

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ**

ФАКУЛЬТЕТ ЗАХИСТУ РОСЛИН, БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету

Завідувач кафедри

**захисту рослин, біотехнологій та
екології**

**ентомології, інтегрованого захисту
та карантину рослин**

_____ **Юлія КОЛОМІЄЦЬ**

_____ **Микола ДОЛЯ**

«___» _____ 2026 р.

«___» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Хімічний захист посівів кукурудзи від бур'янів за використання
агродрону DJI T40»**

Спеціальність

_____ 202 «Захист і карантин рослин»

Освітньо-професійна програма

_____ «Захист і карантин рослин»

Гарант освітньої програми

д. с.-г. н., проф.

_____ **Мирослав ПІКОВСЬКИЙ**

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

к. с.-г. наук, доцент

_____ **Леся БОНДАРЕВА**

Виконав

_____ **Микола ЯРМАК**

Київ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ЗАХИСТУ РОСЛИН, БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ентомології, інтегрованого
захисту і карантину рослин
Микола ДОЛЯ
_«___» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Ярмаку Миколі В'ячеславовичу

Спеціальність 202 «Захист і карантин рослин»

Освітньо-професійна програма «Захист і карантин рослин»

Тема бакалаврської роботи: **«Хімічний захист посівів кукурудзи від бур'янів за використання агродрону DJI T40».**

Затверджена наказом від 29.10.2025 року № 2588 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру — 20 травня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської роботи: посіви кукурудзи, бур'яни, гербіциди, агродрон DJI T40, абіотичні чинники, науково-методична література.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Проаналізувати поточну ситуацію щодо зараження кукурудзи бур'янами та її впливу на врожайність.
2. Дослідити асортимент гербіцидів, що застосовуються для захисту кукурудзи, та механізми їх дії.

3. Визначити біологічну ефективність гербіцидів.
4. Порівняти ефективність традиційного наземного обприскування та внесення препаратів за допомогою дрона.
5. Оцінити економічну ефективність застосування гербіцидів на посівах кукурудзи.

Дата видачі завдання: 20 травня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

Леся БОНДАРЕВА

Завдання взяв до виконання

Микола ЯРМАК

Реферат

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню ефективності хімічного захисту рослин кукурудзи від бур'янів за допомогою сільськогосподарського дрона DJI Agras T40.

Дипломна робота складається з 53 сторінок, 3 розділів, 5 таблиць, 6 рисунків та має 33 посилання.

У роботі проаналізовано сучасний стан поширення бур'янів на рослинах кукурудзи, біологічні характеристики бур'янів та їх вплив на врожайність. Розглянуто асортимент гербіцидів, механізми їх дії та сучасні підходи до інтегрованого захисту рослин. Особлива увага приділена використанню безпілотних літальних апаратів у технологіях захисту рослин.

Експериментальні дослідження проводилися методом рандомізованого блокового планування з трьома повторностями. Ефективність гербіциду Стеллар Плюс вивчалася при різних нормах внесення. Оцінювалися рівень поширення бур'янів, біологічна ефективність препарату, врожайність кукурудзи та економічна ефективність використання.

В результаті виявилось, що використання гербіциду забезпечує значне зниження поширення бур'янів (до 90–95%) та сприяє збільшенню врожайності. Використання сільськогосподарського дрона DJI Agras T40 дозволяє підвищити точність внесення препаратів, зменшити споживання ресурсів та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Отримані результати підтверджують доцільність використання сучасних технологій захисту рослин, зокрема сільськогосподарських дронів, у системі вирощування кукурудзи.

ЗМІСТ

ВСТУП		7
РОЗДІЛ I	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1.	Коротка характеристика культури кукурудза	8
1.2.	Біологічні властивості насіння бур'янів та тривалість їх життєздатності в ґрунті	9
1.3.	Роль бур'янів у формуванні врожайності кукурудзи та методи їх обмеження	14
1.4.	Сучасні технології захисту рослин та застосування безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві	21
1.4.1	Історія та особливості обприскування за допомогою безпіотної системи обприскування	23
1.5.	Дистанційне зондування на основі БПЛА для захисту рослин	26
РОЗДІЛ II	МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
2.1.	Місце проведення досліджень	28
2.2.	Ґрунтово-кліматичні умови зони досліджень	28
2.3.	Методика проведення досліджень	29
РОЗДІЛ III	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1.	Видовий склад сегетальної рослинності на посівах кукурудзи в регіоні досліджень	33
3.2.	Вплив гербіциду Стеллар Плюс на рівень забур'яненості посівів кукурудзи	36
3.3.	Економічна ефективність застосування гербіциду Стеллар Плюс	39
3.4.	Застосування засобів захисту рослин із застосуванням агродрону DJI Agras T40	41
ВИСНОВКИ		48
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ		49

ВСТУП

Кукурудза є однією з найважливіших культур сучасного світового сільського господарства. За площею посівів кукурудза посідає третє місце серед зернових культур. Будучи високоврожайною та універсальною культурою, вона вирощується для харчових цілей, кормів для тварин та технічних цілей. У нашій країні кукурудза є насамперед важливим кормом для тварин: дві третини насіння використовуються як корм, а для харчових цілей та подальшої переробки — лише 35–40%.

Врожайність кукурудзи та інших культур часто обмежується сильним засміченням бур'янами. Тому забезпечення високої сільськогосподарської продуктивності є однією із найактуальніших проблем сьогодення. Це неможливо без надійного захисту від бур'янів, оскільки їх вплив може зменшити врожайність на 20%, а в деяких випадках на 50% і більше [3]. З цієї причини контроль бур'янів є основою для підвищення валового врожаю та покращення рентабельності господарств.

Метою роботи було: вивчити видовий склад бур'янів у посівах кукурудзи та оцінити ефективність застосування гербіцидів і їх вплив на забур'яненість і стан рослин із використанням агродрону DJI T40.

Були поставлені такі завдання: проаналізувати поточну ситуацію щодо зараження кукурудзи бур'янами та її вплив на врожайність; дослідити асортимент гербіцидів, що застосовуються для захисту кукурудзи, та механізми їх дії. Визначити біологічну ефективність гербіцидів. Порівняти ефективність традиційного наземного обприскування та внесення препаратів за допомогою дрона. Оцінити економічну ефективність застосування гербіцидів на посівах кукурудзи.

РОЗДІЛ І. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Коротка характеристика культури кукурудза

Кукурудза використовується у сільському господарстві по всьому світу, в тому числі й в Україні. Як універсальна культура – для годування великої рогатої худоби, а також для задоволення технічних потреб – виробництва зерна та борошна, харчового крохмалю та олії, меду та цукру, декстрину та етилового спирту тощо. Це одна з найбільш широко культивованих сільськогосподарських культур.

Зерно кукурудзи є цінним завдяки своєму хімічному складу. Вони містять вуглеводи (65–70%), білки (9–12%), жири (4–8%), мінерали (1,5%) і вітаміни, і тому добре підходять як концентрований корм для худоби. Водночас має високу харчову цінність – один кілограм містить 1,34 кормових одиниці та 78 г засвоюваного білка. З точки зору поживної цінності корму, один гектар посівів кукурудзи із середньою врожайністю дає приблизно 6000 кормових одиниць і до 300 кг білка, що значно перевищує кормову цінність інших злакових культур.

Кукурудза також є цінною як харчовий продукт. З її зерен роблять пластівці, попкорн та різні види мюслі. Кукурудзяне борошно використовується для приготування печива, бісквітів, запіканок, пирогів тощо. Однак через низький вміст глютену кукурудзяне борошно не підходить для випікання хліба в чистому вигляді.

Зерна кукурудзи є сировиною для переробної промисловості. З них виробляють крохмаль, пиво, спирт, сироп, гліцерин, органічні кислоти та багато іншого. Зародок, що містить близько 30% жиру, переробляють у цінну олію. Стебла та качани використовуються для виробництва паперу, целюлози, ацетону, метанолу, синтетичних смол, лінолеуму, клеїв, пластмас та багато іншого – всього понад 300 різних продуктів.

Кукурудза, як просапна культура, добре підходить як попередня культура в сівозміні, допомагає очистити поля від бур'янів і практично не має нічого спільного з шкідниками і хворобами інших зернових культур. При вирощуванні на зерно кукурудза є однією з найкращих попередніх культур для ярих зернових, а при вирощуванні на силос — однією з найкращих попередніх культур для озимої пшениці. При використанні як зелений корм вона виступає як хороша покривна культура. Кукурудза широко використовується в сівозмінах та для виробництва побічних продуктів під час збору врожаю та заготівлі сіна.

Гібриди поширені в Україні, але сортів зовсім небагато. Це пояснюється явищем гетерозису у гібридів першого покоління – життєздатність рослин значно зростає, отже, і активність біологічних процесів формування органів та продуктивності. У рослин збільшується врожайність – на 15–35% та більше порівняно із сортами. Рекомендовані гібриди кукурудзи для зерна та силосів включають: Акцент МБ, Авантаж, Агора, Ваклентина, ДНОД 453 СВ, Дніпровський 193 МВ, ДК 471, Закарпатський 101 МВ, Кавказ 484 МВ та інші. А також інші гібриди солодкої кукурудзи. В Україні також рекомендуються три сорти кукурудзи: Закарпатська зубовидна, Дніпровська 298, Одеська 10.

1.2. Біологічні властивості насіння бур'янів та тривалість їх життєздатності в ґрунті

Бур'яни, що погіршують умови для зростання та розвитку культурних рослин, завдають величезних збитків сільському господарству. Лише в Україні їх налічується 1,5 тисячі різновидів, з яких значно 100–120 різновидів забруднюють поля.

Видовий склад бур'янів у різних ґрунтово-кліматичних зонах України демонструє значні відмінності. Це зумовлено як різними вимогами до умов проростання, так і різноманітністю культур, що вирощуються в кожній зоні.

Наприклад, дика редька, зірчастий аніс та інші вологолюбні бур'яни частіше зустрічаються в Поліссі та Лісостепу, тоді як у степовій зоні, де спостерігається нестача вологи, вони практично відсутні. Гірчак степовий навпаки, в основному зустрічається у південних регіонах України (Миколаїв, Херсон, Одеса). У зоні Полісся, де вирощують жито та льон, поширені такі бур'яни, як стоколос (*Bromus*), рудувата вівсяниця та пажитниця. У районах вирощування рису часто зустрічаються специфічні бур'яни, зокрема рисова плоскуха, бульбоочерет. Водночас найбільш злісними бур'янами в Україні є пирій повзучий (рис. 1.1), берізка польова, лобода біла і осот рожевий, які значно знижують урожайність сільськогосподарських культур.



Рис. 1.1 Пирій повзучий (*Elytrigia repens*) Джерело

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%80%D1%96%D0%B9>



Рис. 1.2 Лобода біла *Chenopodium album* Джерело

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D0%B0_%D0%B1%D1%96%D0%B%D0%B0

Шкідлива дія бур'янів на культурні рослини має різний вплив:

- Затінення культурних рослин, особливо високорослих сортів, призводить до недостатнього розвитку механічних тканин і деформації стебел. Це, у свою чергу, знижує врожайність та ускладнює процес збирання урожаю.
- Вони витягають із ґрунту величезну кількість вологи, висушуючи не тільки верхній, а й нижній шар. Це значно погіршує умови вирощування

культурних рослин, особливо у посушливих регіонах. Амброзія, наприклад, коріння якої може досягати глибини до 4 метрів, вимагає вдвічі більше вологи, ніж пшениця, і значно більше, ніж овес. вівсюг і мишій сизий розвивають коріння, що простягається на глибину до 170 см; коріння пирію та вівсяниці жовтої проникає ще глибше – до 250 см.

- Вони зменшують ефективність добрив. Поряд із вологою, вони виснажують ґрунт, позбавляючи його великої кількості поживних речовин. Зокрема, свиріпа потребує вдвічі більше азоту та фосфору, ніж овес. Амброзія, при щільності посадки 20 рослин на квадратний метр, виносить із ґрунту 135 кг азоту, 40 кг фосфору та 150 кг калію на гектар, що еквівалентно повній нормі внесення мінеральних добрив в умовах зрошення.

- Деякі види виділяють у ґрунт продукти метаболізму – хімічні сполуки, які негативно впливають на ріст та розвиток рослин.

- Вони сприяють поширенню шкідників. Багато хто спочатку харчується бур'янами і розвивається там, а потім переміщується на культурні рослини. Зокрема, зимова совка відкладає яйця на бур'янах, а гусениці, що вилупилися з них, ушкоджують озимі культури. Гусінь лучного метелика також спочатку розвивається на бур'янах.

- Сприяють поширенню мишовидних гризунів.

- Вони сприяють розвитку багатьох захворювань. Крім того, бур'яни є резервуаром для багатьох хвороб, особливо вірусних та фітоплазмових.

- Знижують продуктивність зернозбиральних комбайнів. При збиранні зерна, що заросло бур'янами, продуктивність машин падає на 25-65%, що призводить до збільшення виробничих витрат.

- Знижують якість урожаю. Деякі з них (кукіль, дурійка) містять токсичні речовини, навіть невелика кількість яких може погіршити якість борошна. Домішки в зерні жита, насінні гречки і паростках пшениці призводять

до того, що борошно набуває темного кольору, і хліб, випечений з неї, швидко черствіє. Зерно, забруднене бур'янами, важче зберігати: воно втрачає здатність до проростання і швидко пліснявіє. Воно також сприйнятливніше до зараження шкідниками. У зерні пшениці, забрудненого бур'янами, нижчий вміст білка; у соняшнику — нижчий вміст олії; у цукрових буряків — нижчий вміст цукру [3].

Основною причиною засмічення полів бур'янами є наявність у ґрунті великої кількості насіння, плодів і вегетативних органів різних бур'янів.

Більшість бур'янів має високу швидкість розмноження. Зокрема, добре розвинена рослина куколю має до 2500 насінин, мишію сизого — понад 5000, буркуну — 17000, амброзія — понад 30000, осоту рожевого — 35 500 насінин, лободи білої — понад 100 000, осоки звичайної — до 500 000. За оцінками, на площі 4,5 м² може прорости насіння осоту на площі 50 гектарів землі. У верхньому шарі ґрунту одного гектара міститься в середньому 700–800 мільйонів насінин різних бур'янів. Якщо на гектар посіяти 4–5 мільйонів зерен пшениці, то на кожне зерно припадає приблизно 200 насінин бур'янів, крім вегетативних органів осоту, пирію та інших бур'янів.

До основних характеристик насіння бур'янів належать його тривала життєздатність та здатність зберігати схожість протягом багатьох років. Наприклад, насіння рожевого осоту може зберігати життєздатність у ґрунті понад 20 років, так само як і насіння осоту, вики та подорожника. Поширене насіння пирію, чорного пасльону та коров'ячого селера може зберігати життєздатність понад 30–40 років. Водночас насіння гірчиці, що зустрічається на полях, зберігає життєздатність до 7 років, а насіння кучерявих видів (наприклад, кучерявого щавлю) — 10–12 років.

1.3. Роль бур'янів у формуванні врожайності кукурудзи та методи їх обмеження

Кукурудза – одна з найважливіших сільськогосподарських культур: її врожайність перевищує врожайність більшості інших зернових та кормових культур, і вона має надзвичайно універсальне застосування [7]

Як і в інших культурах, врожайність кукурудзи часто обмежується сильним засміченням бур'янами [7]. За загальними даними, врожайність може знизитися на 20%, а в деяких випадках на 50% і більше через бур'яни [3]. Лише механічних заходів боротьби з бур'янами зазвичай недостатньо для досягнення бажаного результату. Тому прогрес у рослинництві нині неможливий без використання хімічних гербіцидів [4].

З появою землеробства кілька тисячоліть тому постала проблема захисту врожаю від бур'янів. З розвитком сільськогосподарських технологій методи боротьби з конкурентами врожаю постійно вдосконалювалися. Однак бур'яни настільки ідеально пристосовані до життя в екосистемах, що культивуються, що ця проблема залишається невирішеною до цього дня [31].

Відомо, що бур'яни затіняють сільськогосподарські культури, уповільнюють їх зростання та знижують температуру ґрунту на 2–4 °С. Це пригнічує активність ґрунтових мікроорганізмів, що беруть участь у розкладанні органічної речовини, тим самим підвищуючи родючість ґрунту та нейтралізуючи забруднюючі речовини. Бур'яни мають потужну кореневу систему, що дозволяє їм швидко формувати значну надземну масу і витіснити сільськогосподарські культури. Крім того, кореневі виділення бур'янів та мікроорганізми в їхній ризосфері — продукти їх неповного розкладання — містять токсини, які накопичуються в ґрунті, знижуючи його родючість та продуктивність сільськогосподарських культур [3].

У конкуренції з культурними рослинами за світло, воду та поживні речовини бур'яни знижують урожайність на 40–60% навіть за середнього рівня засміченості бур'янами [3].

На забруднених полях неможливо повною мірою скористатися перевагами добрив, рекультивації ґрунту, запровадження високоврожайних сортів та інших агротехнічних заходів, спрямованих на збільшення врожайності. За даними С. П. Танчика (1999): фермерські господарства не досягають у середньому 18–32% від цільового врожаю через засмічення полів бур'янами. Бур'яни не лише знижують урожайність, а й погіршують якість. У посівах, уражених бур'янами, вміст білка в ярій пшениці знижується на 2,5%, у ячменю — на 1,2%, у кукурудзи — на 3,4%, у проса — на 1,2%, а в гірчиці — на 2%. Вміст цукру в цукрових буряках також знижується [6].

За даними FAO [32], середні глобальні втрати врожаю через бур'яни становлять: 24 % від потенційного врожаю озимої пшениці, 29 % — кукурудзи, 34 % — рису, 35 % — соєвих бобів та 37 % — цукрового буряка. У світі загальні втрати врожаю через пошкодження бур'янами перевищують 100 млрд доларів США щорічно.

У зв'язку з цим у умовах інтенсивного землеробства гербіциди є одним із найефективніших і найшвидкодійних засобів боротьби з бур'янами. Їхнє використання у світі обходиться приблизно у 22,6–25,2 млрд доларів США щорічно [33]. Значимість проблеми сприйняття також підтверджується структурою світового ринку пестицидів: на гербіциди припадає приблизно 46 % продажів, на інсектициди — 28 %, а на фунгіциди — 22 %.

Аналіз різних підходів до поступової відмови від використання гербіцидів свідчить про те, що повна альтернатива хімічній боротьбі з бур'янами навряд чи буде розроблена в найближчому майбутньому. Отже, в сучасному сільському господарстві вживаються заходи з оптимізації та скорочення використання гербіцидів.

Проте хімічний контроль бур'янів широко застосовується, і його необхідно поєднувати з біологічно та екологічно безпечними заходами. Застосування гербіцидів є економічно ефективним, оскільки це фізіологічно активні речовини, здатні ефективно контролювати поширення бур'янів у посівах.

Застосування гербіцидів у сільському господарстві значно зменшує поширення бур'янів і підвищує врожайність зернових культур, а також мінімізує забруднення насінням бур'янів. Крім того, гербіциди зменшують кількість насіння бур'янів, що потрапляє в ґрунт, на 40,4–62,2 % [1, 3].

Кукурудза — це культура, яка не є достатньо конкурентоспроможною щодо бур'янів, тому без надійного захисту від них неможливо досягти високих і стабільних врожаїв. Вразливість кукурудзи до бур'янів та її конкурентоспроможність не є однаковими на всіх стадіях розвитку. Наприклад, кукурудза не дуже чутлива до бур'янів до фази 2–3 листків. Від фази 3 листків до фази 8 листків зараження бур'янами спричиняє різке зниження врожайності. Протягом цього періоду (20–30 днів) кукурудзяні поля необхідно утримувати вільними від сегетальної рослинності.

У боротьбі з бур'янами при вирощуванні кукурудзи головну роль відіграють такі агротехнічні методи. Вони полягають у правильному включенні цієї культури у сівозміну, науково обґрунтованому застосуванні добрив та гербіцидів, а також обробці високоякісного ґрунту.

На підставі експериментальних даних було встановлено, що в умовах Лісостепу України критичною є конкуренція між кукурудзою та бур'янами, яка залежить від ступеня засміченості бур'янами та тривалості вегетаційного періоду.

У ранньостиглих гібридів кукурудзи з індексом FAO 100 вегетативний період починається з моменту сходів і триває до повної стиглості. Період від сходів до приблизно 40-го дня вважається найкритичнішим з точки зору

конкуренції з бур'янами. Саме в цей момент, в середньому між 30-м і 35-м днями, починається критичний період конкуренції між кукурудзою та бур'янами.

Це означає, що посіви ранньостиглих гібридів повинні бути вільними від бур'янів від сходів щонайменше до 60–70-го дня вегетаційного періоду. Тому при вирощуванні гібридів цієї групи доцільно застосовувати інтегровану систему боротьби з бур'янами.

Для середньостиглих гібридів кукурудзи з індексом ФАО до 250 критичний період конкуренції рослина-бур'ян охоплює значну частину вегетаційного періоду культури. Найсильніша конкуренція спостерігається через 20–50 днів після появи сходів рослин. У цей час, в середньому, на 40–45-й день, починається період конкурентної взаємодії. Це означає, що для кукурудзи цієї групи гібридів на початку вегетації слід використовувати комбінацію як профілактичних, так і механічних заходів боротьби з бур'янами. Хімічний метод (застосування гербіцидів) слід проводити на стадії 3–5 листків рослини. У цей період можна ефективно підбирати гербіциди, визначаючи видовий склад рослин та ступінь забур'яненості.

Визначено критичну точку в критичний період конкуренції – період, коли врожайність кукурудзи різко знижується, якщо не проводиться боротьба з бур'янами. Якщо бур'яни не знищуються протягом цього періоду, їх подальший розвиток призводить до значних втрат врожаю. Навпаки, своєчасне усунення конкуренції бур'янів сприяє збільшенню врожайності кукурудзи.

Систему заходів догляду за рослинами кукурудзи умовно поділяють на дві основні частини: інтенсивну (з використанням пестицидів) та ресурсозберігаючу (без використання гербіцидів або з їх мінімальним використанням). Ці підходи не є взаємовиключними та в деяких випадках можуть ефективно поєднуватися.

Інтенсивні технології включають використання ґрунтових (допосівних або досходових) і післясходових гербіцидів. За умови добре обробленого ґрунту, якщо масової повторної появи бур'янів не відбувається протягом перших 30 днів

після сходів, доцільно проводити міжрядну культивуацію замість використання післясходових гербіцидів.

Під час вирощування кукурудзи після озимої пшениці на полях з низькою забур'яненістю рекомендується використовувати механічні методи боротьби з бур'янами без використання гербіцидів, що дозволяє відмовитися від допосівної хімічної обробки. Додатковий догляд за рослинами включає своєчасну міжрядну культивуацію та контроль за станом бур'янів.

Поширення корневих та пагонових бур'янів додатково контролюється обприскуванням рослин захисними гербіцидами [3]. Використання різних технологічних систем дозволяє регулювати рівень виробничих витрат та витрат палива під час заходів догляду за посівами [4].

В останні роки більшість господарств вирощує кукурудзу, використовуючи інтенсивні технології землеробства, що призвело до повного або часткового зменшення механізованих методів обробітку [7]. Водночас культуру продовжують обробляти традиційними механічними методами на невеликих ділянках [3].

Основні заходи боротьби з бур'янами включають до- та післясходове прополювання, а також міжрядний обробіток різними знаряддями, спрямованими на знищення бур'янів у рядках та між рядками.

Це важливо в технології вирощування кукурудзи без застосування гербіцидів. Основна оранка проводиться з урахуванням попередника, типу ґрунту, рельєфу, ступеня забур'яненості та характеристик ділянки [3]. Напівпарова система оранки ефективна на ділянках з достатнім зволоженням та високою забур'яненістю. Після збирання попередника (зернових або бобових рослин) стерню луцать на глибину 6–8 см [5]. Після цього в ґрунт вносять органічні та мінеральні добрива, додаючи їх на глибину 27–30 см, що сприяє кращому розвитку кореневої системи рослин [7]. Для виконання цієї техніки доцільно використовувати оборотні плуги.

Через 2–3 тижні після основного посіву проводять поверхневий обробіток ґрунту культиваторами, дисковими боронами, важкими боронами або іншою посівною технікою для знищення сходів бур'янів [5]. У міру появи другої та третьої хвиль сходів бур'янів посів повторюють. Ретельний посів на різну глибину дисковими або звичайними культиваторами, а також якісна оранка, дозволяє знищити до 70% багаторічних кореневищних бур'янів та до 40% однорічних видів [3].

Основною метою передпосівного обробітку ґрунту є підтримка вологи, знищення бур'янів, створення оптимальних умов для проростання насіння та забезпечення своєчасної появи придатних сходів [7].

Передпосівне розпушування проводять за 3–4 дні до появи сходів кукурудзи, коли сходи культури ще добре вкриті ґрунтом. У цей період масово проростає насіння ранніх ярих бур'янів (редиска дика, гірчиця татарська, гірчиця польова), а також частково насіння пізньостиглих бур'янів. Їхні паростки та сходи, які ще не встигли добре вкоренитися, легко знищуються розпушуванням [5].

На легких ґрунтах найкращі результати досягаються за допомогою легкого або сітчастого розпушування, тоді як на щільних ґрунтах доцільно використовувати середнє та важке розпушування [3]. У разі пізнього появи сходів кукурудзи через низькі температури, що призводить до масового проростання бур'янів та утворення ґрунтової кірки, прополювання доцільно проводити двічі: через 7–10 днів після посіву та за 3–4 дні до появи сходів культури [7].

Після оранки та появи сходів бур'янів проводять перший обробіток ґрунту на глибину 10–12 см. Другу хвилю сходів бур'янів знищують під час передпосівного обробітку, який доцільно проводити за допомогою комбінованих агрегатів (РВК-3.6; Європак; ЛК-4) [3].

Два-три обробітки ґрунту перед посадкою можуть знищити 70–80% сходів бур'янів. Післязбиральний обробіток ґрунту проводиться на стадіях 2–3 та 4–5 листків кукурудзи зі швидкістю 4,5–5,5 км/год [5].

У районах з невеликою кількістю бур'янів інтенсивний обробіток ґрунту (3-4 рази) може усунути необхідність використання гербіцидів [3].

На сучасному етапі розвитку сільського господарства можливості боротьби з бур'янами за допомогою біологічних методів мікроорганізмами та вірусами все ще обмежені та не знайшли широкого практичного застосування. Зокрема, важко знайти метод, який б пригнічував зростання та розвиток бур'янів, не завдаючи шкоди культурним рослинам. Крім того, кожна культура містить різні види бур'янів, для яких просто не існує універсального засобу боротьби.

Поданий тут огляд літератури свідчить про те, що забруднення орних земель насінням бур'янів нині є серйозною проблемою, і що гербіциди відіграють ключову роль у боротьбі з бур'янами. Вони дозволяють своєчасно знищувати бур'яни, тим самим скорочуючи час їхнього шкідливого впливу і зрештою збільшуючи врожайність культури.

1.4. Сучасні технології захисту рослин та застосування безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві

До 2050 року чисельність населення світу досягне приблизно 10 мільярдів. Відповідно, виробництво продовольства має зрости на 70 % [14]. Однак через зміну кліматичних та екологічних умов для сільськогосподарських угідь спалахи шкідливих організмів у сільськогосподарських ландшафтах відбуваються дедалі частіше, що підвищує загрози для рослинництва [28, 19, 16, 17]. Застосування пестицидів є невід’ємною частиною сучасного сільського господарства та сприяє підвищенню врожайності й якості сільськогосподарської продукції [12].

За оцінками, застосування ЗЗР дозволяє запобігти втратам до 45 % світових запасів продовольства [21]. Основними обприскувачами, що використовуються у традиційному сільському господарстві, є ручні обприскувачі з акумуляторним живленням та ранцеві обприскувачі. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) зафіксувала мільйон випадків побічних ефектів, спричинених розпиленням пестицидів на рослини вручну. Крім того, такі традиційні обприскувачі можуть призводити до значних втрат пестицидів і завдавати серйозної шкоди навколишньому середовищу. Щоб зменшити вплив на людину та навколишнє середовище, а також для вирішення проблеми нестачі робочої сили, механізація обприскування є вкрай необхідною.

Повітряне внесення пестицидів, як за допомогою пілотованих, так і безпілотних літальних апаратів, часто є найбільш економічним і швидким методом забезпечення ефективної та результативної боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур, що дає змогу оперативно реагувати на гострі спалахи шкідників [16, 17]. Крім того, порівняно з методами захисту рослин, що застосовуються у ґрунті, воно дозволяє охопити велику площу, не пошкоджуючи фізичну структуру посівів або ґрунту, що є дуже важливим.

США вперше почали застосовувати пілотовані літаки у 1921 році, використовуючи літаки, що залишилися після Першої світової війни. Сучасні системи точного внесення — це спеціально сконструйовані літаки, що містять цілий ряд передових технологій, таких як GPS-позиціонування, контроль витрати та системи точного внесення. Хоча системи сільськогосподарського виробництва в США зазвичай охоплюють великі площі, українські системи мають менший масштаб, є більш складними з географічної точки зору та значно різняться від регіону до регіону. У цьому контексті потреба в ефективному застосуванні заходів із захисту рослин та виробництва призвела до швидкого розвитку та впровадження БПЛА в Україні [10, 11, 20]. Порівняно з пілотованими літальними апаратами, платформи на базі БПЛА дешевші як у придбанні, так і в експлуатації, а також дають змогу літати на малих висотах, що робить їх більш придатними для використання на невеликих і складних полях у різних сільськогосподарських районах. Крім того, БПЛА також можуть виконувати завдання з високоточного управління фермерським господарством у певних районах.

На тлі зростаючого попиту на точне землеробство (PF) та «розумне» сільське господарство, БПЛА відіграватимуть значну роль у розвитку сільськогосподарського сектору. За даними Міжнародної асоціації безпілотних транспортних систем (AUVSI), у найближчому майбутньому 80 % дронів використовуватимуться в сільськогосподарських цілях. Однак у застосуванні технології обприскування за допомогою БПЛА все ще залишаються невирішені питання, такі як знесення крапель та ефективність пестицидів [13, 15, 16]. Нові умови сучасного розвитку сільського господарства вимагають, щоб сільськогосподарський сектор був високоврожайним, високоякісним, високоефективним та екологічно безпечним.

1.4.1. Історія та особливості обприскування за допомогою безпілотної системи обприскування

У 1985 році компанія Yamaha представила Rmax — безпілотний вертоліт середнього розміру з вантажопідйомністю 5 кг, призначений для розпилення пестицидів — перший у світі безпілотний літальний апарат сільськогосподарського призначення. Компанія також розробила серію безпілотних вертольотів (KG-135, YH300, AYH3 тощо), які розпилюють пестициди на сільськогосподарські культури. Вертольоти Yamaha використовуються в багатьох країнах світу як дослідницькі платформи.

Однак з метою захисту своєї технології у 2007 році було введено заборону на експорт вертольотів Yamaha. Багатороторні БПЛА, включаючи чотири-, шести- та восьмироторні платформи, замінили вертольоти як найпоширеніші платформи БПЛА для сільськогосподарських застосувань.

В останні роки Китай розробив і почав застосовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА) для захисту рослин [18, 22, 28].

Використання БПЛА значно сприяло розвитку технологій та застосуванню обприскування. Однак виробники в Північній Америці та Європі також перейняли цю технологію, і її використання стало більш поширеним [26, 30]. Ці БПЛА, пов'язані з транспортуванням та розпиленням пестицидів, вважаються більш небезпечними, ніж локальне дистанційне обприскування.

Системи обприскування з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стають дедалі досконалішими: об'єм баків коливається від 5 до 32 літрів, а норми внесення — від 1 до 30 літрів на хвилину на квадратний метр. Численні передові технології, такі як навігація за допомогою глобальної системи позиціонування (GPS), автоматичне планування маршруту, автоматичне розпилення, високоточне кінематичне позиціонування в режимі реального часу (RTK), технології уникнення перешкод та системи імпульсно-широотно-

модульованого (PWM) керування, були адаптовані для використання в багатороторних дронах, покращуючи їхню експлуатаційну стабільність, ефективність, точність та зручність використання [24-26, 30].

БПЛА випускаються у найрізноманітніших формах, розмірах, з різною вантажопідйомністю та конфігураціями — від літаків з нерухомим крилом до одно- та багатороторних апаратів. БПЛА можуть працювати на електроенергії або паливі. Електричні БПЛА мають час польоту 10–45 хвилин, тоді як системи, що працюють на паливі, мають дальність польоту від 1 до 4+ годин. Більшість багатороторних БПЛА, що використовуються на даний момент, оснащена електродвигунами. Цей тип БПЛА має просту конструкцію, простий у обслуговуванні та забезпечує високу стабільність польоту й ефективність обприскування. Як результат, він став популярним вибором для застосування БПЛА в захисті рослин. У порівнянні з дорогими безпілотними вертольотами (Yamaha Rmax коштує близько мільйона доларів), багатороторні дрони часто використовуються для захисту рослин частково завдяки їхній низькій ціні (менше 20 000 доларів) та механічній простоті.

Застосування невеликих обсягів агрохімікатів на малих висотах за допомогою БПЛА відрізняється від використання традиційної авіаційної техніки та наземного обладнання [11]. Обертання ротора та його взаємодія з повітрям забезпечують необхідну підйомну силу для корпусу літального апарата, а також створюють низхідний потік повітря, що сприяє потраплянню крапель розпилювача на рослинність, що може сприяти покращенню покриття та зменшенню зносу [27].

Низхідний потік, що створюється роторами БПЛА, сприяє кращому проникненню крапель у листяний покрив, покращуючи розподіл пестицидів, порівняно зі звичайним обприскуванням [26], у верхньому та нижньому шарах спостерігаються вищі показники осідання, а коефіцієнти покриття крапель крони та рівномірність розподілу є найкращими.

Крім того, повітряний потік, що створюється роторами дрона, призводить до зміни характеристик розпилення форсунок у різних точках розпилювальної штанги, а знесення розпилу з форсунок на обох кінцях штанги є значним через повітряний потік, що утворюється позаду дрона.

Розсіювання крапель розпилу з форсунки, розташованої безпосередньо під фюзеляжем, збільшується через ефект блокування. Щоб мінімізувати втрати крапель, довжина штанги не повинна перевищувати діаметр ротора. Через вплив області низькошвидкісного потоку розмивання розподіл крапель демонстрував періодичні пульсації та нестационарний просторово-часовий розподіл. Танг та ін. [22] вимірювали рух та осідання крапель у полі потоку змиву над рослинами для різних швидкостей обертання ротора, використовуючи високошвидкісну велосиметрію зображення частинок (PIV) на октокоптері. Швидкість відкидання не тільки змінює зону осідання крапель, а й впливає на їх розподіл.

Параметри польоту БПЛА (висота, швидкість тощо) щодо взаємозв'язку між рухом крапель у повітряному потоці ротора, Ван та ін. [23] встановили, що незалежно від напрямку польоту, висоти та бокового вітру, всі ці фактори впливають на розподіл осідання крапель, послаблюючи його інтенсивність і зменшуючи інтенсивність поля низхідного повітряного потоку, перпендикулярного до землі. Янг Ф. та ін. [27] запропонували підхід для дослідження впливу низхідного потоку та вхідного повітряного потоку на розподіл руху групи крапель для мультиротора. Вони розробили тривимірну модель двофазного потоку в режимі стаціонарного зависання БПЛА. Юанг та ін. [28] визначили максимальне значення мінімальної швидкості змивання для шестироторного БПЛА.

1.5. Дистанційне зондування на основі БПЛА для захисту рослин

Одним із напрямків застосування БПЛА в сільському господарстві, що розвивається найшвидше, є отримання знімків посівів та оцінка їхнього стану за допомогою цих повітряних платформ із використанням широкого спектру камер та датчиків. БПЛА розроблені для забезпечення високої часової (наприклад, щоденний збір даних) та високої просторової (наприклад, на рівні сантиметрів) роздільної здатності з метою підтримки точного землеробства для завдань дистанційного зондування та розпилення пестицидів [13].

Існує три типові проблеми, пов'язані з дистанційним зондуванням бур'янів, комах та хвороб. Перша — це точність розпізнавання хвороби, шкідника або рослини, що цікавить. По-друге, як відстежувати область під час випадкового просторового розподілу? І нарешті, третє завдання полягає в автоматизації процесу аналізу сотень і тисяч зображень, кожне з яких охоплює невелику ділянку.

БПЛА є унікальною платформою для дистанційного зондування сільськогосподарських культур завдяки низькій швидкості польоту та малій висоті. Зазвичай вони є більш ефективними та гнучкими, ніж пілотовані сільськогосподарські польоти, оскільки останні часто не забезпечують зображення високої якості як на низькій висоті, так і на низькій швидкості.

Розробка різноманітних компактних, легких датчиків дистанційного зондування з високою роздільною здатністю та відповідних технологій для безпілотних літальних апаратів значно розширила сферу застосування для моніторингу сільськогосподарських культур та дозволила отримувати дані з високою роздільною здатністю на основі зображень, отриманих з БПЛА. Очікується, що інтеграція даних дистанційного зондування з цих систем стане все більш важливою складовою точного землеробства.

Незважаючи на те, що безпілотні літальні апарати з'явилися у переліку засобів, доступних фермерам та операторам систем обприскування по всьому світу, лише відносно недавно у сфері оптимізації використання систем обприскування пестицидів для захисту рослин було досягнуто значного прогресу.

Оцінка технології розпилення за допомогою БПЛА з точки зору якості, ефективності та безпеки розпилення шляхом проведення польових випробувань матиме значний вплив на розвиток застосування розпилення за допомогою БПЛА. Проникнення пестицидів у рослинність, розміщення крапель та покриття, а також управління зносом розпилювача є пріоритетами при оцінці ефективності та результативності засобів захисту рослин, що застосовуються за допомогою БПЛА. Ми стикаємося з браком досвіду серед операторів; це вимагає глибокого розуміння не лише основних операцій з БПЛА, а й незліченних змінних, що впливають на якість обприскування за допомогою БПЛА та ефективність пестицидів. Сучасні системи управління польотом, системи розпилення, сенсорні системи, моделі зносу та осадження пестицидів, а також добавки або ад'юванти для розпилювальних сумішей потребують постійного вдосконалення для забезпечення високої якості польотів та обприскування.

РОЗДІЛ II МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Місце проведення дослідження

Територія с. Чорнявка Черкаського району Черкаської області розташована в центральній частині Укоаїни, в лісостеповій природно-кліматичній зоні. Село Чорнявка розміщено на старій Чигиринській дорозі, за 30 км від міста Черкаси, біля соснового лісу ([https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8F%D0%B2%D0%BA%D0%B0_\(%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8F%D0%B2%D0%BA%D0%B0_(%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD))).

Природно-кліматичні умови регіону досліджень сприятливі для сільськогосподарського виробництва й вирощування більшості польових культур.

2.2. Ґрунтово-кліматичні умови зони досліджень

Клімат регіону помірно континентальний, зі спекотним літом та помірно холодною зимою. Середня температура повітря протягом року становить близько +8...+9 °С. Найхолоднішими місяцем року є січень із середньою температурою –5...–6 °С, а найтеплішим – липень з середньодобовою температурою повітря +20...+22 °С. Тривалість періоду без морозів у середньому триває 160–180 днів. Це повністю забезпечує вегетаційний період для переважної більшості сільськогосподарських культур.

Річна кількість атмосферних опадів становить 500-600 мм, і більша їх частина випадає в теплий період року. Вологість місцевості нестабільна, в літній період можливі посухи та суховії, що негативно впливає на ріст і розвиток

сільськогосподарських культур. Вітри дмуть переважно із заходу та північного заходу.

Рельєф місцевості переважно рівнинний, деякі ділянки дещо хвилясті. Такі умови сприятливі для механізованого обробітку землі та польових робіт. Проте на деяких схилах можлива водна ерозія, яка вимагає застосування ґрунтозахисних прийомів.

Ґрунтовий покрив складається переважно з типових середньогумусних та опідзолених чорноземів. Ці ґрунти характеризуються високою природною родючістю, доброю механічною структурою і вмістом гумусу, що у середньому складає 3–6%. Реакція розчину ґрунту дуже близька до нейтральної чи слабокислої. Це сприятливо для вирощування багатьох сільськогосподарських рослин.

Чорноземний ґрунт має добру вологоутримувальну здатність, забезпечений основними поживними речовинами та характеризується високою біологічною активністю. У нижчих елементах рельєфу залягають глинисто-чорноземний ґрунт, що утворилися в умовах надмірного зволоження.

В цілому ґрунтово-кліматичні умови с. Чорнявка є сприятливими для вирощування зернових, технічних, кормових, овочевих культур, наприклад пшениці озимої, кукурудзи, соняшнику, сої, ячменю, цукрових буряків. Значна природна родючість ґрунту в поєднанні із достатнім теплопостачанням забезпечує передумови для отримання високостабільних врожаїв.

2.3. Методика проведення дослідження

Для цілей дипломної роботи було проведено польовий дослід з вивчення ефективності гербіциду Стеллар Плюс у контролі забур'яненості посівів кукурудзи та його впливу на врожайність культури [2].

Дослід заклали методом випадкових блоків у триразовому повторенні. Схема дослідження включала такі варіанти:

1. Контроль;
2. Ручне прополовання;
3. Внесення гербіциду Стеллар Плюс в нормах 1,0; 1,1; 1,2 та 1,3 л/га.

Гербіцид Стеллар Плюс (діючі речовини: топрамезон, 50 г/л; дикамба, 160 г/л) застосовували на стадії 3-8 листків кукурудзи, що відповідає раннім стадіям розвитку бур'янів.

Загальна площа дослідів становила 0,06 га. Площа основної посівної площі становила 50 м², а облікової – 10 м².

Фактичний рівень поширеності бур'янів (шт./м²) визначався щорічно шляхом систематичних оглядів рослин протягом вегетаційного періоду з урахуванням стадій розвитку основних бур'янів. Зокрема, у рослин кукурудзи основний огляд проводився на стадії 2 листків культури. Навесні, після масової появи бур'янів, проводився їх кількісний облік з метою розробки оптимальних схем застосування післясходових гербіцидів.

Для кожної сівозміни або її частини виділялося не менше 10 ділянок площею до 50 га, 15 ділянок площею 50-100 га та 20 ділянок площею до 100 га. Площа облікових ділянок становила 2–3 м² для багаторічних бур'янів та 0,25–1 м² для переважання однорічних видів.

Найпростішим методом оцінки чисельності бур'янів є візуальний підрахунок, який використовується на великих площах. Цей метод дозволяє визначити ступінь зараження рослин на заданій ділянці та визначити ботанічний склад бур'янів.

Метод спостереження передбачає систематичне обстеження рослинного покриву протягом усього вегетаційного періоду, оскільки в цей час відбуваються зміни видового складу бур'янів. Зокрема, влітку частина ранніх ярих та озимих бур'янів завершує свою вегетацію та зникає, а восени починають рости

багаторічні види та з'являються паростки озимих бур'янів. Водночас завершують свій життєвий цикл пізні ярі бур'яни.

Рівень чисельності бур'янів оцінюється за допомогою шкали балів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Шкала оцінки забур'яненості посівів [3]

Бал	Ступінь забур'яненості	Характеристики
0	Відсутня	Бур'яни відсутні або поодинокі (до 0,1–3 рослин на 10 м ²)
1	Дуже слабка	До 5 % покриття (3-5 рослин на 1 м ²)
2	Слабка	5–20% покриття, 5–15 рослин на 1 м ² ; культурні рослини домінують
3	Середня	20–50% покриття, 20–30 рослин на 1 м ² ; бур'яни починають домінувати
4	Значна	50–70% покриття; бур'янів не менше або більше, ніж культурних рослин
5	Сильна	75–100% покриття; бур'яни значно переважають культурні рослини

Кількісний метод визначення ступеня забур'яненості рослин базується на підрахунку кількості культурних рослин та бур'янів на облікових ділянках. Для цього використовуються рамки певних розмірів, які розміщуються на полях так, щоб один з рядів культурних рослин проходив по діагоналі рамки.

Після розрахунку кількості бур'янів у обліковій рамці визначається їх середня кількість на рамку та перераховується на 1 м². Одночасно визначається співвідношення кількості бур'янів до культурних рослин, а загальна густина посадки приймається за 100%.

Ступінь забур'яненості рослин визначається за допомогою відповідної шкали балів. Отримані результати порівнюються з порогоми економічної шкоди основних видів бур'янів, і на цій підставі приймаються рішення щодо доцільності та термінів застосування заходів захисту рослин.

Біологічну ефективність дії гербіциду визначають за формулою:

$$E=(K-D)/K \times 100, \quad (1)$$

де:

Е — біологічна ефективність, %;

К — кількість бур'янів у контролі (без обробки), шт./м²;

Д — кількість бур'янів у варіанті з гербіцидом, шт./м².

Урожайність кукурудзи оцінювали шляхом збору облікових площ та подальшого перерахунку їх у т/га. Економічну ефективність визначали за показниками умовного чистого прибутку та рентабельності.

Під час дослідження визначали взаємозв'язок між нормою внесення гербіцидів, рівнем зменшення кількості бур'янів та формуванням врожаю кукурудзи.

РОЗДІЛ III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Видовий склад сегетальної рослинності на посівах кукурудзи в регіоні досліджень

Кукурудза є важливою сільськогосподарською культурою у світі. Її роль важко переоцінити, оскільки кукурудза відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки, економіці та культурному житті держави [9].

Боротьба з бур'янами є ключовим аспектом успішного вирощування кукурудзи. Бур'яни можуть значно знижувати врожайність, конкуруючи за вологу, поживні речовини та світло. Ефективність боротьби з бур'янами залежить від багатьох факторів, включаючи вибір основної системи вирощування. Різні системи вирощування мають свої переваги та недоліки в контексті боротьби з бур'янами. Правильний вибір системи вирощування може значно підвищити ефективність гербіцидів, зменшити популяції бур'янів та покращити загальний стан культури [9].

На основі результатів моніторингу, проведеного у 2025 році, було визначено видовий склад бур'янів та частоту появи найпоширеніших бур'янів у посівах кукурудзи (табл. 3.1).

Результати досліджень, наведені в табл. 3.1 свідчать про формування у посівах кукурудзи в 2025 році складного та висококонкурентного бур'янового агрофітоценозу з чітко вираженою домінантною структурою. Провідну роль у формуванні засміченості відігравали осот жовтий, мишій сизий, лобода біла і берізка польова, що характеризувалися не лише високою чисельністю до 34,2 шт/м², але й значною екологічною пластичністю та здатністю ефективно використовувати ресурси середовища (рис.3.1).

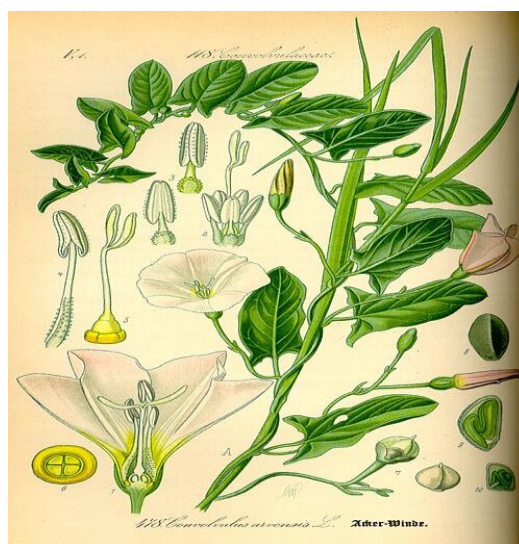
Звертає на себе увагу присутність мишію сизого як типового представника злаків, що конкурують з кукурудзою за ту саму екологічну нішу, особливо щодо азотного живлення та вологи. Водночас осот жовтий та берізка польова, як

багаторічні кореневищні види, мають здатність до інтенсивного вегетативного розмноження, що ускладнює їх контроль та сприяє стабільному відновленню таких популяцій після агротехнічних заходів.

Таблиця 3.1 Видовий склад та чисельність бур'янів у посівах кукурудзи, 2025 р.

Група бур'янів	Українська назва	Чисельність, шт/м ²
Найбільш численні	Осот жовтий	14,0-34,2
	Мишій сизий	15,0-32,1
	Лобода біла	13,8-30,1
	Берізка польова	8,1-28,3
Дводольні малорічні	Щириця звичайна	7,2-19,2
	Ромашка непахуча	4,5-8,9
	Гірчак березковидний	4,6-11,2
	Грицики звичайні	5,5-11,2
Менш численні	Редька дика	2,2-3,9
	Гірчиця польова	1,8-5,0
	Молочай верболистий	3,0-5,2

Група дводольних дрібних однорічних бур'янів, представлена щирицею звичайною, ромашкою безпахучою, гірчаком березковидним та грициками звичайними, сформувала помірний рівень засмічення (до 19,2 шт./м²), але їхню роль не слід недооцінювати. Дані види бур'янів характеризуються високою насінневою продуктивністю й швидким розвитком, що забезпечує їхню масову появу в певні критичні періоди розвитку культури кукурудзи і посилює конкуренцію на ранніх стадіях росту культури кукурудзи.



Джерело:

[https://agrarii-razom.com.ua/weeds/;](https://agrarii-razom.com.ua/weeds/)
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B7%D0%BA%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B0#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Illustration_Convolvulus_arvensis0.jpg

Рис. 3.1 Найбільш численні бур'яни на посівах кукурудзи

Менша кількість видів (редька дика, гірчиця польова, молочай верболистий) відіграє роль супутнього компонента агрофітоценозу, але за відсутності належного контролю вони можуть служити резервом для подальшого зараження рослин.

Підсумовуючи отримані дані, необхідно відзначити, що структура бур'янового угруповання збалансована за біологічними групами. Це свідчить про стабільність та самодостатність сформованого агрофітоценозу. Дана ситуація призводить до підвищення рівня конкуренції за основні фактори життя (волога, світло, поживні речовини), що потенційно може призвести до значного зниження врожайності кукурудзи.

3.2. Вплив гербіциду Стеллар Плюс на рівень забур'яненості посівів кукурудзи

Біологічну ефективність дії гербіциду визначають за формулою:

$$E = \frac{K-D}{K} \times 100, \text{ де:}$$

Е — біологічна ефективність, %;

К — кількість бур'янів у контролі (без обробки), шт./м²;

Д — кількість бур'янів у варіанті з гербіцидом, шт./м².

Розрахунки біологічної ефективності показали, що використання гербіциду Стеллар Плюс значно знизило рівень поширення бур'янів на рослинах кукурудзи. Найнижча ефективність зафіксована за норми витрати 1,0 л/га — 71–75%, що свідчить про недостатній рівень боротьби з бур'янами за мінімального внесення препарату.

Зі збільшенням норми гербіциду зростала і ефективність його дії. Так, при нормі 1,1 л/га вона становила 80–81%, а при нормі 1,2 л/га — 84–86%. Найвищий

рівень біологічної ефективності (89–90%) був досягнутий при внесенні 1,3 л/га препарату, що забезпечило максимальне пригнічення рослинності.

У варіанті ручного прополювання ефективність досягала 91–100%, але цей метод менш придатний для виробничих умов через високу трудомісткість.

Таблиця 3.2 Біологічна ефективність гербіциду Стеллар Плюс, 2025 р.

Варіант досліджу	Норма, л/га	Зниження забур'яненості, %	Біологічна ефективність, %
Контроль	–	0	0
Ручне прополювання	–	91-100	91-100
Стеллар Плюс	1,0	71-75	71-75
Стеллар Плюс	1,1	80-81	80-81
Стеллар Плюс	1,2	84-86	84-86
Стеллар Плюс	1,3	89-90	89-90

Встановлено чітку залежність між рівнем зниження забур'янення та урожайністю кукурудзи (табл. 3.3).

Дані, наведені в таблиці 3.2, показують, що норми гербіцидів суттєво вплинули на рівень забур'яненості рослин та врожайність кукурудзи у 2025 році. У варіанті без заходів боротьби з бур'янами (контроль) рівень забур'яненості був максимальним, що негативно вплинуло на формування врожаю – урожайність склала лише 5,6 т/га.

Ручне прополювання забезпечило найбільше зменшення кількості бур'янів на 91–100%, що призвело до максимальної врожайності 7,6 т/га та збільшення врожайності на 2,0 т/га порівняно з контрольним методом. Однак цей метод є трудомістким та менш економічно доцільним у виробничих умовах.

Використання гербіциду Стеллар Плюс (д.р. 50 г/л топрамезон, 160 г/л дикамба) у фазі 3–8 листків культури (ранні фази росту бур'янів) в різних нормах витрат призвело до значного зменшення кількості бур'янів та збільшення врожайності. Так, при нормі 1,0 л/га зменшення кількості бур'янів становило 71–75%, що забезпечило приріст врожайності на 0,8 т/га. Зі збільшенням норми гербіциду до 1,1–1,2 л/га ефективність боротьби з бур'янами зросла до 80–86%, а врожайність збільшилася до 6,9–7,0 т/га.

Таблиця 3.3 Вплив норм гербіциду на забур'яненість та урожайність кукурудзи, 2025 р.

Варіант досліджу	Норма гербіциду, л/га	Зниження забур'яненості, %	Урожайність, т/га	Приріст урожаю, т/га
Контроль	–	0	5,6	0,0
Ручне прополювання	–	91-100	7,6	2,0
Стеллар Плюс	1,0	71–75	6,4	0,8
Стеллар Плюс	1,1	80-81	6,9	1,3
Стеллар Плюс	1,2	84-86	7,0	1,4
Стеллар Плюс	1,3	89-90	7,1	1,5
НІР ₀₅			0,65	

Серед досліджуваних варіантів із використанням гербіцидів найвищі показники ефективності були досягнуті за норми витрати 1,3 л/га, за якої зменшення кількості бур'янів досягло 89–90%, а врожайність склала 7,1 т/га, що сформувало максимальний приріст урожаю на 1,5 т/га.

Таким чином, встановлено прямий зв'язок між рівнем боротьби з бур'янами та формуванням врожаю кукурудзи. Збільшення дози гербіциду сприяє

підвищенню ефективності боротьби з бур'янами, що, у свою чергу, позитивно впливає на врожайність. Найбільш оптимальна норма з агрономічної точки зору становить 1,2–1,3 л/га, що дозволяє забезпечити високий рівень боротьби з бур'янами та значне збільшення врожайності.

3.3. Економічна ефективність застосування гербіциду Стеллар Плюс

Економічну ефективність застосування гербіциду оцінювали за індексом рентабельності, який визначається як відношення умовного чистого прибутку до виробничих витрат. Умовний чистий прибуток розраховували як різницю між додатковим доходом, отриманим в результаті збільшення врожайності, та витратами на застосування гербіцидів. Додатковий дохід визначали на основі збільшення врожайності та ціни продажу продукції. Рівень рентабельності виражали у відсотках.

Рівень рентабельності визначали за загальноприйнятою економічною формулою:

$$R = \frac{\Pi}{B} 100, \text{ де} \quad (2)$$

R – рівень рентабельності, %;

Π – умовно чистий прибуток, грн/га;

B – виробничі витрати, грн/га.

Було використано такі умови розрахунку:

Ціна зерна кукурудзи – 5000 грн/т;

Витрати на гербіцид – 1500-1800 грн/га;

Ручна праця – близько 4000 грн/га.

Результати розрахунків економічної ефективності показують доцільність використання гербіциду Стеллар Плюс у посівах кукурудзи. Найвищий умовний

чистий прибуток було досягнуто за норми внесення 1,3 л/га — 6200 грн/га, що супроводжувалося максимальним рівнем рентабельності — 344% (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 Економічна ефективність застосування гербіциду Стеллар Плюс

Варіант досліджу	Урожайність, т/га	Приріст, т/га	Вартість продукції, грн/га	Додатковий дохід, грн/га	Витрати на гербіциди, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рентабельність, %
Контроль	5,6	0,0	28000	0	0	0	0
Ручне прополовання	7,6	2,0	38000	10000	4000	6000	150
Стеллар 1,0	6,4	0,8	32000	4000	1500	2500	167
Стеллар 1,1	6,9	1,3	34500	6500	1600	4900	306
Стеллар 1,2	7,0	1,4	35000	7000	1700	5300	312
Стеллар 1,3	7,2	1,6	36000	8000	1800	6200	344

Використання гербіциду в нормі 1,2 л/га також дало високий економічний ефект — 5300 гривень/га прибутку та 312% рентабельності. За нижчих норм (1,0–1,1 л/га) економічна ефективність була дещо нижчою, що пов’язано з недостатнім рівнем боротьби з бур’янами.

Ручна прополка також забезпечила високий приріст врожаю (2,0 т/га), але його рентабельність була дещо нижчою, ніж від використання гербіциду через значні витрати праці. Тому найбільш економічно вигідним варіантом є використання гербіциду Стеллар Плюс у нормі 1,2–1,3 л/га, яке забезпечує раціональне співвідношення між витратами та рівнем урожайності.

3.4. Застосування засобів захисту рослин із застосуванням агродрону DJI Agras T40

На тлі зростаючого тиску на сільськогосподарську продукцію з боку таких факторів, як зміна клімату, нестача робочої сили та необхідність раціонального використання ресурсів, цифрові технології відіграють дедалі важливішу роль. Це особливо актуально для систем захисту зернових культур, оскільки швидкість і точність виявлення загроз мають вирішальне значення для захисту врожаю.

Традиційний метод боротьби зі шкідниками передбачає регулярні огляди полів, візуальну ідентифікацію ознак ураження та прийняття рішень «на місці». Такий підхід має ряд недоліків.

Цифровий моніторинг: технології, що змінюють агросферу

1. Автоматизовані пастки

Це пристрої, оснащені камерами або датчиками, які приваблюють і утримують комах (наприклад, феромонні пастки для зернового довгоносика або кукурудзяного довгоносика). Наприклад: українські компанії тестують автоматизовані пастки, які дозволяють переглядати фотографії дистанційно через мобільний додаток. Це дає змогу в режимі реального часу бачити, коли шкідники починають масовий виліт.

2. Дрони і БПЛА

Дрони, оснащені мультиспектральними або тепловізійними камерами, дають змогу виявляти стрес рослин ще до появи видимих ознак пошкодження. Наприклад: виявлення полів кукурудзи, уражених кукурудзяним метеликом, за допомогою аналізу NDVI. Однак існує низка недоліків: значна залежність від досвіду агронома; неможливість моніторингу великих площ у режимі реального

часу; а також ризик затримки реагування, внаслідок чого шкідники вже встигають завдати шкоди.

3. Супутниковий моніторинг

Такі онлайн-платформи, як EOS Crop Monitoring, OneSoil та Climate FieldView, дають змогу фермерам стежити за розвитком і станом своїх посівів. У разі раптової зміни індексу NDVI система попереджає їх про можливе зараження шкідниками або стрес у рослин.

4. Цифрові агроплатформи

Програмне забезпечення, яке збирає дані з полів, датчиків та метеостанцій, що дозволяє агрономам створювати карти поширення шкідників, прогнозувати їх появу та планувати заходи боротьби. Наприклад: платформа Cropio дозволяє користувачам інтегрувати карти ризиків та графіки обробки для кожного поля.

Прогнозування шкідників за допомогою ШІ

Штучний інтелект та машинне навчання дають змогу створювати прогнози щодо ризику появи шкідників на основі агрокліматичних даних, історії зараження за тривалий період, видів рослин та стадії їхнього розвитку. Наприклад: система iMetos від Pessl Instruments прогнозує активність шкідників (зокрема трипсів, щитівок та метеликів) на основі температури, вологості та фаз міграції.

Переваги цифрових систем захисту

Економія на засобах захисту рослин досягається завдяки обробці лише уражених ділянок.

Швидке реагування — завдяки оперативному збиранню даних.

Прозора аналітика — дозволяє аналізувати ефективність попередніх обробок.

Масштабованість — можливість обробляти тисячі гектарів без втрати якості контролю.

В Україні вже активно працюють агротехстартапи, які інтегрують ІТ у агровиробництво (DroneUA, AgriLab, SmartFarming). Інноваційні господарства, які проводять демонстраційні проєкти зі встановлення цифрових метеостанцій і пасток. Багато компаній бачать потенціал в інвестиціях у точне землеробство, особливо в захисті зернових культур, таких як пшениця, кукурудза та ячмінь.

За розрахунками фахівців компанії «АероАгро», швидкість польоту дрона при використанні спеціального DJI Agras T40 становить 25 км/год, що на 8 км/год швидше, ніж при використанні звичайного обприскувача. В середньому за звичайного робочого графіка дрон обробив 100–150 гектарів за 12 годин.

Також важливо заздалегідь підготувати детальний план робіт. Для обробки посівів рекомендується використовувати комбінацію дрона (DJI Agras T40) та розвідувального дрона (DJI Inspire 2) для проведення попередніх польотів та спостережень за полем, збираючи інформацію про якість обробки.

Отже, ми провели аерофотозйомку полів за допомогою дрона DJI Inspire 2 та методу, описаного в попередньому абзаці. Потім ми створили точну карту та позначили межі ділянок обробки. Дані було завантажено до програмного забезпечення DJI Terra, і ми створили точну фотограмметричну карту нашого поля площею 65 гектарів. Карту з позначеними межами завантажують у контролер Agras T40, і дрон виконує обробку точно вздовж цих меж.

Давайте для порівняння проаналізуємо застосування ручних методів та традиційних надземних технологій. За даними агрономів компанії «Престиж», були враховані простої самохідної техніки через дощову погоду, втрата орних земель через знесення розпилювача — щонайменше 3% і до 6% у разі необережної експлуатації трактора з обприскувачем, а також витрати на обслуговування самохідної польової техніки. Безпілотні літальні апарати можуть обробляти проблемні або важкодоступні ділянки з більшою точністю та

ретельністю. Дрони працюють за будь-яких погодних умов і є безпечнішими для бригади, що працює з хімікатами – ризик випадкового контакту значно знижується, до того ж це економічно вигідніше, а для керування дроном за пультом потрібна лише одна людина.

Ширина зони обприскування цього дрона становить 4–7 метрів, а висота — 1,5–3 метри. Добре спланована стратегія обробки має вирішальне значення — це одна з головних запорок успіху. Заправку паливного бака дрона та заміну акумуляторів слід здійснювати якомога ближче до зони обробки.

Цей параметр можна регулювати відповідно до руху дрона над рослинами. Це скорочує час польоту в режимі очікування та підвищує ефективність виконуваних робіт. Час польоту DJI Agras T40 на одному заряді акумулятора становить 10 хвилин. Цей час може змінюватися залежно від того, як швидко дрон втрачає вагу під час внесення добрив. Чим довше він літає з повним баком, тим коротшим буде час польоту. Повністю завантажений дрон (без корисного навантаження) літає 5 хвилин. Якщо розвантаження починається відразу — до 15 хвилин.

Вбудований модуль RTK забезпечує дрону точність позиціонування на рівні сантиметрів, що позитивно впливає на якість обробки посівів.

Окрім забезпечення такої ж ефективності посіву, як і у безпілотних літальних апаратів, це має низку економічних переваг:

- споживання води зменшується вдесятеро (не потрібне регулярне водопостачання: не задіяні ані техніка, ані людські ресурси);
- відсутній механічний вплив на ґрунт, а отже, не відбувається його ущільнення;
- поле можна обробляти за допомогою дронів навіть тоді, коли фізичний стан ґрунту (наприклад, сильне перезволоження після дощу) унеможливорює в'їзд колісної техніки на поле;

- завдяки активному обертанню лопатей і дрібному розпиленню, а також повній спрямованості повітряного потоку гвинта вниз, робочий розчин впорскується під тиском, що забезпечує повне покриття рослини препаратом і запобігає стіканню розчину з листя.

Отже, використання дронів для обприскування з надзвичайно низькою витратою рідини займає менше часу та завдає меншої шкоди ґрунту й рослинам, що дозволяє економити паливо та пестициди, підвищує ефективність обробки та зменшує зношування обладнання.



Рис. 3.2. Агродрон DJI Agras T40



Рис. 3.3 Використання агродрону на полі кукурудзи, Черкаська область 2025 р.



Рис. 3.4 Використання агродрону на полі кукурудзи, Черкаська область 2025 р.

Отже, цифрові технології в агрономії — це не лише «мода» чи високі технології заради іміджу. Це необхідний інструмент для ефективного управління ризиками, оптимізації витрат і забезпечення продовольчої безпеки. Інтеграція інноваційних підходів до моніторингу та прогнозування шкідників — ключ до підвищення рентабельності аграрного виробництва та захисту врожаю в умовах нових викликів.

ВИСНОВКИ

1. Посіви кукурудзи характеризуються значною забур'яненістю. Основними видами бур'янів є осот жовтий, мишій сизий, лобода біла та берізка польова, які створюють висококонкурентний агрофітоценоз.
2. Доведено, що бур'яни значно знижують урожайність кукурудзи через конкуренцію за вологу, світло та поживні речовини, що може призвести до втрати 50% і більше врожаю.
3. Встановлено, що використання гербіциду Стеллар Плюс у фазі 3–8 листків кукурудзи є ефективним заходом боротьби з бур'янами, забезпечуючи зменшення їх кількості до 90–95%.
4. Встановлено зв'язок між нормою внесення гербіциду та рівнем зменшення кількості бур'янів: збільшення норми внесення препарату сприяє ефективнішому придушенню бур'янів.
5. Доведено, що використання гербіциду позитивно впливає на формування врожаю кукурудзи та забезпечує значне його збільшення порівняно з контролем.
6. Показано, що використання сільськогосподарського дрона DJI Agras T40 для внесення гербіцидів є перспективним напрямком, що дозволяє підвищити точність обробки, зменшити витрати препаратів та трудових ресурсів.
7. Визначено економічну доцільність використання гербіцидів та сільськогосподарських дронів, що проявляється у підвищенні рентабельності виробництва.
8. Обґрунтовано доцільність впровадження інтегрованої системи захисту кукурудзи, що поєднує хімічні, агротехнічні й сучасні цифрові технології.

Список літератури

1. Бур'яни та заходи боротьби з ними / За ред. І.Д. Примака. – К.: Урожай, 2005. – 320 с.
2. Бур'яни на посівних майданчиках. Регулювання їх чисельності в суданських злакових культурах / М.М. Прищепа, А.М. Влащук // Карантин і захист рослин. – 2006. – № 4. – С. 15–16.
3. Гербологія / І.Д. Примака, В.О. Єщенко, П.Г. Копитко. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 400 с.
4. Грицаєнко З. М. Гербіциди і продуктивність сільськогосподарських культур / З. М. Грицаєнко, А. О. Грицаєнко, В. П. Карпенко. - Умань, 2005. - 686 с.
5. Землеробство / В.П. Гудзь, І.Д. Примака, Ю.В. Будьонний та ін. – Київ: Центр учбової літератури, 2010. – 464 с.
6. Задорожний В.С., Мовчан І.В. Бур'яни в посівах кукурудзи / В.С. Задорожний, І.В. Мовчан // Карантин і захист рослин. - 2004. - №11. - С. 9-11.
7. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. — Львів: НВФ "Українські технології", 2006. – 730 с.
8. Танчик С.П. Проти однорічних та багаторічних двосім'ядольних / СП. Танчик // Захист рослин. - 1999. - № 6. - С 10-11
9. Трембіцька О. І., Столяр С. Г., Рибак І. С., Тетера С. А. Вплив технологій вирощування та способів догляду за посівами на урожайність кукурудзи // Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2024. Вип. 76 (1). С. 69–80. DOI: 10.32636/01308521.2024-(76)-1-7.
10. Fritz B K. Role of atmospheric stability in drift and deposition of aeri ally applied sprays—preliminary results. 2004 ASAE Annual Meeting, Ottawa, CA, 2004; 58:742–755.

11. He X K, Bonds J, Herbst A, Langenakens J. Recent development of unmanned aerial vehicles for plant protection in East Asia. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017; 10(3): 18–30.
12. Hilz E, Vermeer A W P. Spray drift review: the extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. *Crop Prot*, 2013; 44: 75–83.
13. Huang Y B, Thomson S J, Hoffmann W C, Lan Y B, Fritz B K. Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. *Int J Agric & Biol Eng*, 2013; 6(3): 1–10.
14. Hunter M C, Smith R G, Schipanski M E, Atwood L W, Mortensen D A. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience*, 2017; 67(4): 386–391.
15. Kirk I W, Fritz B K, Hoffmann W C. Aerial methods for increasing spray deposits on wheat heads. 2004 ASAE Annual Meeting, Ottawa, CA, 2004; 58:716–729.
16. Lan Y B, Chen S D, Fritz B K. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017; 10(3): 1–17.
17. Lan Y B, Chen S D. Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. *Int J Precisi Agric Aviat*, 2018; 1(1): 1–9.
18. Li H, He Y J, Qin C B, Liu D Q, Zhang K F. Ecological analysis on spray performance of multi-rotor unmanned aerial sprayer in soybean field. *Ekoloji*, 2019; 28(107): 4573–4579.
19. Macfadyen S, McDonald G, Hill M P. From species distributions to climate change adaptation: knowledge gaps in managing invertebrate pests in broad-acre grain crops. *Agric Ecosyst Environ*, 2018; 253: 208–219.
20. Mogili U R, Deepak B B V L. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Comput. Sci*, 2018; 133: 502–509.
21. Oerke E C. Crop losses to pests. *J Agric Sci*, 2006; 144(1): 31–43.

22. Tang Q, Zhang R R, Chen L P, Xu M, Yi T C, Zhang B. Droplets movement and deposition of an eight-rotor agricultural UAV in downwash flow field. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017; 10(3): 47–56.
23. Wang C L, He X K, Wang X N, Wang Z C, Wang S L, Li L L, et al. Testing method and distribution characteristics of spatial pesticide spraying deposition quality balance for unmanned aerial vehicle. *Int J Agric & Biol Eng*, 2018; 11(2): 18–26.
24. Xu B, Chen L P, Tan Y, Xu M. Path planning based on minimum energy consumption for plant protection UAVs in sorties. *Trans CSAM* 2015; 46(11): 36–42. (in Chinese)
25. Xue X Y, Lan Y B, Sun Z, Chang C, Hoffmann W C. Develop an unmanned aerial vehicle-based automatic aerial spraying system. *Comput Electron Agric*, 2016; 128: 58–66.
26. Xue X Y, Tu K, Qin W C, Lan Y B, Zhang H H. Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field. *Int J Agric & Biol Eng*, 2014; 7(4): 23–28.
27. Yang Z L, Qi L J, Wu Y L. Influence of UAV rotor down-wash airflow for droplet penetration. 2018 ASAE Annual Meeting, Michigan, USA, 2018.
28. Yuan L, Bao Z Y, Zhang H B, Zhang Y T, Liang X. Habitat monitoring to evaluate crop disease and pest distributions based on multi-source satellite remote sensing imagery. *Optik*, 2017; 145: 66–73.
29. Zhang X Q, Liang Y J, Qin Z Q, Li D W, Wei C Y, Wei J J, et al. Application of multi-rotor unmanned aerial vehicle application in management of stem borer (Lepidoptera) in sugarcane. *Sugar Tech*, 2019; 21(5): 847–852.
30. Zhu H, Lan Y B, Wu W F, Hoffmann W C, Huang Y B, Xue X Y, et al. Development of a PWM precision spraying controller for UAV. *J Bionic Eng*, 2010; 7(3): 276–283.

31. Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems / B.D. Booth et al. – CABI, 2003.
32. FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat/> (дата звернення: 01.05.2026).
33. CropLife International. Annual Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://croplife.org/> (дата звернення: 01.05.2026).