем в польовому кормовиробництві у період післявоєнної відбудови / [Захарчук О.В., Кісіль М.І., Спринчук Н.А. та ін.]; за ред. М.І. Кісіля. – В.: ІК СГП НААН, 2025. – 57 с.

© ННЦ «Інститут аграрної економіки», 2025

©Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ I ТЕОРЕТИКО - МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ІНВЕСТУВАННЯ РОЗВИТКУ ПОЛЬОВОГО КОРМОВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ У ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ.....	7
РОЗДІЛ II ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВИСОКОРОЗВИНЕНИМИ КРАЇНАМИ	27
РОЗДІЛ III ОБГРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ ІНВЕСТИЦІЙ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В ПОЛЬОВОМУ КОРМОВИРОБНИЦТВІ НА ПРИКЛАДІ ГОСПОДАРСТВА	50
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	70

ВСТУП

Сучасне аграрне виробництво стикається з низкою глобальних викликів, серед яких домінують зростання попиту на корми, нестабільність кліматичних умов, скорочення чисельності сільськогосподарських працівників та необхідність підвищення продуктивності землекористування. У таких умовах автоматизація та роботизація стають ключовими інструментами модернізації агросектору, зокрема в сфері польового кормовиробництва [11]. Роботизовані системи дозволяють здійснювати точне землеробство, моніторинг стану посівів у реальному часі, зменшують втрати врожаю та забезпечують стабільність виробництва за рахунок мінімізації людського чинника. Особливої актуальності ці процеси набувають в умовах воєнного часу, коли забезпечення стійкості агровиробництва є питанням продовольчої безпеки держави [12].

Водночас впровадження роботизованих систем у практику кормовиробництва потребує не лише технічної адаптації, а й чітко обґрунтованої інвестиційної стратегії. Незважаючи на стрімкий розвиток технологій агроботів, дронів і автономної техніки, інвестори стикаються з низкою бар'єрів: відсутністю узагальнених теоретичних моделей оцінки ефективності інвестицій, невизначеністю термінів окупності, високими початковими витратами та інституційними ризиками [13].

Брак цілісного підходу до аналізу інвестиційної привабливості таких технологій стримує їх широкомасштабне впровадження, особливо серед середніх і малих виробників кормів. Це обумовлює

необхідність формування науково обґрунтованих підходів до планування інвестицій в роботизовані системи, що враховують галузеву специфіку, економічні умови та перспективи інноваційного розвитку.

Роботизація польового кормовиробництва – це шлях до зменшення витрат і людського капіталу; підвищення продуктивності і якості кормів; ключовий елемент сталого агровиробництва майбутнього.

Значну увагу дослідженню питання сфери роботизації польового кормовиробництва приділено у працях зарубіжних дослідників: Droukas L., Corke P., Gyri D., Lee M., Kroemer O., Kantor G. та інші. В їхніх працях здійснено огляд роботизованих систем збору врожаю та технологій, що їх підтримують, з акцентом на застосування у сільському господарстві; здійснено розробку модульного переналаштування роботи для сільського господарства, що може бути адаптований для різних завдань, включаючи кормовиробництво та інші дослідження. В свою чергу українські дослідники, такі, як Новицький Ю.А., Ружи́ло З.В., Новицький А.В., Сутковий О.В., Пилипенко Ю.М. в своїх роботах здійснили класифікацію робочих органів машин для приготування та роздавання кормів а також розробка автоматичного робота для процесів у тваринництві, зокрема для виробництва концентрованих кормів, що є важливим етапом у розробці роботизованих систем у кормовиробництві. Однак в українському науковому дискурсі питання інвестування в цифрові та роботизовані технології для кормовиробництва досі розглядається фрагментарно, що не дозволяє сформувати системне бачення їх

потенціалу. У більшості праць увага приділяється загальним аспектам цифровізації сільського господарства [32], тоді як спеціалізовані розробки, спрямовані на аналіз саме польового кормовиробництва, залишаються поодинокими.

Використання роботизованих систем у польовому кормовиробництві актуальне через зростання попиту на корми, дефіцит робочої сили (автоматизація компенсує нестачу працівників у сільському господарстві); екологічні виклики (точне землеробство зменшує негативний вплив на довкілля); економічна ефективність (зниження витрат і підвищення врожайності). У цьому контексті дослідження теоретичних засад інвестування в роботизовані системи є не лише актуальним, а й стратегічно важливим для формування конкурентоспроможної моделі агровиробництва в Україні, що здатна забезпечити сталий розвиток, ефективне використання ресурсів та відповідність вимогам європейських стандартів агроінновацій.

РОЗДІЛ I

ТЕОРЕТИКО - МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ІНВЕСТУВАННЯ РОЗВИТКУ ПОЛЬОВОГО КОРМОВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ У ПЕРІОД ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ

Кормовиробництво, як і всі галузі господарства, у своєму розвитку пройшло кілька етапів, що характеризуються досить різкими змінами технологій та обладнання внаслідок промислових революцій. У результаті у кормовиробництві нині вирощування кормових культур здійснюється за допомогою високо механізованих систем, однак галузь потребує впровадження сучасних роботизованих систем. Під роботизованою системою розуміють «сукупність інформаційно-сенсорних, механічних виконавчих і керуючих пристроїв, що функціонують разом з метою виконання заданого технологічного процесу або операції. Роботизована система являє собою «комплекс технологічного та транспортного обладнання разом із промисловими роботами, що виконують основні або допоміжні технологічні операції в умовах автоматизованого виробництва» [27].

Національний науковий фонд США в рамках програми Foundational Research in Robotics визначає робототехніку як «інтелект, втілений у сконструйовану конструкцію зі здатністю обробляти інформацію, сприймати, планувати та переміщатися в робочому середовищі або суттєво змінювати його» [5].

Робототехніка в широкому сенсі передбачає використання машин, здатних автоматично виконувати різноманітні завдання та дії.

Роботизовані системи включають у себе машини, які орієнтуються в просторі та маніпулюють об'єктами, часто використовуючи датчики, приводи та обчислювальні системи, які обробляють інформацію та діють на неї.

До характерних відмінних ознак роботизованих систем відносять:

- автономність роботи (потребують лише програмування, а в подальшому всі процеси виконують автономно, тобто без додаткового управління);
- універсальність (характерна для багатьох роботизованих систем і полягає у виконанні хоча б кількох функцій);
- автоматичність (механічність) – не потребують ручної праці;
- адаптивність (можливість зміни параметрів виконуваних функцій при змінах зовнішнього середовища) [22], [25], [23].

Залежно від технологій, середовища функціонування та функціонального призначення роботизовані системи в кормовиробництві можуть бути класифіковані на окремі групи (рис. 1.1).

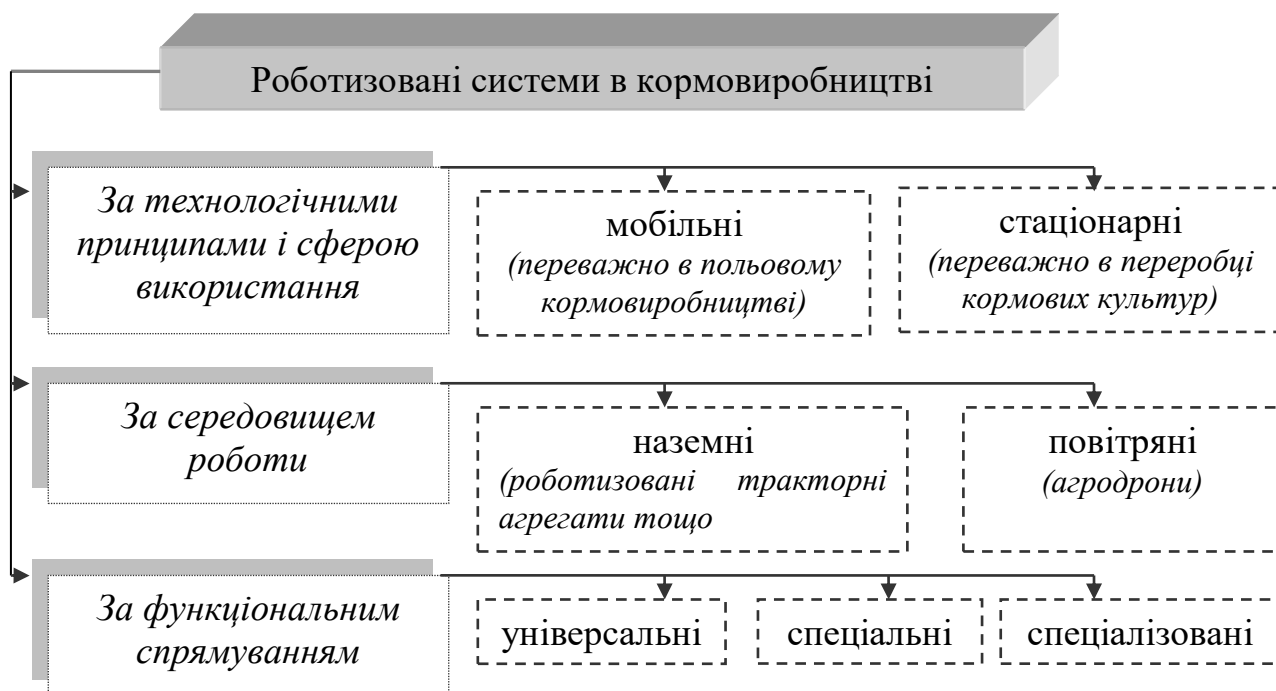


Рис. 1. Класифікація роботизованих систем у кормовиробництві
 Джерело: побудовано авторами з використання джерел [29], [24], [31].

У переробці кормових культур часто використовуються стаціонарні роботизовані системи, у польовому кормовиробництві основну роль відіграють мобільні роботизовані комплекси. За своїми технологічними характеристиками такі системи включають: засіб пересування; відповідні енергетичні установки; навігаційні та керуючі системи [29].

Мобільні роботизовані системи залежно від технологій руху можуть бути кроковими, колісно-гусеничними, мультикоптерними та іншими [21]. У польовому кормовиробництві частіше використовуються наземні роботизовані системи на колісно-гусеничних механізмах або ж безпілотні літальні апарати (агродрони).

Залежно від комплексу виконуваних функцій роботизовані системи у кормовиробництві можуть бути універсальними, які призначені для виконання різнорідних операцій. Кількість

виконуваних типів операцій залежить від конструктивного виконання робота і може бути достатньо великою. Наприклад, багатофункціональний робот RIPPA є досить універсальним, оскільки забезпечує автоматизацію таких технологічних процесів у польовому кормовиробництві: автономний лінійний висів рослин; сканування поверхні ґрунту і 3D-реконструкція поверхні землі; автономна механічна прополка в реальному часі; внесення засобів захисту рослин у режимі змінної швидкості внесення; автономний відбір проб ґрунту і картування ґрунтів [27].

Спеціальні роботизовані комплекси призначені для виконання однієї операції, яка є чітко визначена. Спеціалізовані роботизовані системи орієнтовані на виконання частини одного варіанта операції. Але, як зазначають науковці, така класифікація досить умовна. Як правило, комплекси мають змінний ступінь спеціалізації [29].

Інвестиційна привабливість впровадження інтелектуальних систем у польове кормовиробництво залежить від двох основних чинників: внутрішніх та зовнішніх (табл. 1).

Таблиця 1.1

Інвестиційна привабливість впровадження інтелектуальних систем у польове кормовиробництво

Чинники	Опис
Внутрішні чинники	
Фінансова стійкість	Можливість залучення коштів на оновлення техніки
Рівень інноваційної готовності	Підготовка персоналу, відкритість до цифрових рішень
Технічна база	Наявність сумісної IT-інфраструктури
Економічна доцільність	Розрахунок IRR, період окупності 3–7 років
Менеджмент і	Орієнтація на Smartfarming у стратегічних

стратегія	документах
Зовнішні чинники	

Продовження таблиці 1.1.

Державне регулювання та політика	Законодавчі ініціативи, державні програми підтримки аграрних інновацій, податкові пільги
Економічна ситуація в країні та регіоні	Стабільність валюти, рівень інфляції, доступність фінансування, кредитні ставки
Ринковий попит на продукцію польового кормовиробництва	Попит на кормову базу з боку тваринницьких господарств, зміни у споживчих пріоритетах
Інфраструктурні умови	Дороги, енергопостачання, зв'язок, доступ до інтернету для управління роботизованими системами
Технологічний прогрес у агросекторі	Рівень розвитку робототехніки, інтеграції систем штучного інтелекту

Джерело: сформовано на основі опрацювання [11,19, 13,16, 6, 4]

Внутрішні чинники є ключовими для успішного впровадження роботизованих систем у польовому кормовиробництві, оскільки вони визначають здатність підприємства ефективно адаптуватися до нових технологій та забезпечувати їх стабільне функціонування. Фінансова спроможність підприємства, що включає наявність власних ресурсів і можливості залучення інвестицій, безпосередньо впливає на масштаб і темпи модернізації виробництва. Організаційна структура і рівень управлінських компетенцій формують внутрішній клімат для інновацій, забезпечуючи гнучкість і швидкість прийняття рішень.

Важливою складовою є технічна база та матеріально-технічне забезпечення, що забезпечує надійність роботизованих систем і їхню інтеграцію у виробничі процеси. Кваліфікація персоналу та

готовність колективу до змін визначають успішність експлуатації та обслуговування нових технологій, а також здатність підприємства до інноваційного розвитку. Внутрішня екологічна відповідальність сприяє сталому використанню ресурсів і дотриманню норм, що зростає як вимога з боку ринку та регуляторів.

Очікувана віддача від інвестицій – зменшення витрат, підвищення продуктивності та якості продукції – мотивує підприємства до впровадження роботизованих систем. Однак внутрішні ризики, такі як технічні проблеми, опір персоналу чи затримки в поставках обладнання, можуть стримувати інвестиційну активність, потребуючи стратегічного планування та управління ризиками. Таким чином, внутрішні чинники визначають як потенціал, так і бар'єри для інвестицій у роботизацію польового кормовиробництва, що робить їх об'єктом пильної уваги під час розробки інвестиційних стратегій.

Зовнішні чинники відіграють критично важливу роль у формуванні умов для інвестицій у роботизовані системи польового кормовиробництва. Їх гармонійне поєднання – це своєрідна інституційна екосистема, яка здатна не лише знижувати ризики інвестора, а й формувати довгострокову перспективу прибутковості, сталості та аграрної конкурентоспроможності.

У польовому кормовиробництві більш функціональними є наземні мобільні роботизовані системи, функції яких можуть бути досить широкими, універсальними. У загальному випадку технічна структура таких роботизованих систем включає в себе «підсистему керування, підсистему втримання на поверхні та приводи

переміщення, сенсори аналізу навколишнього середовища, систему живлення і технологічне оснащення» (рис. 1.2).

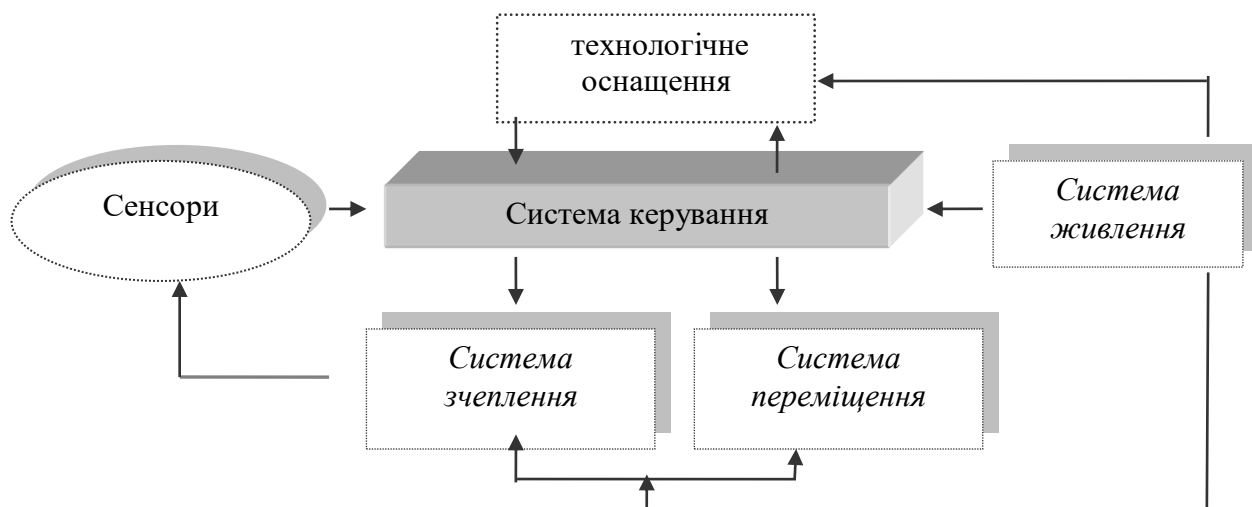


Рис. 1.2. Технічна структура наземних мобільних роботизованих систем у польовому кормовиробництві

Джерело: сформовано за даними [27]

Автономні мобільні роботи можуть автономно переміщуватися у просторі для виконання різноманітних завдань. Для цього вони потребують різних типів датчиків і даних для навігації на фермах, включаючи камери, GPS, магнітну стрічку тощо. Сільськогосподарські роботизовані системи зазвичай використовуються для автономного збору інформації про посіви та умови навколишнього середовища, а також для виконання завдань, необхідних для отримання врожаю, починаючи із сівби насіння до збору кормових культур [28].

Спеціалізація роботизованих систем у кормовиробництві включає цілий ряд агротехнологічних процесів, як у сфері моніторингу полів, так і в польовому застосуванні. У галузі польового кормовиробництва роботизовані системи використовуються, як правило, для виконання таких польових операцій: сівба насіння; внесення добрив; точне обприскування

рослин; моніторинг стану посівів; боротьба з бур'янами; збирання врожаю [3]. Деякі з цих функцій можуть виконуватися одним і тим же роботизованим комплексом. Найбільш широкі функції властиві для агродронів та для роботизованих, автономних тракторів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Функціональна роль роботизованих систем в польовому кормовиробництві

Роботизовані системи	Сфера моніторингу	Польові агротехнології
Агродрони	моніторинг погоди стану посівів охорона	- внесення мінеральних добрив - пестицидів - гербіцидів - інших ЗЗР
Автономні трактори	стану ґрунтів вмісту вологи стану посівів	- оранка - сівба - внесення добрив, ЗЗР - прополювання
Роботизовані платформи збору врожаю (комбайни)	моніторинг рослин	- збирання врожаю

Джерело: побудовано авторами з використанням джерел [26, 15].

На розвиток сільськогосподарської безпілотної техніки в першу чергу впливають вимоги точного землеробства. Дрони, які спочатку використовувалися для огляду посівів, тепер мають набагато більший арсенал функцій, від розпилення пестицидів і добрив до контролю точного землеробства на величезній території. Оснащені камерами та датчиками на базі штучного інтелекту, вони забезпечують фермерам повний огляд полів, допомагаючи приймати обґрунтовані рішення в реальному часі, оптимізувати використання ресурсів та підвищити їх ефективність. Безпілотники є невід'ємною частиною допомоги

фермерам у боротьбі з дефіцитом робочої сили та зміною клімату. Так, у польовому кормовиробництві агродрони можуть використовуватися для точного обприскування полів, що дає змогу заощаджувати на агрохімікатах [15]. Наприклад, один з найпопулярніших виробників сільськогосподарських дронів DJI оснащує свою продукцію відповідними технологіями: модель DJI Agras MG-1P має ємність 10 л для точного обприскування рослин. Діаметр краплі 130 - 250 мкм (в залежності від умов роботи та швидкості розпилення) [17]. Іншим практичним застосуванням дронів є аналіз посівів і рослинності, який часто виконується швидше, ніж ручний варіант. Літальні апарати надають детальні зображення полів посівів, дозволяючи фермерам відстежувати ріст посівів, виявляти аномалії, визначати хвороби та планувати цілеспрямовані заходи для максимізації врожайності [15].

Протягом останніх років активно розвивається й ринок роботизованої наземної техніки для польових робіт. Роботизовані трактори оснащені GPS, датчиками та штучним інтелектом (ШІ) для автономної навігації на полях. Вони можуть виконувати різноманітні завдання: оранку, посів, розпилення добрив або ЗЗР без участі оператора. Автономні трактори можуть слідувати заздалегідь запрограмованими шляхами або коригувати свої маршрути в режимі реального часу [9].

Функціонально роботизовані системи у польовому кормовиробництві можуть автоматизувати виконання таких агротехнологічних завдань:

- 1) сівба. Роботизовані машини, які автоматизують висів

насіння, забезпечуючи оптимальну глибину та відстань між насінинами;

2) пересаджування: роботизовані машини, які переміщують рослини з густого розплідника до місця більш вільного росту;

3) збирання врожаю: роботизована техніка, призначена для ефективного зрізання кормових культур, відділення рослин від їх коренів. Роботизовані платформи оснащені датчиками та кінцевими ефекторами для ідентифікації та збору стиглої продукції;

4) боротьба з бур'янами та шкідниками: роботизовані агрегати використовують точне внесення гербіцидів або механічні методи боротьби з бур'янами та шкідниками;

5) зволоження: роботизовані комплекси забезпечують точне внесення вологи і оптимізують її кількість;

б) моніторинг і розвідка: дрони або наземні роботизовані транспортні засоби збирають дані про здоров'я посівів, стан ґрунту, рівень вологості та інші важливі параметри.

Однією з тенденцій розвитку польових роботів є підвищення їх універсальності шляхом створення мобільних платформ зі змінними модулями. Така технологія, наприклад, реалізована в роботі *BoniRob*. Унікальна конфігурація платформи дозволяє роботу самостійно пересуватися, підлаштовуючись під різні конфігурації поля. Багатофункціональна платформа дозволяє переміщувати корисний вантаж вагою до 150 кг і працювати автономно до 24 годин. Водночас, виробник заявляє про можливість зміни модулів на цій платформі в залежності від поточного завдання [17].

Дефіцит робочої сили, кліматичні зміни, екологічні потреби,

необхідність автоматизації, роботизації агротехнологічних процесів, переваги та розширені можливості тощо є чинниками, що формують попит на роботизовані системи в польовому кормовиробництві.

Розглядаючи фактори, що актуалізують впровадження роботизованих систем у польове кормовиробництво, можна систематизувати їх за різними ознаками:

- залежно від природи чинника (політичні, екологічні, економічні, соціально-демографічні, науково-технічні тощо);
- залежно від рівня виникнення (зовнішні та внутрішні по відношенню до конкретного господарства).

Основні фактори популяризації інвестицій у роботизовані системи в польовому кормовиробництві у світі узагальнені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Чинники інвестування в роботизовані системи у польовому кормовиробництві

Природа чинника	Чинник	Характеристика впливу
Політико-правові	державна підтримка інноваційного розвитку	стимулювання інвестицій в роботизовані системи
	обмеження потоків трудових мігрантів (наприклад, у США)	дефіцит трудових ресурсів стимулює попит на роботів
	політика зменшення викидів транспорту та с/г техніки	обмеження використання традиційної с/г техніки
Економічні	зростання вартості палива	обмеження використання традиційної с/г техніки
	зростання заробітної праці персоналу	обмеження використання трудових ресурсів
Екологічні	дефіцит вологи в результаті зміни клімату	зростає потреба в моніторингу вологості ґрунтів та точному зрошуванні

	зростання рівня забруднення ґрунтів пестицидами, гербіцидами	виникає потреба в обмеженому використанні мінеральних добрив та ЗЗР
--	--	---

Продовження таблиці 1.2

Соціальні	популяризація органічних кормів, екологічної відповідальності брендів	Виникає потреба в обмеженому використанні мінеральних добрив та ЗЗР
	зростання вимог до безпеки працівників	обмеження контактів працівників із ЗЗР
Демографічні	дефіцит трудових ресурсів	обмежує використання традиційної (пілотованої) с/г техніки
Науково-технологічні	широкий асортимент роботизованих систем на ринку	дає можливість обрати різні варіанти роботизації агротехнологічних процесів

Джерело: складено авторами

Великі сільськогосподарські компанії та фермерські підприємства мають різні причини для впровадження сільськогосподарських роботів. Однак основні причини в усьому світі здебільшого однакові: доступність технологій наступного покоління, дефіцит робочої сили та зміни клімату

Дефіцит робочої сили є значним чинником, що формує попит на роботизовані системи, як для крупних виробників кормів, так і для дрібних фермерів. З кожним роком все менше людей шукають роботу в сільському господарстві. Тільки в ЄС за останні 10 років 2,5 мільйона працівників залишили сільськогосподарську галузь. Крім того, до 2030 року прогнозується щорічне скорочення зайнятості в сільському господарстві (як керівників, так і робітників) на 3%. Дефіцит робочої сили призводить до значних економічних втрат: перевитрати на оплату наднормової роботи, втрата врожаю через нестачу працівників тощо [12].

Також актуальним чинником, що формує попит на роботизовані системи для польового кормовиробництва, є зміни клімату та стан навколишнього середовища.

Посухи, сильні опади, повені та прямий вплив клімату на водні і земельні ресурси все частіше мають негативну дію на врожай кормових культур. У відповідь на ці виклики для фермерів життєво важливо оптимізувати технологічні процеси, зокрема, за рахунок впровадження сільськогосподарської робототехніки. У такому разі вони не тільки усувають поточні перешкоди, але й просувають польове кормовиробництво вперед, сприяючи адаптації та гнучкості до майбутніх викликів [12].

Крім того, популяризація робототехніки у польовому кормовиробництві сприяє й державна підтримка. Уряди розвинених держав роблять значні інвестиції в сільськогосподарські технології, заохочуючи розробку та впровадження роботів у сільському господарстві. Очікується, що ініціативи, які сприяють сталому сільському господарству, зменшенню залежності від робочої сили та точному землеробству, в найближчі десятиліття сприятимуть попиту на сільськогосподарських роботів [15].

Масовому впровадженню роботизованих систем у польовому кормовиробництві сприяють не лише зовнішні чинники, що були розглянуті вище, а й конкретні переваги нової автономної у своїй роботі сільськогосподарської техніки.

Серед переваг застосування роботизованих систем у польовому кормовиробництві слід виділити, перш за все дві групи:

- 1) екологічні переваги;

2) економічні переваги.

Екологічні переваги автономних роботів, що використовуються в галузі, включають кілька груп:

- мінімізація негативного впливу на оточуюче середовище. Такий ефект пов'язаний з оптимізацією кількості використаних добрив та ЗЗР, у результаті чого їх надлишки не потрапляють у змивні води та ґрунти. Крім того, агродрони додатково забезпечують мінімізацію викидів у повітря порівняно з традиційними тракторами та економію палива;
- мінімізація негативного впливу на персонал підприємства. Використання робототехніки забезпечує мінімізацію контакту персоналу з ЗЗР, що мінімізує ризики негативного впливу на здоров'я;
- оптимізація екологічних характеристик кормових культур. Завдяки точному внесенню добрив та засобів захисту рослин їхній вміст у продукції (кормових культурах) не буде перевищувати нормативні показники, якість продукції покращується.

Отже, з точки зору екології робототехніка та штучний інтелект у сільському господарстві мають трансформаційні можливості, сприяючи впровадженню більш ефективних та сталих практик. Автономна техніка зменшує споживання пального, порівняно з традиційною технікою, оскільки вона зазвичай використовує електричні або гібридні джерела енергії, що призводить до зниження викидів парникових газів. Робототехніка покращує точне землеробство, даючи змогу мінімально вносити хімікати й добрива

лише там, де вони потрібні, що зменшує деградацію ґрунтів і мінімізує забруднення води від стоків. Алгоритми штучного інтелекту сприяють оптимізації сівозміни та методів керування ґрунтами, що покращує їхній стан і біорізноманіття в довготривалій перспективі. Дрони також забезпечують неінтрузивний моніторинг посівів, що дає змогу фермерам оцінювати стан посівів, не завдаючи шкоди екосистемі. Інтеграція цих новітніх технологій робить сільське господарство менш агресивним і більш збалансованим щодо природного середовища.

Таким чином, сільськогосподарські роботизовані системи, оснащені датчиками та технологією GPS, можуть оптимізувати використання таких ресурсів, як вода, добрива та пестициди, тим самим зменшуючи вплив сільського господарства на навколишнє середовище.

Економічні переваги зумовлені здатністю сільськогосподарської робототехніки:

1) зменшувати потребу в робочій силі. Роботизовані системи, такі як автономні трактори, дрони та комбайни, можуть виконувати повторювані завдання (сівба, пересаджування, обприскування, прополювання, збирання врожаю) з мінімальним втручанням людського фактора. Така механізація зменшує витрати на робочу силу та підвищує ефективність виконання завдань, що приводить до більшої прибутковості. Сільськогосподарські роботи, на відміну від пілотованих тракторів, можуть працювати цілодобово, значно підвищуючи загальну продуктивність;

2) оптимізувати використання матеріальних ресурсів (наприклад, пального, води, мінеральних добрив, ЗЗР). У цьому аспекті особливі переваги мають агродрони, використання яких дозволяє значно економити на витратах пального. Крім того, як дрони, так і наземні роботизовані системи використовуються для моніторингу за станом посівів, потреб в зрошенні та оцінки рівня зараження шкідниками в режимі реального часу. Це дає змогу здійснювати цілеспрямоване регулювання та зменшує нераціональне використання води, добрив і пестицидів. Точність робототехніки дає змогу виконувати більш точний посів і збір врожаю, мінімізуючи втрати останнього й підвищуючи його якість, що, зрештою, збільшує прибуток фермерських господарств. Аналіз даних на основі штучного інтелекту, який проводиться в роботизованих системах, збільшує економічні вигоди, оскільки дає змогу прогнозувати результати й оптимізувати розподіл ресурсів, тим самим максимізуючи рентабельність інвестицій.

Узагальнення основних економічних та екологічних переваг окремих груп роботизованих систем, що застосовуються в польовому кормовиробництві, проведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Економічні та екологічні переваги використання робототехніки у польовому кормовиробництві

Роботизовані системи	Економічні переваги	Екологічні переваги
Агродрони	Зменшення потреби в робочій силі, економія пального, зменшення втрат урожаю через	Зменшення викидів у повітря, мінімізація забруднення водних та земельних ресурсів

	хвороби та враження шкідниками, точне зрошення і моніторинг посівів	ЗЗР
--	---	-----

Продовження таблиці 1.3

Автономні трактори	Зменшення потреби в робочій силі, зменшення втрат урожаю через хвороби та враження шкідниками, точне зрошення і моніторинг посівів	Мінімізація забруднення водних та земельних ресурсів ЗЗР
Роботизовані платформи збору врожаю (комбайни)	Зменшення потреби в робочій силі, зменшення втрат урожаю	Зменшення обсягу відходів

Джерело: побудовано авторами

Таким чином, роботизовані системи в польовому кормовиробництві дають можливість впровадження принципів точного землеробства, які дозволяють фермерам оптимізувати врожайність кормових культур, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити загальну продуктивність [15].

Експерти зазначають, що застосування роботизованих систем у рослинництві, а також і в польовому кормовиробництві, сприяє значній економії фінансових ресурсів не лише в аспекті скорочення поточних витрат, але і в сенсі оптимізації інвестицій. Експерти підкреслюють, що аграрні підприємства, проводячи роботизацію, можуть скоротити і витрати на придбання техніки. Це зумовлено конструктивними особливостями роботизованої техніки. Сучасні

пілотовані трактори, які можуть їздити зі швидкістю 50-60 км/год., доволі затратні з виробничої точки зору: вони мають складну коробку, ускладнене шасі, колесо, кабіну, додаткові витрати йдуть на створення комфорту для тракториста тощо. Натомість автономний агрегат не їздить сам дорогами загального значення, тому йому не потрібно їхати швидше 15 км/год. Відповідно, коробка передач у такої техніки проста. Автономні агрегати можуть, навіть, мати менші двигуни, їм також не потрібні амортизаційні елементи. Така техніка конструктивно простіша, тому комбінація автономного агрегата і сівалки буде дешевша, аніж комбінація трактора і сівалки [16].

Це свідчить про перспективи інвестування кормовиробників у роботизовану техніку для польових робіт.

Традиційно ефективність сільськогосподарського виробництва тісно пов'язана з рівнем механізації та автоматизації технологічних процесів, який, у свою чергу, залежить від структури та складу сільськогосподарської техніки господарства. Тому на кожному аграрному підприємстві періодично проводяться аналіз технічного оснащення з метою виявлення наявних невідповідностей між існуючим станом механізації господарства і можливостями підвищення рівня механізації або ж автоматизації кормовиробництва та структурного удосконалення матеріально-технічної бази [17].

Нині основна причина, що стимулює сільгоспвиробників до інвестування в техніку – необхідність автоматизації, роботизації агротехнологічних процесів. Для оцінки ефективності таких інвестицій можуть використовуватися класичні аналітичні підходи.

У наукових джерелах підкреслюється, що при економічній оцінці та виборі для впровадження в сільськогосподарське виробництво розроблених технологій, винаходів та раціоналізаторських пропозицій, у першу чергу, враховують: прибавки врожайності, приріст виробництва валової продукції та поліпшення її якості, підвищення продуктивності та зниження затрат праці на одиницю продукції, зниження собівартості сільськогосподарської продукції і, в результаті, отриманий економічний ефект [17].

Отже, при оцінюванні ефективності інвестицій у робототехніку для польового кормовиробництва також слід враховувати:

- 1) додаткові фінансові надходження в результаті:
 - зростання врожайності кормових культур, що збільшує обсяг валового збору;
 - покращення якості кормових культур, що забезпечує їх вищу ціну на ринку;
- 2) вигоду в результаті економії:
 - економію витрат на оплату праці та соціальні відрахування;
 - економію витрат на паливо;
 - економію витрат на мінеральні добрива та на ЗЗР.

Подальший аналіз ефективності інвестицій у робототехніку передбачає застосування методу чистої поточної вартості, що включає ряд етапів:

- 1) визначається обсяг інвестицій, який необхідно зарезервувати для інвестиційного проекту;

- 2) розраховується поточна вартість майбутніх грошових надходжень від реалізації проекту;
- 3) різниця між поточною вартістю доходів і поточною вартістю витрат становить чисту поточну вартість. Її додатне значення свідчить, що проект забезпечить більший дохід, ніж розміщення коштів на депозитному рахунку в банку, від'ємне – що проект має прибутковість нижче від вартості капіталу і є не вигідним. Відповідно до концепції чистої поточної вартості, дисконтовані зиски мають дорівнювати або перевищувати дисконтовані витрати [18].

Водночас, при аналізі ефективності інвестицій у роботизовані системи в польовому кормовиробництві варто враховувати й позитивні екологічні аспекти. Екологічний аналіз результатів інвестування важко перевести у фінансовий вимір, тому для нього оптимальним буде використання абсолютних та відносних екологічних показників: обсягів використаної води, обсягів забруднень засобами захисту рослин на мінеральними добривами тощо.

Таким чином, одним з ефективних шляхів оптимізації польового кормовиробництва нині є автоматизація та роботизація агротехнологічних процесів. Тому перед сучасними сільгосппідприємствами стоїть завдання вибору робототехніки для підвищення продуктивності робіт і отримання вищих прибутків, забезпечення як економічної, так і екологічної ефективності господарювання.

РОЗДІЛ II

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В ПОЛЬОВОМУ КОРМОВИРОБНИЦТВІ ВИСОКОРОЗВИНЕНИМИ КРАЇНАМИ

Одним з найбільш очікуваних і перспективних шляхів розвитку аграрного сектору в розвинених державах світу є роботизація. Відповідно до Звіту Всесвітнього економічного форуму «The Future of Jobs Report 2025» вірогідність впровадження в економіку в цілому (в т.ч. і в польовому кормовиробництві) до 2030 року окремих цифрових технологій становить 58% (рис. 2.1).

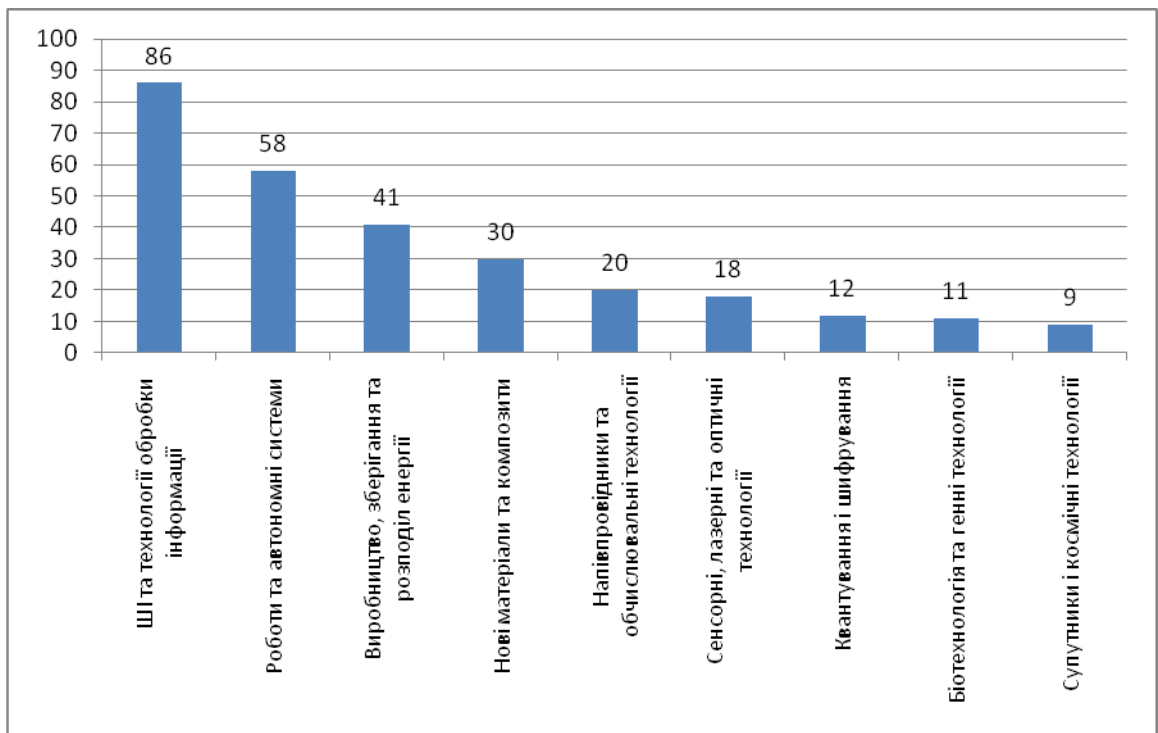


Рис. 2.1. Прогноз впровадження сучасних інструментів оптимізації бізнесу до 2030 р., %

Джерело: Побудовано авторами з використанням даних [19].

Шістдесят відсотків роботодавців очікують трансформації власного бізнесу у вказаний період за рахунок роботизації, як видно з рисунка 2.1. Дані статистики свідчать, що ринок роботизованих систем протягом останніх п'яти років стабільно зростає приблизно на 5-7% щорічно. У 2023 році показник середньої глобальної щільності роботів досягнув 162 одиниць на 10000 працівників. Це вдвічі більше, ніж було 7 років тому. В даний час роботизовано системи впроваджуються в різних державах світу, як високорозвинених, так і таких, що розвиваються. 80% роботизованих систем впроваджується в Китаї, Японії, США, Республіці Корея та Німеччині [19].

Якщо порівняти очікуваний вплив роботизації на різні сфери економіки, то в сільському господарстві, зокрема і в польовому

кормовиробництві, на думку представників бізнесу, він порівняно вищий, ніж у ряді галузей (рис. 2.2).

Впровадженню роботизованих систем у польове кормовиробництво в розвинених державах світу сприяє відповідна стимулююча політика держави. До прикладу можна розглянути Францію. Уряд країни визнає необхідність та важливе значення розвитку сільськогосподарської робототехніки і розглядає можливість вливання державних коштів у цей сектор. У рамках стратегії прискореного розвитку «Стійкі сільськогосподарські системи та обладнання, що сприяють екологічному переходу» (SADEA) та майбутньої інвестиційної програми (PIA4), що підтримується Францією до 2030 року, уряд Франції звернувся до асоціації RobAgri – асоціації робототехніки у Франції, що налічує майже 80 членів, – з метою формування пропозиції сільськогосподарської робототехніки [20].

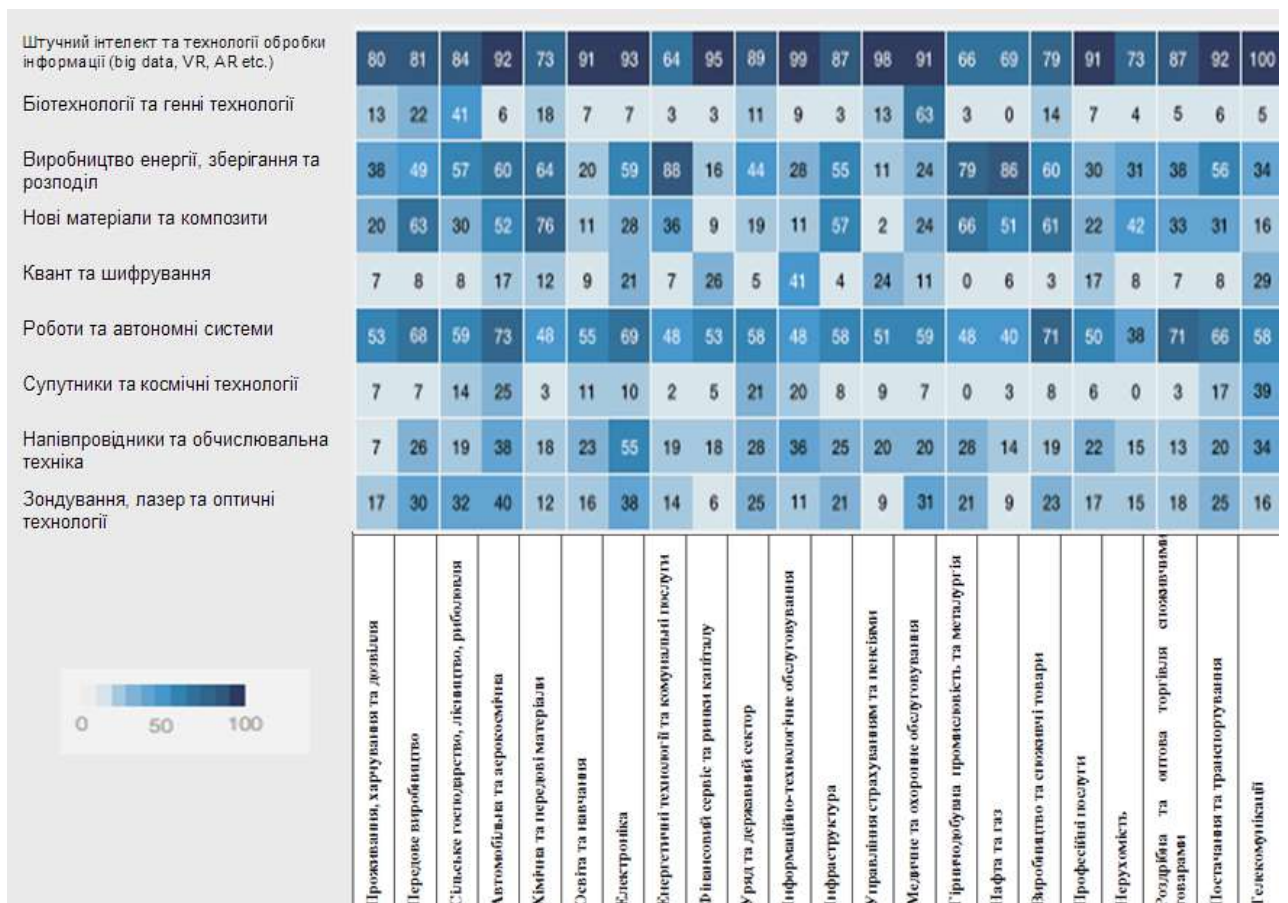


Рис. 2.2. Оцінка представниками бізнесу ймовірності впливу чинників на різні галузі світової економіки в 2025-2030 рр., % відповідей експертів [19].

Відповідно до каталогу цифрових інструментів для фермерів [21], що розроблено на державному рівні у Франції, пропозиція наземних роботизованих систем, які можуть бути застосовані у польовому кормовиробництві, досить широка (рис. 2.3).

Як видно з рис. 2.3, роботизовані комплекси можуть використовуватися для автоматизації різних агротехнологічних процесів польового кормовиробництва:

- Récolte (збирання врожаю);
- Semis (сівби);
- Stockage (зберігання);

- Surveillance Inspection (моніторингу-перевірки);
- Taille (обрізки);
- Tonte (скошування);
- Travail du sol (обробітку ґрунту);
- Triage (сортування);
- Déplacement objets ou personnes (контроль об'єктів або людей, що рухаються);
- Désherbage (прополювання);
- Echantillonnage (відбору проб);
- Eclaircissage (проріджування посівів);
- Fertilization (удобрення);
- Eclaircissage (видалення листя);
- Eramprage (проріджування пагонів);
- Itinéraire cultural (маршрутизації посівів);
- Phénotypage (фенотипування);
- Pollinisation (запилення);
- Protection des cultures (захисту рослин).

1. Підготовка ґрунту та посів (автономні трактори, ретрофіт-комплекти)

- Що роблять: автономна обробка ґрунту, сівба з точним нормуванням, робота в ніч/за несприятливих умов без оператора.
- Переваги: стабільна якість обробітку, економія часу та праці, можливість ретрофітити наявну техніку (autonomy-kits).
- Приклади/джерела: John Deere — комплекс рішень для автономії та ретрофіт-модулів (Autonomy/Autonomy Kits).

2. Контроль бур'янів і точкова обробка (робот-платформи та «зелені» рішення)

- Що роблять: AMR/UGV-платформи розпізнають бур'ян за допомогою комп'ютерного зору і локально або механічно, або енергетично (наприклад, microwave) його знищують; дають змогу зменшити використання ЗЗР.
- Переваги: зменшення хімічного навантаження, економія витрат на пестициди, можливість безплужного землеробства.
- Приклад в Україні: Robotec — Agrotec: AI-AMR, GNSS RTK-навігація, виявлення бур'янів CV/CNN, високоточний мікрохвильовий модуль.

3. Моніторинг біомаси, стиглості та здоров'я посівів (дрони, супутники, сенсори)

- Що роблять: мультиспектральні / гіперспектральні дрони та супутникові дані визначають індекси вегетації, оцінюють

біомасу, вологість і якість кормової маси. Це дозволяє планувати дату косовиці та оптимізувати заготівлю силосу/сіна.

- Наукова база: останні дослідження показують, що поєднання Sentinel / Landsat + UAV дає набагато точніші оцінки біомаси й якості пасовищ/кормів.

4. Обприскування та внесення добрив (агродрони і точкове внесення)

- Що роблять: дрони високої продуктивності (прип. XAG) для обприскування і внесення гранул/рідини; дозволяють швидко працювати на складних ділянках.
- Підтримка в Україні: DroneUA — партнерство з XAG, програми лізингу та партнерські програми для доступності техніки. Така інфраструктура робить послугу доступнішою для господарств.

5. Косіння, подрібнення, пресування (автономні косарки, роботизовані збирання)

- Що роблять: автономні/електричні міні-косарки або флот міні-роботів для регулярного скошування; великі автономні жатки/комбайни для заготівлі кормів.
- Комерційні приклади: на ринку є рішення для великої техніки (John Deere — автономні жатки/трактори) та спеціалізовані AI-косарки (Graze/Graze Robotics; ECOVACS GOAT на рівні lawn-mower технологій для великих полів).

6. Логістика та внутрішня автоматика ферми (автономні підштовхувачі корму, AGV)

- Що роблять: автономні підштовхувачі/AGV розвозять і підштовхують корм у стойлових приміщеннях, автоматизують вивіз тюків і внутрішню логістику.
- Приклад: робот Butler Gold (Wasserbauer) працює як feed-pusher на молочних фермах — вже застосовують і в Україні.

7. Сервісні платформи та моделі «робота як послуга» (RaaS)

- Що роблять: платформи для з'єднання фермерів з сервіс-провайдерами робототехніки (напр., FarmFleet) — замість купувати техніку, фермери беруть послугу «обприскування дронами/флотом роботів».
- Перевага: доступність для малих/середніх господарств, зниження бар'єрів входу.

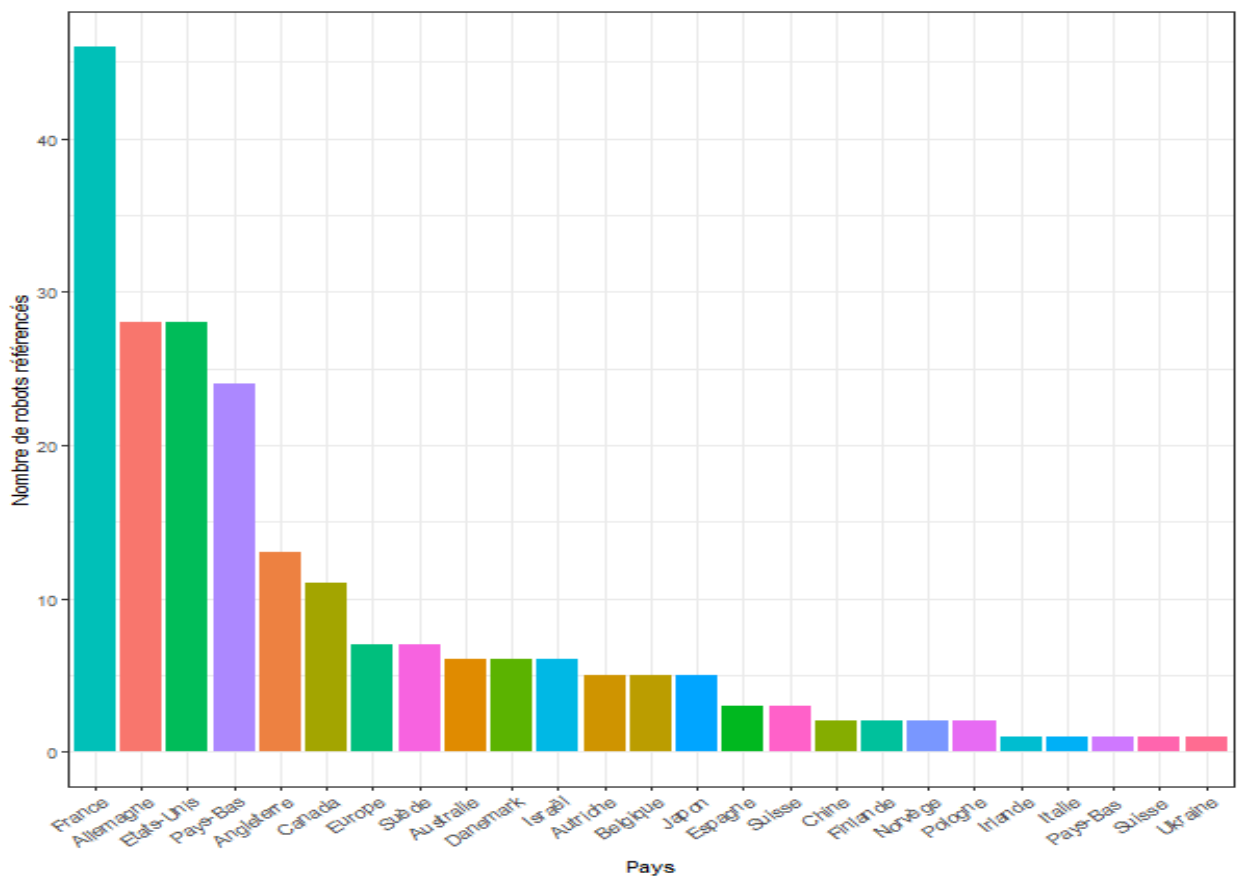
8. Аналітика і підтримка рішень (AI, DSS)

- Що роблять: хмарні платформи аналізують телеметрію, супутникові дані, прогнози погоди і дають рекомендації щодо оптимального часу косовиці, норми внесення добрив, ризиків хвороб. Це ключ для «точного кормовиробництва».

В рамках стимулювання ринку різні держави пропонують різну кількість роботизованих систем для аграріїв. Найбільшу кількість пропонує саме Франція (рис. 2.4).

Стимулювання розвитку ринку сільськогосподарської робототехніки здійснює й Англія. На початку 2023 року серед фермерів, виробників та агротехнічних підприємств Англії було організовано конкурс на фінансування для розробки інноваційних ідей у сферах робототехніки та автоматизації. Організований Конкурс

робототехніки та автоматизації вартістю 12,5 мільйонів фунтів став частиною Програми інновацій у сільському господарстві, що реалізується у Великобританії. Програма вартістю 270 мільйонів фунтів стерлінгів фінансує дослідницькі проекти, спрямовані на подолання перешкод і створення більш продуктивного та сталого аграрного сектора.



Примітка: зліва направо: Франція, Іспанія, Сполучені Штати, Нідерланди, Англія, Канада, Європа, Швеція, Австралія, Ізраїль, Австрія, Бельгія, Японія, Іспанія, Швейцарія, Китай, Фінляндія, Норвегія, Польща, Ірландія, Італія, Україна

Рис. 2.4. Пропозиція роботизованих систем для польового кормовиробництва у програмах підтримки країн світу [20].

Особливості конкурсу в тому, що він побудований на принципі співпраці виробників робототехніки та аграріїв. Держава забезпечує фінансування 2 типів проектів:

- спільні промислові дослідницькі проекти з вартістю від £500 000 до £1 млн протягом 36-48 місяців;
- проекти спільної експериментальної розробки з вартістю від £750 000 до £1,5 млн протягом 24-36 місяців [22].

Інвестуючи в робототехніку та автоматизацію сільського господарства, англійський уряд сподівається підвищити продуктивність на фермах, заохочувати агробізнес до впровадження стійких методів ведення сільського господарства. У довгостроковій перспективі очікується, що інвестиції в цю сферу допоможуть зменшити витрати на виробництво. Автоматизація та робототехніка також були визначені як перспективні цілі в Національній продовольчій стратегії Англії, що визначає їхній потенціал для зростання сектору [22].

Проекти зі стимулювання впровадження роботизованих систем у сільське господарство реалізовано і в США. Програма фундаментальних досліджень у робототехніці (FRR) NSF існує з 2020 року, але лише в 2024 році партнером програми став Національний інститут продовольства та сільського господарства Міністерства сільського господарства США (USDA NIFA) [23].

Державна підтримка сприяє розвитку ринку сільськогосподарської робототехніки. Згідно прогнозів, дохід на цьому ринку в 2025 році досягне 171,70 млн доларів США, а протягом 2025-2029 років середньорічний темп зростання ринку

складе 3,13%, що очікувано призведе до обсягу ринку в 194,20 млн доларів США в 2029 році. Експерти прогнозують, що в глобальному порівнянні у 2025 році найбільший дохід буде отримано в Німеччині (299 200 тисяч доларів США у 2025 році) [22].

В цілому, експерти прогнозують постійне й стабільне зростання світового ринку роботизованих агросистем у найближчі роки. Зокрема, очікується, що до 2030 року глобальний ринок сільськогосподарських роботів зросте приблизно до 36 мільярдів дол. США (рис. 2.5).

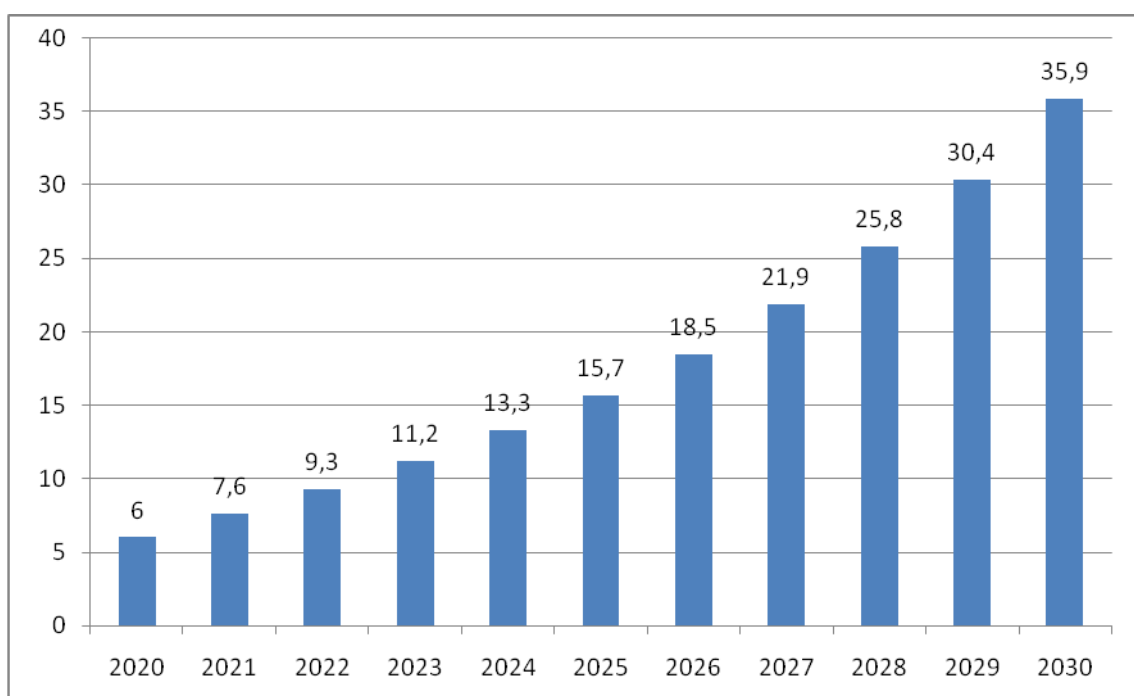


Рис. 2.5. Обсяг світового ринку сільськогосподарських роботів з 2020 по 2030 рік, млрд. дол. США [12].

Визначальний вплив на розвиток галузі в останнє десятиліття мало застосування агродронів – безпілотних літальних апаратів. Згідно з нещодавніми дослідженнями, розмір ринку сільськогосподарських дронів до 2028 року досягне 17,9 мільярдів доларів США, тоді як у 2023 році його ємність складала 4,5 мільярдів

доларів США. За вказаний період CAGR (англ. Compound annual growth rate), тобто сукупний середньорічний темп зростання, очікувано складатиме 31,5%. На даний момент Сполучені Штати є країною, яка найбільшою мірою застосовує агродрони, за ними йдуть вже європейські країни [12]. Про популярність застосування дронів у сільському господарстві свідчить те, що безпілотники для аграріїв складають 11% світового ринку дронів [25].

Кілька останніх років високотехнологічні держави світу активно впроваджують у польовому кормовиробництві також наземну робототехніку: автономні трактори та платформи. У 2023 році світовий ринок автономних тракторів оцінювався в 2,4 мільярда доларів США, а до 2028 року, за прогнозними оцінками, він досягне позначки в 7,1 мільярда доларів США із загальним середньорічним темпом зростання 24,0% за вказаний період часу [12]. До найбільш поширених типів самохідних платформ відносяться обприскувачі, які використовуються для внесення агрохімікатів під кормові культури, а також самохідні платформи для прополювання посівів.

Окрему групу роботизованих систем для сільського господарства складають автоматизовані системи збирання врожаю. У 2023 році сектор автоматизованого збирання врожаю сягнув 2 мільярдів доларів США та, як очікується, досягне 2,76 мільярда доларів США у 2028 році (загальний середньорічний темп зростання 6,6%) [12].

Сучасні та прогнозні обсяги ринку виділених груп роботизованих агросистем представлено на рис. 2.6.

Дані рис. 2.6 свідчать, що найбільші перспективи використання у польовому кормовиробництві мають агродрони. Вони вже знайшли широке застосування з метою отримання зображень, проведення обприскувань. Стримуючим фактором масового впровадження безпілотних літальних роботизованих систем у рослинництві (зокрема, і в польовому кормовиробництві) є нормативні обмеження, що діють у більшості країн світу, а також деяка обмеженість автономності та функцій [26].

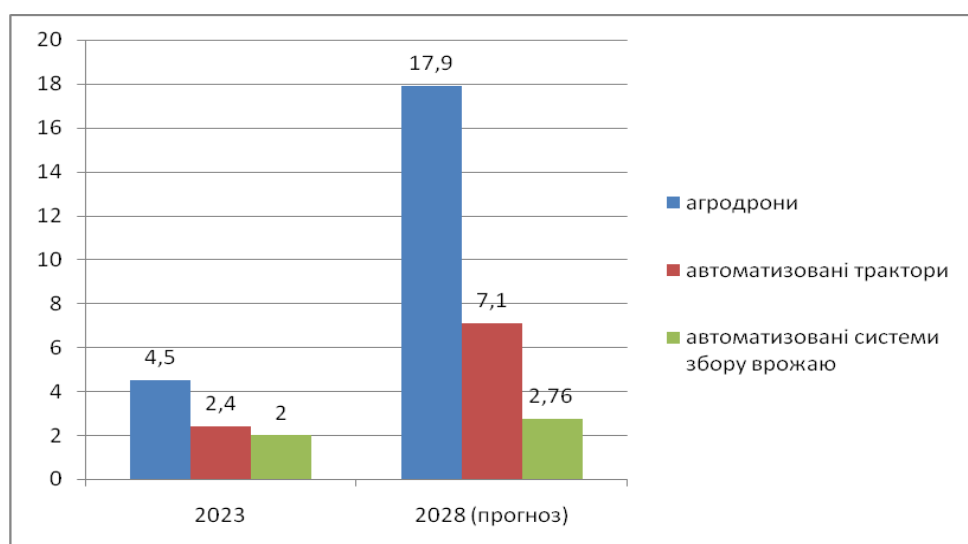


Рис. 2.6. Обсяг ринку роботизованих агросистем у світі у 2023 та 2028 роках (факт і прогноз відповідно), млрд. дол. США

Джерело: побудовано автором за даними [12].

Водночас, все активніше у вирощуванні кормових культур застосовуються наземні роботизовані системи для автоматизації таких польових робіт як посів, прополювання, обприскування, контроль за посівами та станом ґрунтів, збір врожаю і т.д. Стримуючими факторами на цьому ринку є:

- складність і непередбачуваність рельєфу полів, можливість появи невідомих перешкод на полях, що засіяні кормовими культурами;
- висока ймовірність різкої зміни погодних умов, що може погіршити автономну навігацію та роботу і тим самим обмежити надійність роботизованих тракторів і платформ;
- розміщення земельних ресурсів під посівами кормових культур у сільській місцевості, де зв'язок і доступ до послуг з ремонту та технічного обслуговування можуть бути обмежені [26].

Незважаючи на це, ряд всесвітньовідомих компаній протягом останніх років реалізували проекти, пов'язані з наземними роботизованими системами для рослинництва і польового кормовиробництва. Такі компанії як Naïo Technologies (Франція), ecoRobotix (Швейцарія) і TerraClear (США) вивели на ринок агророботів для автоматизації окремих агротехнологічних процесів, тоді як крупні постачальники обладнання, такі як John Deere (США), AGCO (США) та Kubota (Японія), розробили концепції автономних тракторів. Компанія Fendt (Німеччина) реалізувала проект MARS, в основі якого лежить створення роботизованих систем, що являють собою невеликі автономні роботи для виконання завдань, які зазвичай виконують пілотовані трактори. Компанія використала результати цього проекту для розробки своєї лінії сільськогосподарських роботів Xaver [26].

Нині в польовому кормовиробництві працює не надто багато роботів, оскільки процеси вирощування кормових культур все ще дуже механізовані. У польовому кормовиробництві значна увага

приділяється об роботці ґрунту, а цей етап вирощування найменш роботизований.

Використання роботів для конкретних завдань у агрономії польових кормових культур ставить нові завдання перед виробниками техніки. На сьогодні пропозиції спрямовані на розробку модульних роботизованих платформ, до яких можна буде прикріплювати інструменти, які вже є на фермі (зі стандартним 3-точковим кріпленням, як на тракторах). Деякі виробники також рухаються до автономних тракторів, без кабін, лише з інтелектуальним керуванням, до яких знову ж такими можна буде приєднати наявні інструменти.

Активніше для галузі польового кормовиробництва розробляються роботи для моніторингу та інспекції на сільськогосподарських ділянках (наявність комах, виявлення плям на листі, виявлення бур'янів, виявлення початку спалахів зараження, оцінка врожайності тощо) з автономними системами, що містять засоби моніторингу (камери видимого діапазону, мультиспектральні камери тощо) [20].

Розвиток роботизованої техніки очікувано призводить до зростання рівня залученості робототехніки у сільськогосподарське виробництво, в т.ч. і в польове кормовиробництво. Слід зазначити, що в розвинених державах світу вже й сьогодні значна частка польових робіт при вирощуванні кормових культур роботизовано. Але переважно роботизація проводиться за рахунок агродронів. Так, щорічно американські фермери застосовують авіацію (зокрема агродрони) на 51,4 млн га орних земель для боротьби з комахами і хворобами рослин, а також для внесення добрив і насіння. Сенаратх

Дхармасена – доктор економіки сільського господарства, професор кафедри економіки сільського господарства Техаського університету – провів дослідження, яке показало важливість застосування дронів для підвищення врожайності основних сільськогосподарських культур у США. Його дослідження, представлене на виставках «Агроавіація 2020 і 2021», розглядало п'ять культур: кукурудзу, пшеницю, бавовну, сою та рис. Дхармасена розрахував зниження врожаю по кожній культурі, яке відбулося б у разі відсутності застосування дронів. Використовуючи дані опитування NAAA 2019 року, було встановлено, що авіаційне застосування пестицидів забезпечило виробництво 42,9 млн тонн кукурудзи, 8 млн тонн соєвих бобів, 5,4 млн тонн пшениці, 24,8 млн тонн бавовни та 1,5 млн тонн рису на рік, які були б втрачені. Загальна площа земель, які необхідно перетворити на сільськогосподарські угіддя, щоб замінити втрачений врожай, становить 11 млн га, що приблизно дорівнює площі штату Теннессі. Щорічний приріст врожаю, безпосередньо пов'язаний з доглядом за посівами за допомогою дронів, складає:

- кукурудза (зокрема, кормова) – 42,9 млн т;
- пшениця (в т.ч. на корми) – 5,4 млн т;
- соя – 8 млн т;
- бавовна – 24,8 млн т;
- рис – 1,5 млн т [27].

На сучасному етапі в США значно послаблюються обмеження щодо використання дронів у сільському господарстві. Так, виробник дронів Нуліо домогся дозволу від Федерального управління цивільної авіації США FAA на польоти над полями рою безпілотників. Такий

комплект із трьох - шістьох агродронів може закрити потребу в купівлі нового трактора в парі з причіпним обприскувачем. Якщо раніше на один агродрон був потрібен один окремий професійно підготовлений пілот, то тепер цей же один оператор БПЛА буде потрібний, але для управління вже відразу 3-6 безпілотниками. Рой дронів злітною масою від 15 до 50 кг можна застосовувати не тільки на обприскуванні посівів, але й на внесенні твердих мінеральних добрив, а також при сівбі. Такий підхід покликаний зробити корисне навантаження агродронів більш конкурентоспроможним, якщо порівнювати його з традиційними причіпними і навісними обприскувачами. Фактично тепер команда з двох осіб (оператор і налаштовувач /заправник) може одночасно запускати до шести дронів у небо «роєм», що робить обробку БПЛА майже такою ж швидкою, як і у випадку зі звичайною агротехнікою [28].

Ще однією з тенденцій є розширення сфери застосування безпілотних літальних апаратів. Наприклад, у Піттсбурзі (США) компанія Skycision почала активно використовувати дрони та інфрачервоні технології як при діагностиці захворювань, так і для відстеження чисельності різного роду шкідників сільськогосподарських культур. Оператор безпілотника активно фотографує в інфрачервоному діапазоні, а потім створює детальну карту з фотосвітлинами. Більш того, інфрачервоні датчики здатні визначати кількість хлорофілу у рослинах. Цей показник використовується як маркер хвороб: інфіковані посіви мають знижений рівень хлорофілу [29].

Американські фермери активно використовують дрони для моніторингу полів, що дозволяє виявляти проблемні ділянки на ранніх стадіях і своєчасно реагувати на них. Це сприяє зниженню втрат врожаю на 10-15% та підвищенню загальної продуктивності.

В останні роки зростає увага американських фермерів і до наземних роботизованих систем. Компанії, такі як John Deere, впроваджують автономні трактори, які здатні самостійно здійснювати посів, обробку та збирання врожаю, використовуючи дані GPS та AI. Такі технології дозволяють зменшити витрати на паливо, скоротити використання хімікатів та підвищити врожайність на 5-10% [30].

Значна роль наземних роботизованих комплексів і в моніторингу посівів кормових культур. Лабораторія компанії Google, яка раніше називалася Alphabet X реалізує сільськогосподарський проект під назвою Mineral. Одним із інструментів проекту є новий чотириколісний прототип, який вивчає культури, ґрунт та інші фактори навколишнього середовища, використовуючи поєднання камер, датчиків та іншого бортового обладнання. Потім за допомогою машинного навчання та інших методів штучного інтелекту команда використовує зібрані дані та поєднує їх із супутниковими знімками та даними про погоду, щоб створити прогнози моделі того, як рослини будуть рости. Команда Mineral вже використовує роботизовану систему для вивчення посівів сої в Іллінойсі [31].

Значна роль роботизації польового кормовиробництва і в Канаді. На фермах Онтаріо сільськогосподарські роботизовані комплекси використовується різними способами:

- з метою моніторингу та виявлення хвороб сільськогосподарських культур: алгоритми штучного інтелекту можуть аналізувати зображення сільськогосподарських культур, щоб рано виявити ознаки хвороби, дозволяючи своєчасно втрутитися;
- з метою автоматизації основних агротехнологічних заходів, що дає можливість впроваджувати принципи точного землеробства.

Експерти відзначають високу економічну ефективність застосування роботизованих систем в сільському господарстві (в т.ч. у польовому кормовиробництві) Канади. При цьому, порівнюючи вплив роботизованих технологій, вищий рівень впровадження мають агродрони. Натомість наземні роботизовані системи очікувано забезпечують вищий прогнозований рівень врожайності і ресурсоефективності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Прогнозна ефективність роботизованих систем в сільському господарстві Канади в 2024-2025 рр. [32]

Технологія	Основна функція	Очікуваний рівень впровадження (%)	Прогнозований приріст урожайності (%)	Покращення ресурсоефективності (%)
Агродрони	Моніторинг посівів та обприскування	40	8	15
Роботизовані наземні системи	Працевберігаючі операції, точне землеробство	35	25	30

Тоді як функціональне навантаження агродронів полягає переважно в забезпеченні моніторингу та обприскуваннях посівів, функції наземної робототехніки у рослинництві та польовому

кормовиробництві Канади передбачають, перш за все високу економію витрат робочої сили і перехід до точного землеробства.

Але й інвестиційні витрати на придбання наземних роботизованих систем значно вищі порівняно з інвестиціями у придбання агродронів. Відповідно й терміни окупності більші (табл. 2.2).

Роботизовані комплекси також з кожним роком активніше впроваджуються в сільському господарстві Європи.

Таблиця 2.2

**Очікувані показники інвестицій у роботизовано системи
рослинництва і польового кормовиробництва Канади
в 2024-2025 рр. [33]**

Технологія	Початковий діапазон інвестиційних витрат (\$)	Очікувана рентабельність інвестицій (місяці)
Агродрони	2000-15000	6-12
Роботизовані наземні системи	10000-500000	36-48

У Великобританії активно розвиваються роботизовані системи для догляду за полями. Small Robot Company використовує роботів, які здатні здійснювати моніторинг стану рослин та ґрунту, аналізувати дані і приймати рішення щодо точкового внесення

добрив та пестицидів. Це дозволяє зменшити використання хімічних речовин на 50% та знизити витрати на догляд за культурами [30].

Активно впроваджує робототехніку у вирощуванні кормових культур і Японія. Країна ставила за ціль використання безпілотників не менш ніж на половині площ під пшеницею та соєю ще до 2022 року [29].

Особливу увагу виробники кормів приділяють сьогодні питанню роботизації вирощування кукурудзи. Цьому сприяю такі фактори:

- значна роль кукурудзи як однієї з провідних кормових культур;
- специфіка вирощування кукурудзи: це просапна культура, а нині активно розробляються роботизовано системи для оптимізації вирощування таких культур. Кукурудза має власну специфіку збору врожаю, який відрізняється залежно від сфери використання: на зерно, на силос. Тому тут є різні варіанти застосування агророботів.

В цілому, потреба в роботах для вирощування кукурудзи виникає через складність і трудомісткість таких завдань, як сівба, прополювання, збирання врожаю та моніторинг. Роботизовані системи в цих питаннях забезпечують точність і ефективність прийняття рішень на основі зібраних в ході моніторингу даних, вирішуючи проблеми управління ресурсами, здоров'я врожаю та продуктивності відповідно до вимог сучасного польового кормовиробництва [33].

Сільськогосподарські роботи у вирощуванні кукурудзи еволюціонували від базової механізації до точного землеробства, інтеграції GPS, датчиків і штучного інтелекту для

керування даними. Спеціалізовані роботи з'явилися в 1990-х та 2000-х роках для точного посіву та цільового застосування гербіциду у вирощуванні кукурудзи. Останні інновації зосереджені на автономних системах збору врожаю, зменшення відходів та підвищення ефективності. Нині у вирощуванні кукурудзи використовуються різні види роботів і дрони:

- 1) роботи-садівники: ці роботи призначені для точної сівби насіння, оптимального розміщення його на оптимальній глибині, контролю в процесі сівби, забезпечення рівномірності і максимізації показників проростання;
- 2) роботи для прополювання: це автономні або напівавтономні роботи, оснащені датчиками та алгоритмами ШІ, вони виявляють і видаляють бур'яни, не пошкоджуючи рослини кукурудзи, зменшують потребу в гербіцидах і ручній праці;
- 3) роботизовані системи для збору врожаю: ці роботи спеціалізуються на ефективному та точному збиранні зрілих качанів кукурудзи, забезпечують мінімізацію втрат і підвищення загальної продуктивності;
- 4) моніторингові дрони: дрони, оснащені різними датчиками (наприклад, мультиспектральні, теплові) і камерами використовується для моніторингу посівів у реальному часі, виявлення шкідників, виявлення хвороб та оцінки загального стану кормової культури, а також і для обприскування посівів[33].

Одним із всесвітньо відомих виробників, що нині пропонує роботизовані комплекси для автоматизації процесу вирощування кукурудзи, є компанія Deere, що використовує автоматичне рульове

управління на своїх тракторах ще з 1990-х років. У минулому році компанія Deere оголосила, що її трактори 2025 року матимуть автономні можливості, забезпечуючи повністю автономну систему виробництва кукурудзи та сої до кінця десятиліття [34].

Перспективи розвитку роботизації в українському кормовиробництві наступні:

- *Підвищення ефективності:* Впровадження роботизованих систем дозволяє зменшити витрати на ручну працю, підвищити точність внесення добрив і засобів захисту рослин, а також оптимізувати логістику кормів.
- *Доступність для малих та середніх господарств:* Завдяки програмам лізингу та державної підтримки, роботизовані технології стають доступнішими для фермерів різного масштабу.
- *Інтеграція з цифровими платформами:* Сервіси, такі як FarmFleet, дозволяють фермерам замовляти послуги агродронів та інших роботизованих систем онлайн, що спрощує доступ до сучасних технологій.
- *Освіта та підготовка кадрів:* Компанії, такі як DroneUA, активно співпрацюють з навчальними закладами для підготовки фахівців у сфері роботизованого сільського господарства, що сприяє поширенню технологій.

Роботизація кормовиробництва в Україні активно розвивається, і впровадження сучасних технологій дозволяє фермерам підвищувати ефективність виробництва, зменшувати витрати та забезпечувати стабільне постачання якісних кормів, основним наслідком

роботизації буде підвищення економічної та екологічної ефективності галузі кормовиробництва.

РОЗДІЛ III

ОБГРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ ІНВЕСТИЦІЙ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В ПОЛЬОВОМУ КОРМОВИРОБНИЦТВІ НА ПРИКЛАДІ ГОСПОДАРСТВА

Українське сільське господарство та польове кормовиробництво зокрема також не стоять осторонь загальносвітових тенденцій щодо роботизації основних агротехнологічних процесів.

Згідно результатів дослідницького проекту «Цифрове Агро України», в якому взяло участь 50 відомих агропідприємств і 2 800 анонімних респондентів з усіх куточків України, в сільському господарстві України активно використовуються інноваційні технології та роботизовані системи. Ще 3–4 роки тому за оцінками

ринку лише 25 % фермерів застосовували у вирощуванні агрокультур технологію навігації, нині ця цифра зросла в середньому до 60%. Фермери стали частіше використовувати в господарствах автопілоти чи курсовказівники. З 50 опитаних компаній автопілоти застосовують 80 % підприємств. Також популярні такі технології, як посекційне відключення форсунок за проведення захисних обприскувань (78 %) та внесення ЗЗР дронами (59 %) [35].

Серед різних роботизованих систем першими в українському польовому кормовиробництві почали впроваджуватися саме безпілотні літальні апарати. Про масштаби та ефективність їх використання на полях України свідчать дані аграрного саміту «Міністерство змін: R&D and digital farming» (MinChange):

- ефект від використання агродронів становить приблизно 4 млрд. гривень;
- площа оброблених дронами - обприскувачами полів за останні три роки становить понад 2,5 млн гектарів;
- кількість урожаю, отриманого завдяки захисту полів агродронами, від 400 тис. тонн (3,6 млрд. гривень);
- економія води близько 360 тис. тонн (100 млн гривень);
- скорочення викидів вуглецю до 35 тис. тонн;
- економія палива понад 4 млн літрів (160 млн гривень) [36].

Для України досить суттєвими є економічні та екологічні вигоди від використання агродронів. Водночас, актуальність застосування цієї та іншої робототехніки в польовому кормовиробництві ще більше зростатиме у період післявоєнної відбудови країни, що пов'язано з

очікуваним впливом цілого ряду чинників, які деталізовані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Чинники інвестування в роботизовані системи у польовому кормовиробництві України у післявоєнний період

<i>Група</i>	<i>Чинник</i>	<i>Характеристика впливу</i>
<i>Політико-правові чинники</i>	євроінтеграційні процеси	вимоги щодо обмеження викидів CO ₂
	державне кредитування аграріїв	стимулювання інвестицій в галузі
	місцеві наслідки війни (заміновані поля)	потребує додаткових заходів безпеки, моніторингу полів, обмежує роботу традиційної техніки

Продовження таблиці 3.1

	наявність значної кількості воєнної техніки, в т.ч. роботизованих систем	можливості використання воєнної техніки у польовому кормовиробництві
<i>Економічні чинники</i>	дефіцит палива та його висока вартість	обмежує використання традиційної техніки
	зростання вартості мінеральних добрив, ЗЗР	потреба в точному землеробстві, в оптимізації кількості внесених добрив та ЗЗР
	зростання обсягу нарахувань на заробітну плату	обмежує використання традиційної пілотованої сільгосптехніки
<i>Екологічні чинники</i>	порушений рельєф земель	обмежує використання традиційної техніки
	порушений хімічний склад ґрунтів	зростає потреба в моніторингу ґрунтів
	зниження родючості ґрунтів	зростає потреба у внесенні добрив
	ризик дефіциту	зростає потреба в

	вологи	моніторингу вологості ґрунтів та точному внесенню води
<i>Соціально-демографічні</i>	дефіцит трудових ресурсів, особливо чоловіків	обмежує використання традиційної пілотованої техніки
	присутність на ринку праці колишніх військових, часто з обмеженими фізичними можливостями	можливість залучення їх до трудової діяльності з управління роботизованими системами
<i>Науково-технологічні</i>	широкий асортимент роботизованих систем на ринку	дає можливість обрати різні варіанти роботизації агротехнологічних процесів

Джерело: складено авторами

Так, в умовах післявоєнного періоду для значної території України досить гостро стоятиме проблема повернення у використання земель, що були заміновані. Сапери говорять про 5-7 років, які необхідні будуть для повного розмінування територій [37].

Навіть після процесу розмінування такі території ще певний час будуть характеризуватися підвищеними ризиками підриву сільськогосподарської техніки. Тому з точки зору створення безпечних умов праці для персоналу при вирощуванні кормових культур оптимальним буде використання роботизованих тракторів та комбайнів.

На територіях, які постраждали від бойових дій, обстрілів та мінувань часто може спостерігатися порушення рельєфу, відсутність необхідних під'їзних шляхів для сільськогосподарської техніки. Такі поля можуть успішно оброблятися за допомогою БПЛА.

Також у післявоєнний період продовжуватиме спостерігатися дефіцит трудових ресурсів, особливо чоловіків, що традиційно виконують більшість операцій у польовому кормовиробництві. Основною причиною такої проблеми є велика кількість загиблих та поранених військових ЗСУ. У результаті оптимальним виходом із ситуації є використання роботизованих систем з метою мінімізації потреби в кадрах.

Водночас, для керування сільськогосподарськими роботами можуть активно долучатися колишні військові, в т.ч. з обмеженими фізичними можливостями. Це матиме і економічний ефект для аграрних підприємств (зменшені витрати нарахувань на заробітну плату осіб з обмеженими фізичними можливостями; скорочення часу навчання персоналу за умови наявності навичок керування дронами під час служби у ЗСУ), і соціальний ефект (працевлаштування та соціалізація колишніх військових з інвалідністю).

У поствоєнний період ще одним чинником, що сприятиме використанню роботизованих систем у польовому кормовиробництві, є наявність військової техніки, яка після підписання миру може використовуватися в сільському господарстві.

Важливим чинником стимулювання інвестицій у робототехніку в аграрній сфері є також державна підтримка. Ще з 1 березня 2017 року в Україні стимулюючий вплив має постанова КМУ №130, що передбачає спрямування бюджетних коштів на забезпечення сільськогосподарських товаровиробників вітчизняною технікою й обладнанням шляхом часткової компенсації їхньої вартості. Окремі українські виробники вже пропонують роботизовано

сільськогосподарську техніку. Наприклад, до Переліку техніки, вартість придбання якої частково компенсується державою [38], входить продукція АТ «Ельворті». Серед неї є вже перше роботизоване обладнання, зокрема причіпний обприскувач TETIS, який дає можливість забезпечувати точне землеробство, зокрема при вирощуванні просапних кормових культур. TETIS має ряд переваг перед іншими обприскувачами: контроль на всіх етапах, пофоруночне включення, робота у важких умовах, рівномірна обробка рослин, автоматична стабілізація штанги, штанга виготовлена з легкої високоміцної австрійської сталі, збільшена продуктивність до 35 га/год. Компанія ELVORTI пропонує три види комплектації обприскувача TETIS:

- комплектацію Standart з комп'ютером BRAVO AOOS LT;
- комплектацію Premium з комп'ютером BRAVO 4Q0S, з підтримкою технології Seletron;
- комплектацію ISOBUS, що потребує наявності комп'ютера на тракторі та блоку контролера завдань (Task Controller) [39].

Роботизованими до певної міри є перші дві комплектації обприскувача. Вони можуть ефективно використовуватися при вирощуванні просапних кормових культур.

Стимулюючий вплив на інвестиції в роботизовані системи польового кормовиробництва мають також інші державні ініціативи, наприклад, програма «Доступні кредити 5-7-9». Про зацікавленість аграрних підприємств у такій підтримці з боку держави свідчить уже те, що лише за січень 2025 року 244 агрогосподарства отримали 724,6 млн гривень за програмою «Доступні кредити 5-7-9» [40].

Отже, у поствоєнному періоді актуальність використання роботизованих систем в польовому кормовиробництві лише зростатиме. Найбільші перспективи їхнього застосування пов'язані з вирощуванням просапних культур. У цьому аспекті зазначимо, що основною просапною кормовою культурою українських сільгоспвиробників є кукурудза. У 2024 році під цією культурою було засіяно найбільшу частку посівної площі (за виключенням земель під багаторічними кормовими культурами) (рис. 3.1).

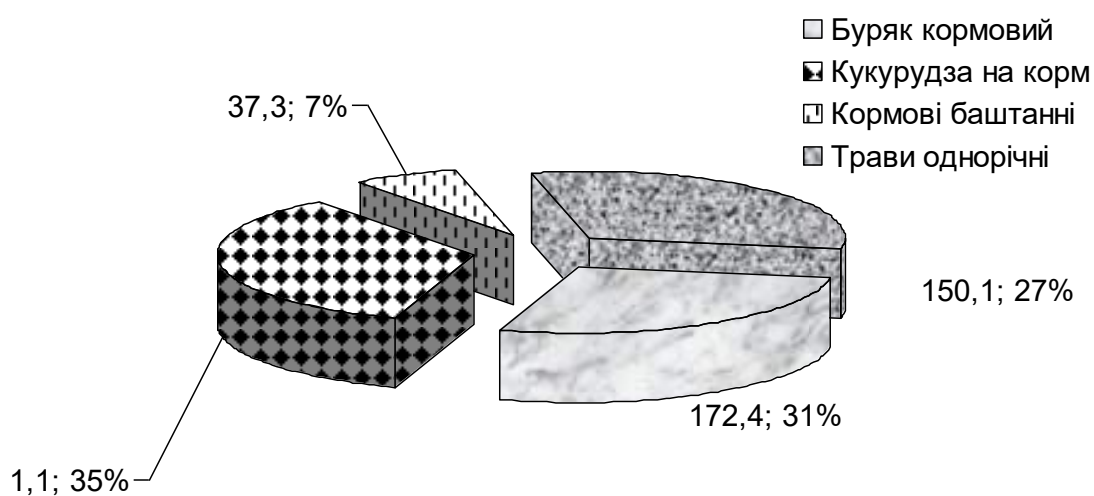


Рис. 3.1. Структура посівної площі під кормовими культурами (за виключенням багаторічних трав) в Україні у 2024 р., тис. га

Джерело: побудовано авторами з використанням даних [40].

Так, якщо не враховувати багаторічні кормові трави, то посівні площі під кормовою кукурудзою в 2024 році займали 35% всієї кормової площі по Україні. Серед усіх кормових культур валовий збір кукурудзи був найбільшим (рис. 3.2).

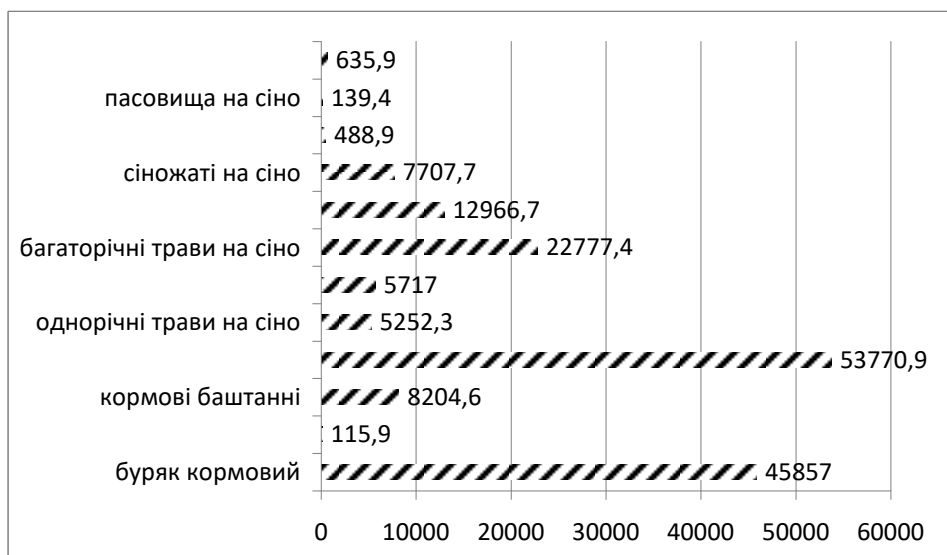


Рис. 3.2. Валовий збір кормових культур в Україні в 2024 р., тис. ц

Джерело: побудовано авторами з використанням даних [40].

При цьому більшість посівної площі і, відповідно, валового збору кормової кукурудзи приходить не на господарства населення, а на сільськогосподарські підприємства (рис. 3.3).

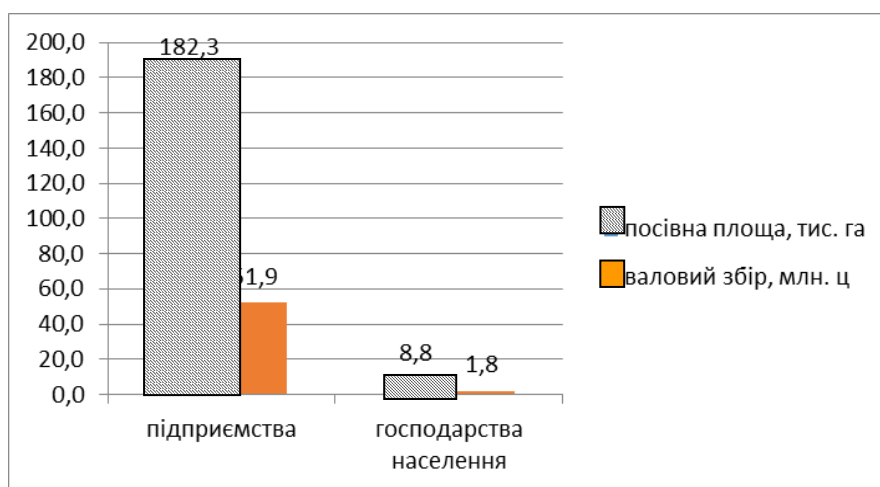


Рис. 3.3. Структура вирощування кормової кукурудзи за групами господарств у 2024 р.

Джерело: побудовано авторами з використанням даних [41].

Саме підприємства мають змогу максимально автоматизувати вирощування кормових культур, зокрема й за рахунок впровадження у сільськогосподарських процес сучасних роботизованих систем, які

найбільш вигідними є саме при вирощуванні просапних культур, якою є й кормова кукурудза.

Більшість агротехнологічних процесів у вирощуванні кукурудзи, в т.ч. на корм, можуть бути оптимізовані за рахунок використання сільськогосподарської робототехніки. Роботизувати усі агротехнічні процеси одразу буде занадто витратно. Тому для українських аграріїв у поствоєнний період доцільно рекомендувати поступово впроваджувати роботизовані системи. Починати варто з тих операцій, які забезпечать найбільшу економію за рахунок точного землеробства: точне внесення пестицидів, гербіцидів, удобрення, зрошення. При цьому можливе використання різних видів роботизованих систем: літальних, наземних, або ж їх комбінацій та в різних операціях.

Розглянемо спочатку плановий обсяг інвестицій при використанні безпілотних літальних апаратів. Перш за все, слід визначитися з необхідною кількістю дронів для обробки посівів кукурудзи на корм. Ця потреба залежить від обраної моделі агрокоптера, адже вони відрізняються продуктивністю. Для прикладу розглянемо варіанти вибору агродрона лінійки AGRAS (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Порівняльна таблиця вартості та продуктивності моделей агрокоптерів лінійки AGRAS [42]

Модель агрокоптера-обприскувача DJI	AGRAS T10	AGRAS T30
Вартість (у комплекті з зарядним пристроєм та трьома інтелектуальними батареями), грн	323 470	597 500
Об'єм баку, л	10	30

Продуктивність (за 1 годину при нормі виливу 7 л/га), га	4	12
--	---	----

Виходячи з продуктивності агродронів, для сільськогосподарських підприємств з площами посівів кукурудзи до 300 га достатньо буде придбати менш потужний агрокоптер (наприклад, AGRAS T10). Для підприємств з площами посівів від 300 до 1000 га достатнім буде придбання одного безпілотної вищої продуктивності, наприклад AGRAS T30.

Проведемо розрахунок інвестиційних витрат на впровадження роботи агродрона для сільгосп підприємств в розрахунку на 1000 га посівів кукурудзи на корм (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Інвестиційні витрати сільгосп підприємства при впровадженні літальної роботизованої техніки у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Стаття витрат	тис. грн.
вартість агродрона	600
вартість генератора	100
вартість додаткового обладнання (змішувальний вузол, бочка, освітлення)	20
вартість автомобіля для транспортування дрону	520
навчання оператора дрону	8
Разом	1248

Джерело: складено авторами з використанням даних [42]

Багато вітчизняних підприємств мають у своєму розпорядженні автомобілі, які можуть використовуватися для транспортування агродронів безпосередньо до місця роботи. Тому реальні інвестиційні витрати можуть бути значно меншими (на 520 тис. грн. менші).

Крім того, у поствоєнному періоді можлива й економія на навчанні операторів дрону, якщо працевлаштовувати військовослужбовців, що під час війни працювали з дронами. Для таких операторів достатньо буде пройти короткий інструктаж для ознайомлення з роботою конкретної моделі дрону.

Для оцінки ефективності інвестування в агрокоптери слід враховувати також поточні витрати застосування агродронів. Орієнтовні розрахунки представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.4

**Поточні витрати сільгосп підприємства при впровадженні
літальної роботизованої техніки у процес вирощування
кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)**

Стаття витрат	тис. грн. (в розрахунку на 1 рік)
ремонт і обслуговування коптера	100
ремонт і обслуговування генератора	30
оплата праці оператора коптера (15 тис. грн /міс)	180
відрахування на зарплату оператора коптера (23%)	41
оплата праці помічника оператора коптера (8 тис. грн./міс)	96
відрахування на зарплату помічника оператора коптера (23%)	22
витрати на бензин (робота генератора) 350 мл/га	20
витрати дизельного палива 0,5л/га	28

Всього	517
--------	-----

Джерело: складено авторами з використанням даних [42]

Для оцінки ефективності переходу українських агропідприємств на використання дронів потрібно врахувати можливу економію як показник додаткового прибутку (табл. 3.4).

Додаткову вигоду від впровадження роботизованих літальних комплексів у вирощуванні кукурудзи формує очікуване зростання врожайності культури при точному внесенні добрив та засобів захисту рослин. За даними досліджень таке зростання може досягати 10% [43].

Таблиця 3.5

Плановий обсяг економії сільгосп підприємства при впровадженні літальної роботизованої техніки у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Витрати / економія	Норма витрат	В розрахунку на 1000 га, тис. грн.	Середній % економії	Сума економії, тис. грн.
Витрати на добрива (нітроамофоска)	720 кг/га	81360	15	12204
Витрати на засоби захисту рослин	3,2 кг/га	1488	15	223
Втрата посівів від витоптування	-	-	3	195
Всього	-	-	-	12622

В середньому з урахуванням ризиків приймемо зростання на 5%. Розрахунок перспектив збільшення доходу підприємств від зростання врожайності кукурудзи на корм проведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Розрахунок доходу від зростання врожайності кукурудзи на корм при впровадженні літальної роботизованої техніки у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Показник	Факт, 2024 р.	План
Врожайність кукурудзи на корм в сільгосп підприємствах, ц/га	279,9 *	293,9
Валовий збір з 1000 га, тис. т	27,99	29,39
Приріст обсягу реалізації, тис. т.		1,4
Ринкова ціна 1 т фуражної кукурудзи, грн.		9 685
Приріст доходу від реалізації, тис. грн.		13559

* Джерело [44]

Оцінка загальної ефективності від використання літальної роботизованої техніки у процесі вирощування кукурудзи на корм проведена в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Економічна ефективність впровадження літальної роботизованої техніки у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Показник	Сума, тис. грн.
Інвестиційні витрати	1248
Поточні витрати на рік	517
Економія витрат на добрива, ЗЗС та втрат від виотптування посівів	12622
Приріст доходу від реалізації в результаті росту врожайності	13559
Економічний ефект	24416

Дані табл. 3.6 свідчать про високу ефективність інвестицій у літальну роботизовану техніку, адже дрони окупляться ще в першому сезоні їхнього використання.

Також сільськогосподарські підприємства можуть використовувати при вирощуванні кукурудзи на корм наземну роботизовану техніку, наприклад, роботизовані причіпні обприскувачі TETIS вітчизняної компанії ELVORTI.

Модель TETIS 24, обладнана комп'ютером Bravo 400 S LT, має продуктивність 14,4 – 36 га/ год. Тому для підприємства з площею посівів кукурудзи до 1000 га достатньо одного такого обприскувача.

Проведемо розрахунок інвестиційних витрат на впровадження роботи обприскувача TETIS 24 для сільгосп підприємств в розрахунок на 1000 га посівів кукурудзи на корм (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Інвестиційні витрати сільгосп підприємства при впровадженні обприскувача TETIS 24 у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Стаття витрат	Тис. грн.
вартість обприскувача	1 633
вартість трактора МТЗ	700
Разом	2333

Джерело: складено авторами з використанням даних [42], [45].

Більшість вітчизняних підприємств мають у своєму розпорядженні трактори МТЗ, що можуть бути використані для переміщення роботизованого причіпного обприскувача. Тому реальні

інвестиційні витрати можуть бути значно меншими (на 700 тис. грн. менші).

Для оцінки ефективності інвестування в роботизовано наземні обприскувачі слід враховувати також поточні витрати при їхньому застосуванні. Їх орієнтовний обсяг розраховано в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Поточні витрати сільгосп підприємства при впровадженні обприскувача TETIS 24 у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Стаття витрат	Тис. грн. (в розрахунку на 1 рік)
ремонт обприскувача і допоміжної техніки	100
оплата праці тракториста (35 тис. грн /міс)	420
відрахування на зарплату (23%)	97
витрати дизельного палива 1,5л/га	84
Всього	701

Для оцінки ефективності переходу українських агропідприємств на використання обприскувача TETIS 24 потрібно врахувати можливу економію як показник додаткового прибутку (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Плановий обсяг економії сільгосп підприємства при впровадженні обприскувача TETIS 24 у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Витрати / економія	Норма витрат	В розрахунку на 1000 га, тис. грн.	Середній % економії	Сума економії, тис. грн.
Витрати на	720	81360	10	8136

добрива (нітроамофоска)	кг/га			
Витрати на засоби захисту рослин	3,2 кг/га	1488	10	149
Всього	-	-	-	8285

Додаткову вигоду від впровадження обприскувача TETIS 24 у процес вирощування кукурудзи формує очікуване зростання врожайності культури при точному внесенні добрив та засобів захисту рослин. В середньому з урахуванням ризиків приймемо зростання на 5%. Приріст доходу від реалізації складе орієнтовно 13559 тис. грн. на 1000 га посівів (розрахунок див. вище у табл. 3.5).

Оцінка загальної ефективності від використання роботизованого обприскувача TETIS 24 у процесі вирощування кукурудзи на корм проведена в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Економічна ефективність впровадження обприскувача TETIS 24 у процес вирощування кукурудзи на корм (з розрахунку на 100 га)

Показник	Сума, тис. грн.
Інвестиційні витрати	2333
Поточні витрати на рік	701
Економія витрат на добрива, ЗЗС	8285
Приріст доходу від реалізації в результаті росту врожайності	13559
Економічний ефект	18810

Дані табл. 3.10 свідчать про високу ефективність інвестицій в іноземну роботизовану техніку, адже обприскувач TETIS 24 окупиться ще в першому сезоні використання.

Якщо закуповувати самохідні роботизовані обприскувачі іноземного виробництва, то їхня вартість буде значно вищою (від \$ 230 тис. до \$ 250 тис). Тому для невеликих сільгосп підприємств все ж таки перспективним є використання вітчизняної техніки – роботизованих причіпних обприскувачів.

При цьому є можливість значно зекономити інвестиційні витрати за рахунок механізму державної компенсації таких витрат. Так, постанова Кабінету Міністрів України від 1 березня 2017 року №130 спрямувала бюджетні кошти на забезпечення сільськогосподарських товаровиробників вітчизняною технікою й обладнанням для агропромислового комплексу шляхом часткової компенсації вартості техніки й обладнання. Ця форма державної підтримки галузі набула вагомих обсягів і досягла у 2021 році рівня 1 млрд гривень. Нині нею охоплена більша частка продукції вітчизняних підприємств і становить вона 16 тис. – 806 найменувань техніки й обладнання. Основні підприємства галузі успішно закріпились на внутрішньому ринку і багато з них знайшли себе на зовнішніх ринках. Найкращі з них імпортують до 30% продукції [46].

В рамках цієї програми підтримки виробники техніки мають високий попит на продукцію, а сільгосп підприємства отримують суттєву економію інвестиційних витрат. Наприклад, при купівлі обприскувача TETIS 24 за ціною 1633,5 тис. грн. державна компенсація буде складати 209,756 тис. грн. [45].

В цілому, проведені розрахунки та результати наукових досліджень свідчать, що не зважаючи на те, що агродрони мають вищий рівень ефективності обробітку, вони обійдуться аграріям куди дешевше ніж наземні самохідні обприскувачі. Дрон з усім необхідним для нього обладнанням буде коштувати близько \$50 тис., коли ж наземна техніка для обприскування в середньому коштує від \$ 230 тис. до \$ 250 тис. При необхідності агродрони можна використовувати не тільки для обробки чи поливу полів, а й для інших цілей. Наприклад, для відстеження подій на полі – охорони посівів. Завдяки таким спостереженням можна завжди бути в курсі стану врожаю, знаходити та знешкоджувати заражені ділянки. Наземні ж види моніторингу не є такими ефективними та не досягають всієї площі полів. Разом з цим, коптери мають хорошу маневреність та легкі в керуванні. Вони працюють на спеціальному програмному забезпеченні, тому пілоту необхідно тільки внести координати, зазначити перешкоди, висоту польоту та інші характеристики. Ручне ж керування дроном проводиться лише в окремих випадках [37].

Таким чином, проведені розрахунки засвідчили доцільність використання в процесі вирощування кукурудзи на корм сучасних роботизованих систем: літальних та наземних. Їхнє застосування створює не лише економічні вигоди для підприємств, але й має екологічні позитивні наслідки, зменшуючи негативний вплив на довкілля. Більше того, окремі такі проекти у поствоєнний період матимуть і позитивні соціальні наслідки (зменшення ризику підризу техніки з людьми на замінованих полях, працевлаштування колишніх військовослужбовців тощо).

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Дослідження наукових джерел свідчить про те, що одним з ефективних шляхів оптимізації польового кормовиробництва на сучасному етапі розвитку галузі є його автоматизація та роботизація. Роботизації потребують, перш за все, ті агротехнічні процеси, які пов'язані з високими непродуктивними витратами та негативним впливом як на посіви сільськогосподарських культур, так і на екологію в цілому. Тому в першу чергу роботизованими повинні бути операції обприскування посівів кормових культур. Так, при

використанні традиційної технології обприскування надзвичайно високими є витрати мінеральних добрив, засобів захисту рослин. Їхня вартість нині дуже висока, тому сільгосп підприємства втрачають значну суму коштів на неефективне удобрення та обробку посівів. Крім того, проведення таких агротехнічних процесів з використанням традиційної техніки пов'язане з високими витратами палива, витоптуванням посівів тощо. Натомість застосування роботизованих систем дає можливість значно скоротити негативний вплив і практично мінімізувати непродуктивні витрати матеріальних ресурсів. Тому перед сучасними сільгосп підприємствами стоїть завдання якнайшвидшого впровадження робототехніки у процес вирощування польових кормових культур.

Вивчення світового досвіду показало, що в розвинених державах вже тривалий час використовуються різні роботизовані комплекси, як літальні, так і наземні. Ринок роботизованих агросистем постійно зростає. Цьому сприяє як науково-технічний прогрес, так і державне стимулювання. Згідно прогнозів ріст на цьому ринку буде лише прискорюватися. Найбільш перспективними вважаються безпілотні літальні апарати аграрного спрямування, які використовуються як для моніторингу, так і для обприскувань. Водночас, нині вже розроблені наземні роботизовані системи, що дозволяють автоматизувати практично всі операції в процесі вирощування кормових культур.

Тому для українських аграрних підприємств у пост воєнному періоді також актуальним завданням стає впровадження роботизованих систем у польовому кормовиробництві. Проведені розрахунки свідчать, що економічний ефект впровадження

обприскувача у процес вирощування з розрахунку на 100 га становить 18 810 тис. грн., інвестиційні витрати – 2 333 тис. грн., поточні витрати на рік – 701 тис. грн., економія витрат на добрива, ЗЗР, - 8 285 тис. грн., приріст від реалізації в результаті росту врожайності - 13 559 тис. гривень. Розрахунки свідчать про високу ефективність інвестицій в роботизовану техніку, окупність відбувається першому сезоні використання, що свідчить про доцільність використання в процесі вирощування кукурудзи на корм сучасних роботизованих систем: літальних та наземних. Їхнє застосування створює не лише економічні вигоди для підприємств, але й має екологічні позитивні наслідки, зменшуючи негативний вплив на довкілля. Більше того, окремі такі проекти у поствоєнний період матимуть і позитивні соціальні наслідки (зменшення ризику підриву техніки з людьми на замінованих полях, працевлаштування колишніх військовослужбовців тощо).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ahmadi A., Halstead M., McCool C. Towards Autonomous Visual Navigation in Arable Fields. IROS. Computer Science. Robotics. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.11936>
2. Ball D., Heath S., Wiles J., Wyeth G., Corke P., Milford M. OpenRatSLAM: an open source brain-based SLAM system. Autonomous Robots. 2013. Vol. 34, no. 3. P. 149–176. URL: <https://doi.org/10.1007/s10514-012-9317-9>.
3. Fedorov D. E. Modern trends in developing robotic systems in

agro-industrial complex. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 949, no. 1. P. 012016. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012016>.

4. Glauber J. Ukraine and global agricultural markets two years later. IFPRI, 2024 URL: <https://www.ifpri.org/blog/ukraine-and-global-agricultural-markets-two-years-later/>.

5. Hahnloser P. Федеральна ініціатива спрямована на дослідження сільськогосподарських роботів. The National Science Foundation (NSF) and the U.S. Department of Agriculture's National Institute of Food and Agriculture (USDA NIFA. 2024. URL: <https://govmarketnews.com/federal-initiative-seeks-research-into-agricultural-robots/>

6. Innovation, Productivity and Sustainability in Food and Agriculture. OECD, 2019. <https://doi.org/10.1787/c9c4ec1d-en>.

7. Jin T., Han X. Robotic arms in precision agriculture: A comprehensive review of the technologies, applications, challenges, and future prospects. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 221. P. 108938. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108938>

8. Liu D., Du M., Li X., Hu Y., Dai L. The USTC-NELSLIP Systems for Simultaneous Speech Translation Task at IWSLT 2021. IROS. Computer Science. Robotics. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.00279>

9. Lischeid G., Webber H., Sommer M., et al. Machine learning in crop yield modelling: A powerful tool, but no surrogate for science. Agricultural and Forest Meteorology. 2022. Vol. 312. P. 108698. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108698>

10. Monitoring Pasture Quality and Quantity Using Field Robotics. Clemson University. NIFA Reporting Portal. URL: <https://portal.nifa.usda.gov/web/crisprojectpages/1023320-monitoring-pasture-quality-and-quantity-using-field-robotics.html>

11. Moshayedi A.J., Sohail Khan A., Yang Y., Hu J., Kolahdooz A. Robots in Agriculture: Revolutionizing Farming Practices. EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics. 2024. Vol. 3. URL: <https://doi.org/10.4108/airo.5855>.

12. NaveedH., IqbalJ., ArshadS. Autonomous Agriculture Robot for Smart Farming. IROS.Computer Science. Robotics. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.11936>

13. Paustian M., Theuvsen L. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. Precision Agriculture. 2016. Vol. 18, no. 5. P. 701–716. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9482-5>.

14. PengD., VinC., WangJ. Swarm robots in mechanized agricultural operations: A review about challenges for research. Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 193. P. 106608. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106608>

15. Petruk I. Які тенденції сільськогосподарської робототехніки варто впровадити та чому. // Infopulse. Part of Tietoevry create.- 2024.- URL: <https://www.infopulse.com/blog/agricultural-robotics-drivers-trends>

16. Priorities for agricultural support in Ukraine. The World Bank report. 2024. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099062524074615884/pdf/P1801981319afe091b8b71b33b7a901d4e.pdf>

17. Reina G., Milella A., Rouveure R., et al. Ambient awareness for

agricultural robotic vehicles / G. Reina et al. Biosystems Engineering. 2016. Vol. 146. P. 114–132. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.010>

18. Spagnuolo M., Todde G., Caria M., Furnitt, N., Schillaci G., Failla S. Agricultural Robotics: A Technical Review Addressing Challenges in Sustainable Crop Production. Robotics. 2025. Vol. 14, no. 2. P. 9. <https://doi.org/10.3390/robotics14020009>.

19. The State of Food and Agriculture 2023. Revealing the true cost of food to transform agrifood systems. FAO Knowledge Repository. URL: <https://doi.org/10.4060/cc7724en>.

20. Ummadi V., Gundlapalle A., Shaik A., Rafi S.M. Autonomous Agriculture Robot for Smart Farming. 2022. IROS. Computer Science. Robotics. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.01708>

21. Баранов С.С. Класифікація робототехнічних платформ та готових технічних рішень для навчання учнів основ робототехніки. Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету». 2021. №11. С.6.

22. Зарубний І., Сотник С. Ефективність використання роботизованих систем у виробництві. Матеріали Всеукраїнської конференції «Комп'ютерно-інтегровані технології, автоматизація та робототехніка». Харків, 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/380210620_Efektivnist_vikoristanna_robotizovanih_sistem_u_virobnictvi

23. Іноземцева Ю. Роботизовані агросистеми. RobotikAgroSystems. 2023. URL: <https://roboticagrosystems.com/blog/>

24. Новицький Ю.А., Новицький А.В., Ружи́ло З.В.

Класифікація робочих органів засобів для приготування і роздавання кормів. Київ : НУБП України 2023. 582-584

25. Новіцький А.В. Дослідження показників експлуатаційної надійності засобів для приготування і роздавання кормів. НУБП, TechnicalScience. 2024. URL: <https://dglip.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8cf0e829-8cfa-49bc-af80-296a2cce2713/content>

26. Осіпов М. Ю., Рудь А. В. Інноваційні підходи до управління агрономічними процесами з використанням робототехніки та штучного інтелекту. Технічні науки. 2024. Випуск 4 (45). С. 81. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4.11>

27. Поліщук М. М. Робототехнічні системи та комплекси: мобільні роботи довільної орієнтації: підруч. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С.279.

28. Роль роботів у сільському господарстві. AGRITEKTURE. 2024. URL: <https://www.agritekture.com/blog/exploring-the-future-of-agriculture-a-deep-dive-into-robots>

29. Струтинський В.Б., Гуржій А.М. Наземні роботизовані комплекси: Монографія. Житомир: ПП «Рута», 2023. С.5

30. Топ-5 роботизованих систем в сільському господарстві. KAS 32 Technology.com.URL: https://kas32.com/ua/post/view/252?srsltid=AfmBOopAh_n-z86SzR2ukGQeKCd_DD3rZ6007m-rEdC-J3_rI7RqJ3bF

31. Хворов П.Г. Аналіз сучасних роботів та роботизованих систем сільськогосподарського призначення. Міжнародний форум. Харків: ХНУСГ ім. П. Василенка, 2021

32. Юрчук Н.П., Кіпоренко С.С. Цифровізація сільського господарства: виклики і можливості для фермерських господарств. *Agrosvit*. 2024. № 19. С. 53–62. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.19.53>.

33. Поліщук М. М. Робототехнічні системи та комплекси: мобільні роботи довільної орієнтації: підруч. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С.279.

33. Moshayedi A. J., Khan A. S., Geng K., Hu J., Kolahdooz A. Advancing Agricultural Practices: Analyzing the Role of Robotics in Corn Farming. URL: https://www.ije.ir/article_203182.html

34. Driving automation on the farm: Self-driving tractors look to fill agriculture's labor shortage. URL: <https://www.agriculturediver.com/news/autonomous-tractors-driverless-vehicles-deere-agtonomy-ai-farming-labor/730007/>

35. «Цифрове Агро України»: як застосовують новітні технології у сільському господарстві. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya-inshe/tsyfrove-ahro-ukrayiny-yak-zastosovuyut-novitni-tekhnolohiyi>

36. Агродрони на варті врожаю. URL: <https://ifarming.ua/monitoring/agrodrony-na-varti-vrozhayu>

37. Дрон обприскувач проти мін: переваги для фермерів. URL: <https://rubryka.com/2022/06/24/dron-obpryskuvach/>

38. Оновлений перелік вітчизняної техніки та обладнання для агропромислового комплексу, вартість яких частково компенсується за рахунок бюджетних коштів, додаток до наказу Міністерства

економіки України від 8 квітня 2024 року № 8677. URL:
<https://me.gov.ua/view/82094ff5-4d13-413a-971b-43ac1dc8af26>

39. Український бренд ELVORTI на БАТА-АГРО-2023. URL:
https://elvorti.com/news/ukrayinskyy-brend-elvorti-na-bata-agro-2023/?WEB_FORM_ID=5&RESULT_ID=107503&formresult=addok&lang=ua&fbclid=IwAR2rzSAISZHclgzsVazoqt4R0gBcOTcyT7cNm0tVFvdHdtE83waVF0kTSuY&%2Fnews%2Fukrayinskyy-brend-elvorti-na-bata-agro-2023%2F%3Flang=ua

40. Прес-служба Апарату Верховної Ради України. URL:
https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/258257.html

41. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами та по регіонах. URL:
https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/sg/pvzu/arch_pvXu_reg.htm

42. Клочко А. Математика обприскування агродронами. URL:
<https://kurkul.com/spetsproekty/1173-matematika-obpriskuvannya-agrodronami--vse-pro-vartist-ta-rentabelnist-vikoristannya>

43. Точне землеробство це те, що збільшує врожайність на 30%. URL:
<https://www.dafarm.com.ua/tochne-zemlerobstvo-v-ukraini-vid-dafarm/#agriculture>

44. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами та по регіонах. URL:
https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/sg/pvzu/arch_pvXu_reg.htm

45. TETIS 24, ISOBUS READDY SELETRON. URL:
https://elvortishop.com.ua/ua/catalog/opryskivatel/tetis_24_opsh_3024_opryskivatel_/?srsltid=AfmBOoq52Wi8IWmDAyiZuajtWRPDazYwGM0tQNYNHS-0J5VUD1Wj0qPg

46. Новини НААН. URL:
http://www.naas.gov.ua/newsall/newsnaan/7438/?PAGEN_2=19

Національна академія аграрних наук України
ННЦ «Інститут аграрної економіки»
Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН
Наукове видання

Захарчук Олександр Васильович

Кісіль Микола Іванович

Спринчук Наталія Анатоліївна та ін.

**Особливості інвестування
та впровадження роботизованих систем
в польовому кормовиробництві
у період післявоєнної відбудови**

Гарнітура Times New Roman. Кегль 11,7
Формат 60*80/16 Папір офсетний фінський Lumiset 80 гр/м²
Друк здійснено на лазерному апараті Konica-Minolta.
Фіз. друк. арк.. 4,2. Умовн. друк. арк.. 4,39 Обл. видав. арк.. 4,21.

Виготовлено у ДРУК – СЕРВІС, м. Вінниця, вул. 600-річчя, 25
e-mail: AlenkaV@meta.ua.
Сайт : <http://druk.vn.ua>
тел. (067)574-5254