

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Агрономічний факультет
Кафедра ґрунтознавства та землеробства**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Поліщук Андрій Леонідович

УДК 629.7.05(477.41/.42)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АГРОДРОНІВ ДЛЯ
ПОСІВУ РІПАКУ ОЗИМОГО В УМОВАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**

201 «Агрономія»

Подається на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

**Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело _____ А.Л. Поліщук**

Керівник роботи

С. В. Журавель,
канд. с. г. наук, доцент

Житомир - 2024

Зміст

Анотація	3
Вступ	5
Розділ 1. Літературний огляд	8
Розділ 2. Умови, об'єкти і методика проведення досліджень	14
2.1. Місце та умови проведення досліджень	14
2.2. Об'єкти і методика проведення досліджень	16
Розділ 3. Результати досліджень	21
3.1. Лабораторні дослідження посівних якостей насіння озимого ріпаку в умовах Полісся	21
3.2. Створення експериментальної ділянки для модельного дослідження з різними нормами висіву озимого ріпаку	25
3.3. Вплив агротехнологій та норм висіву на ріст і розвиток озимого ріпаку за умов забур'яненості	30
3.4. Економічна ефективність традиційної технології та використання агродронів при вирощуванні озимого ріпаку як сидеральної культури в умовах Полісся	37
Висновки	40
Рекомендації виробництву	41
Список використаних джерел	42

АНОТАЦІЯ

Поліщук А.Л. «Технологічні особливості використання агродронів для посіву ріпаку озимого в умовах Полісся України». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 201 – агрономія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Робота викладена на 46 сторінках комп'ютерного набору, містить 8 таблиць, 6 рисунків, складається зі вступу, 3 розділів, висновків, рекомендацій виробництву. Список використаних джерел включає 42 найменувань.

Використання агродронів відкриває нові можливості для оптимізації посівних робіт, підвищення продуктивності та ефективного використання ресурсів, що є критично важливим в умовах Полісся з його ґрунтово-кліматичними умовами. Інноваційні технології дозволяють забезпечити рівномірний висів насіння, мінімізувати втрати, зменшити вплив на ґрунт і покращити якість посівів навіть у важкодоступних або забур'янених ділянках. Практична цінність роботи полягає в адаптації сучасних технологій до специфічних умов регіону, що сприятиме сталому розвитку агровиробництва, підвищенню економічної ефективності та екологічної стійкості сільського господарства України.

Ключові слова: агродрони, ріпак озимий, технологія посіву, Полісся України, інноваційні технології, точне землеробство, забур'яненість, екологічна стійкість, економічна ефективність.

SUMMARY

Polishchuk A.L. "Technological features of the use of agricultural drones for sowing winter rapeseed in the conditions of Polissya, Ukraine". - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for the degree of master in specialty 201 - agronomy. - Polissya National University, Zhytomyr, 2024.

The work is presented on 46 pages of a computer set, contains 8 tables, 6 figures, consists of an introduction, 3 sections, conclusions, recommendations for production. The list of sources used includes 42 items.

The use of agricultural drones opens up new opportunities for optimizing sowing operations, increasing productivity and efficient use of resources, which is critically important in the conditions of Polissya with its soil and climatic conditions. Innovative technologies allow for uniform seed sowing, minimize losses, reduce impact on the soil and improve crop quality even in hard-to-reach or weedy areas. The practical value of the work lies in the adaptation of modern technologies to the specific conditions of the region, which will contribute to the sustainable development of agricultural production, increase the economic efficiency and environmental sustainability of Ukrainian agriculture.

Keywords: agrodrones, winter rapeseed, sowing technology, Polissya of Ukraine, innovative technologies, precision agriculture, weediness, environmental sustainability, economic efficiency.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне сільське господарство характеризується стрімким розвитком технологій, що дозволяють підвищити ефективність виробничих процесів, оптимізувати використання ресурсів та зменшити негативний вплив на довкілля. Однією з таких інновацій є застосування агродронів для виконання агротехнічних операцій, зокрема для посіву сільськогосподарських культур. Агродрони відкривають нові можливості в управлінні агроєкосистемами, забезпечуючи точність і швидкість виконання робіт, що є особливо актуальним в умовах сучасних викликів. Озимий ріпак є перспективною сидеральною культурою для аграрного сектору України, яка відіграє важливу роль у поліпшенні родючості ґрунту та підтримці його екологічної стійкості. Завдяки здатності формувати значну зелену масу, ріпак ефективно збагачує ґрунт органічними речовинами, сприяє покращенню структури та запобігає ерозії. Особливо актуальним є вирощування ріпаку як сидерату в умовах Полісся, де складні кліматичні та ґрунтові умови вимагають адаптованих і технологічно прогресивних підходів.

В умовах Полісся, які характеризуються підвищеною вологістю, кислими ґрунтами та коротким вегетаційним періодом, використання ріпаку як сидеральної культури дозволяє оптимізувати систему землеробства. Для досягнення високої ефективності вирощування потрібне впровадження інноваційних технологій посіву, які сприяють рівномірному розподілу рослин, зниженню забур'яненості та забезпечують стійкість культури до стресових факторів навколишнього середовища. Використання сучасних технологій, таких як агродрони, відкриває нові можливості для оптимізації процесу посіву ріпаку озимого як сидеральної культури. Ці технології забезпечують точний висів, знижують витрати ресурсів та мінімізують негативний вплив на ґрунт, що є ключовим фактором для збереження екологічної рівноваги в регіоні. Інтеграція інноваційних рішень у вирощування ріпаку як сидерату сприяє покращенню агроєкологічного стану

ґрунтів Полісся та створює умови для підвищення стійкості сільського господарства до змін клімату.

У роботі досліджуються технологічні особливості використання агродронів для посіву ріпаку озимого в умовах Полісся України. Аналізуються переваги цього підходу, його вплив на рівномірність посіву, продуктивність культур, раціональність використання насіння та енергетичні витрати. Основна увага приділяється адаптації агротехнологій до регіональних особливостей, що дозволяє забезпечити ефективне та сталий розвиток агровиробництва в умовах Полісся.

Мета досліджень є наукове обґрунтування та розробка технологічних особливостей використання агродронів для посіву ріпаку озимого в умовах Полісся України, спрямованих на підвищення ефективності та рівномірності посіву, зменшення впливу забур'яненості, оптимізацію використання ресурсів та забезпечення сталого розвитку аграрного виробництва в регіоні.

Для досягнення поставленої мети, нами були вирішені такі завдання:

1. Досліджено ефективність гербіцидної та безгербіцидної технологій на прикладі вирощування озимого ріпаку в умовах забур'яненості.

2. Встановлено оптимальну норму висіву для забезпечення максимальної густоти посівів і продуктивності культури в умовах навчально-дослідного поля.

3. Проведено порівняльний аналіз економічної ефективності традиційних технологій і використання агродронів для внесення гербіцидів та посіву ріпаку озимого.

4. Вивчено проективне покриття бур'янової рослинності залежно від норм висіву та обраних технологічних підходів.

5. Проаналізовано стан ріпаку озимого та бур'янової рослинності в динаміці росту та розвитку за різних технологій і норм висіву.

6. Розроблено практичні рекомендації для виробництва щодо впровадження інноваційних технологій вирощування озимого ріпаку як сидеральної культури в умовах Полісся.

7. Визначено перспективи подальшого використання агродронів для оптимізації агротехнічних операцій у сільському господарстві.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси посіву ріпаку озимого за допомогою агродронів в умовах Полісся України.

Предметом дослідження є вплив гербіцидної та безгербіцидної технологій, норм висіву та використання агродронів на процеси росту, розвитку та стан озимого ріпаку як сидеральної культури в умовах Полісся.

Методи досліджень: польовий метод – включав спостереження за ростом і розвитком рослин, проведення біометричних обліків, вимірів. Статистичний метод - передбачав використання дисперсійного аналізу для обробки отриманих даних і визначення достовірності результатів. Розрахунковий метод - використовувався для оцінки економічної ефективності технологій вирощування [6].

Перелік публікацій автора за темою досліджень:

1. С. В. Журавель Моделювання технології посіву агродроном ріпаку озимого на сидеральні цілі за різних норм висіву та технології вирощування в умовах зони Полісся / Журавель С. В., Кравчук М. М., Журавель С. С., Поліщук А. Л., Стасюк Б. Б. // Znanstvena misel (Ljubljana, Slovenia) ISSN 3124-1123. 2024. № 96. P. 8-11.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота викладена на 46 сторінках комп'ютерного набору, містить 8 таблиць, 6 рисунків, складається зі вступу, 3 розділів, висновків, рекомендацій виробництву. Список використаних джерел включає 42 найменувань.

При написанні даної дипломної роботи ми використовували Положення про кваліфікаційні роботи у Житомирському національному агроекологічному університеті.

РОЗДІЛ І. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Використання агродронів для посіву ріпаку озимого в умовах Полісся України є інноваційним підходом до вирішення агротехнічних завдань, що відповідає сучасним тенденціям цифровізації сільського господарства. Полісся як природно-кліматичний регіон України має специфічні особливості, які впливають на розвиток сільськогосподарських культур. Ці чинники вимагають адаптації технологій вирощування ріпаку озимого до місцевих умов [3].

Ріпак є високомаржинальною, експортованою культурою, яка забезпечує високий рівень прибутковості за умови ретельного дотримання технологій вирощування. Для українських виробників ріпакової продукції відкриваються широкі перспективи для закріплення та розширення своїх позицій на світовому ринку. Особливо це актуально в умовах, коли європейські країни скорочують посівні площі під ріпаком, що створює сприятливу ринкову ситуацію через збереження високого попиту на цю культуру [1].

Водночас ріпак є цінною сировиною для виробництва харчових олій, біопалива та інших продуктів, що підвищує його стратегічну значущість у контексті енергетичної безпеки та диверсифікації ринків збуту. Завдяки адаптації сучасних технологій вирощування, таких як використання агродронів, Україна має можливість не лише збільшити обсяги виробництва ріпакової продукції, але й підвищити її якість, зменшити витрати та покращити конкурентоспроможність на міжнародній арені [2].

Існують дві форми ріпаку: ярий, або кольза, та озимий, причому саме озимий ріпак є найбільш поширеним і важливим. Насіння озимого ріпаку містить до 55% олії, яка широко використовується у харчовій, миловарній, лакофарбовій промисловості, а також для виробництва біодизелю. Крім того, у його складі є до 30% білка, до 10% клітковини та до 30% безазотистих екстрактивних речовин, що робить ріпак важливим джерелом цінної сировини для різних галузей [5].

Значний агротехнічний потенціал озимого ріпаку полягає у його здатності бути високоякісним попередником для інших культур. Він покращує агрофізичні властивості ґрунту, його фітосанітарний стан та забезпечує раннє звільнення поля. Розвинена коренева система ріпаку проникає глибоко в ґрунт, сприяючи покращенню його структури, що є важливим для підвищення родючості. Озимий ріпак також активно використовується як зелене добриво, збагачуючи ґрунт органічними речовинами [7, 8].

Посівні площі ріпаку у світі наразі становлять близько 25 млн га, із середньою врожайністю насіння на рівні 23,5–45,0 ц/га. У світовому виробництві олійних культур ріпак займає третє місце після сої та пальмової олії, випереджаючи соняшник. Його високий економічний потенціал і широкий спектр застосувань роблять культуру стратегічно важливою для сільського господарства та промисловості [9].

Агродрони дозволяють забезпечити точний і рівномірний розподіл насіння ріпаку, що є ключовим фактором для отримання високої врожайності культури. Основні переваги використання агродронів включають [3, 4]: 1) точність та рівномірність посіву. Завдяки сучасним навігаційним системам та датчикам, агродрони забезпечують точне дотримання посівних норм і рівномірність розподілу насіння на полі. Це дозволяє мінімізувати втрати насіння та забезпечити оптимальну густоту посівів. 2) Зниження витрат ресурсів. Агродрони сприяють економії насіння, палива та трудових ресурсів порівняно з традиційними методами. Це особливо важливо для господарств, які працюють на значних площах чи в умовах обмеженого фінансування. 3) Маневреність та доступність. В умовах Полісся, де часто зустрічаються важкодоступні ділянки або поля з нерівним рельєфом, агродрони демонструють високу ефективність. Вони можуть проводити посів у зонах, недоступних для традиційної техніки. 4) Швидкість виконання робіт. Агродрони дозволяють значно скоротити час виконання посівних робіт, що є критично важливим для дотримання оптимальних агротехнічних строків

посіву ріпаку озимого. 5) Мінімізація впливу на ґрунт. Оскільки дрони не створюють ущільнення ґрунту, що є типовим для традиційної важкої техніки, їх використання сприяє збереженню ґрунтової структури та родючості.

Застосування агродронів у регіоні Полісся має значний потенціал для підвищення рентабельності виробництва ріпаку озимого, оптимізації агротехнологічних процесів та зменшення негативного впливу на довкілля. Водночас, успішне впровадження цієї технології потребує врахування низки факторів, таких як підготовка персоналу, належне калібрування обладнання та адаптація до погодних умов регіону. Ці аспекти є важливими для формування стійкої системи землеробства в Поліссі України.

Розвинені країни вже почали використовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА) у точному землеробстві [25, 26], фотограмметрії та дистанційному зондуванні [27, 28]. Ця технологія є дуже швидкою і може значно зменшити навантаження на фермера. Загалом, БПЛА оснащені камерами і сенсорами для моніторингу стану культур та розпилювачами для внесення пестицидів. Раніше БПЛА використовувалися у військових і цивільних цілях [29]. Технічний аналіз використання БПЛА у точному землеробстві передбачає вивчення їхньої застосовності в таких аграрних операціях, як моніторинг стану посівів [30], оцінка висоти рослин [31], обприскування пестицидами [32], аналіз ґрунту та полів [33]. Однак їхнє технічне забезпечення [34] залежить від низки критичних факторів, таких як вага, дальність польоту, вантажопідйомність, конфігурація та вартість.

Одним із напрямів використання дронів, який досі отримував недостатню увагу від цієї технології, є сільське господарство. Дрони здатні літати автономно завдяки спеціалізованому програмному забезпеченню, яке дозволяє створювати плани польоту, налаштовувати систему за допомогою GPS та вводити різноманітні параметри, такі як швидкість, висота, область інтересу (ROI), геозони та режими безпеки. Дрони мають переваги перед повнорозмірними літаками завдяки поєднанню високої просторової

роздільної здатності, швидкої обробки даних, низьких витрат на експлуатацію та простоти використання. Ці характеристики є ключовими у точному землеробстві, де необхідно моніторити великі території та проводити аналіз за мінімальний час. Використання дронів стало можливим завдяки мініатюризації компактних камер та інших сенсорів, таких як інфрачервоні та сонаРНі датчики.

Японія першою успішно застосувала технологію безпілотних авіаційних систем (БПАС) для внесення агрохімікатів у 1980-х роках [35], а також для авіаційного обприскування культур у 1990-х роках. Станом на 2001 рік у Японії було продано та введено в експлуатацію 1 220 одиниць безпілотних вертольотів Yamaha [36]. Більше 2 000 безпілотних вертольотів Yamaha RMAX щорічно обробляють близько 2,5 мільйонів акрів [36]. США значно відстають від Японії у впровадженні безпілотників у сільському господарстві. Крім технічних труднощів, впровадження технологій у суспільство ускладнюють питання конфіденційності та правового регулювання. Незважаючи на те, що використання безпілотників у сільському господарстві поступово зростає, цей процес стримується численними технічними проблемами, які ще потребують вирішення.

Серед усіх застосувань безпілотників у сільському господарстві найбільшу увагу привертає виявлення та оцінка критичних факторів життєдіяльності у рослин. Це зумовлено значним потенціалом позитивного впливу раннього виявлення критичного фактору на ефективність сільськогосподарської діяльності. В результаті накопичується велика кількість даних і пропонуються різноманітні стратегії, що ускладнює відстеження сучасного стану технологій та основних викликів, які ще належить подолати.

Моніторинг посівів на наявність шкідників, рівень забезпечення поживними речовинами, хвороби, нестача води та загальний стан рослин є важливим аспектом точного землеробства. Традиційно це здійснювалося шляхом спостереження з повітря або на землі, але ці методи обмежуються

високими витратами на експлуатацію та доступністю. Зображення, отримані за допомогою легких літаків, зазвичай мають вищу роздільну здатність, є дешевшими та актуальнішими, але залишаються досить дорогими у розрахунку на один гектар. Малі безпілотні літальні апарати (БПЛА) або системи безпілотних авіаційних апаратів (СБАА) можуть бути використані для отримання просторово-часових даних із роздільною здатністю до сантиметрів. Вони здатні здійснювати польоти з постійним маршрутом і висотою, що дозволяє проводити регулярне та послідовне обстеження полів. Отримання зображень за допомогою БПЛА є більш керованим і менш залежним від хмарного покриття. СБАА вже використовуються у багатьох сферах сільського господарства, хоча вони все ще стикаються з багатьма обмеженнями та викликами.

Дрони можуть бути використані для моніторингу стану посівів протягом усього вегетаційного періоду, що дозволяє здійснювати своєчасні та цільові заходи. Використовуючи різні типи сенсорів, зокрема для візуального спектру, близького інфрачервоного (NIR) та теплового інфрачервоного випромінювання, можна розраховувати багатоспектральні індекси на основі відбивної здатності рослин на різних довжинах хвиль. Ці індекси використовуються для оцінки стану посівів, включаючи водний стрес, нестачу поживних речовин, напад шкідників, захворювання тощо.

Сенсори, встановлені на дронах, здатні виявляти захворювання або дефіцит поживних речовин навіть до появи видимих симптомів. Таким чином, дрони слугують інструментом для раннього виявлення хвороб. Це дозволяє створити систему раннього попередження, щоб своєчасно вживати відповідних заходів на основі рівня стресу. БПЛА здатні спостерігати стан посівів за допомогою різних індексів [37]. Вони можуть охоплювати гектари полів за один політ. Для такого спостереження використовуються теплові та багатоспектральні камери [38], встановлені на нижній частині квадрокоптера. Камери фіксують зображення рослинного покриття зі швидкістю один кадр на

секунду, зберігають дані в пам'ять та передають їх на наземну станцію через телеметрію.

Бур'яни - це небажані рослини, які ростуть у сільськогосподарських культурах і спричиняють низку проблем. Вони конкурують за доступні ресурси, такі як вода, поживні речовини та простір, що призводить до зниження врожайності та уповільнення росту культур [39]. Основним методом боротьби з бур'янами є застосування гербіцидів. У традиційному землеробстві фермери видаляють бур'яни вручну після їхньої появи, а найбільш поширеною практикою є рівномірне обприскування гербіцидів по всьому полю, навіть у тих ділянках, де бур'яни відсутні. Однак надмірне використання гербіцидів може призвести до появи стійких до гербіцидів бур'янів, що негативно впливає на ріст і врожайність культур, а також створює загрозу для навколишнього середовища.

Інноваційні методи включають використання гіперспектральних зображень для розпізнавання спектральних характеристик бур'янів, які мають різну стійкість до гербіцидів [40], та RGB-датчиків для класифікації різних видів бур'янів [41]. Наприклад, дослідники використовували дрони з гіперспектральними сенсорами для моніторингу бур'янів за вмістом хлорофілу в листяному покриві та щільністю листя [42]. Для подолання проблем надмірного використання хімікатів застосовуються системи управління бур'янами на основі геолокаційних даних. Для досягнення цієї мети необхідно створити точні карти покриття бур'янів, які показують місця, де необхідне внесення гербіцидів. Дрони можуть збирати зображення та дані з усього поля, що дозволяє створювати такі карти, забезпечуючи точне обприскування лише в необхідних зонах.

Застосування агродронів для обприскування гербіцидів ефективно як для передпосівного, так і для післяпосівного контролю бур'янів. Обприскування можливе в будь-яких польових умовах (грязь, бур'яни, шкідники тощо), а також у сонячну або мрячну погоду, що робить цей підхід універсальним і практичним.

РОЗДІЛ II. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Місце та умови проведення досліджень

Наші дослідження проводилися в межах реалізації пілотного міжнародного проекту на базі дослідного поля Поліського національного університету, розташованого поблизу села Велика Горбаша, що входить до Черняхівської селищної територіальної громади Житомирського району Житомирської області (географічні координати: 28°41'33" східної довготи, 50°26'24" північної широти). Обрана для експерименту ділянка понад три роки не піддавалася механічній обробці, була вкрита змішаною дикорослою рослинністю, мала щільно сформовану дернину і класифікувалася як переліг.

Ґрунти дослідної ділянки належать до ясно-сірих лісових, які характеризуються низьким вмістом гумусу (1,1–1,2%), недостатнім рівнем основних елементів живлення та підвищеною кислотністю (рН 5,7). Бал бонітету ґрунтів становить 28, що вказує на їхню обмежену родючість і необхідність застосування адаптованих технологій для успішного вирощування сільськогосподарських культур.

Модельний експеримент проводився на ділянці, вкритою бур'яною рослинністю, яка не піддавалася механічній обробці протягом кількох років. Це створило умови для вивчення можливостей використання сучасних технологій у реальних умовах природного забур'янення. Основною метою дослідження було оцінити ефективність агродронів для висіву різних норм насіння та динаміки розвитку посівів олійної редьки, а також визначити адаптаційний потенціал культури й її конкурентоспроможність у середовищі з високим рівнем бур'янів.

У ході експерименту відпрацьовувалися два технологічні підходи до вирощування культури: безгербіцидний та гербіцидний. За безгербіцидної технології висів здійснювався безпосередньо у бур'янову рослинність і сформовану дернину, що дозволило оцінити здатність культури адаптуватися

до умов високої конкуренції з дикорослою рослинністю. Гербіцидна технологія передбачала попередню обробку ділянки препаратом Раундап (2 л/га, діюча речовина — гліфосат), що сприяло зниженню конкуренції з боку бур'янів і створенню сприятливих умов для проростання культури.

Таке поєднання підходів дозволило не лише оцінити вплив агродронів на рівномірність посіву та економічну ефективність виконаних операцій, а й провести порівняльний аналіз розвитку культури в умовах гербіцидної та безгербіцидної технологій. Отримані результати забезпечують важливу наукову базу для подальшого впровадження інноваційних технологій у сільськогосподарське виробництво, зокрема у вирощування олійної редьки як проміжної або сидеральної культури.

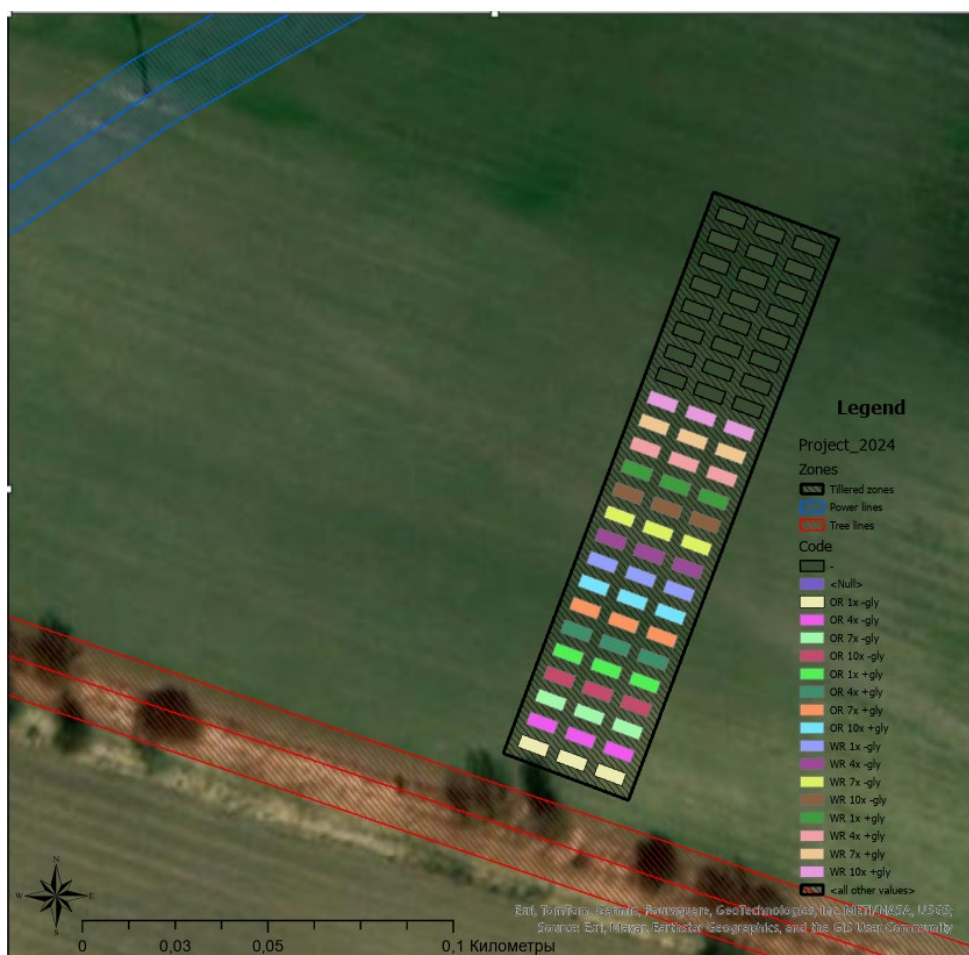


Рис. 1. Схема експерименту, адаптована до місцевих умов та специфіки дослідної ділянки із використанням програмного забезпечення ArcGIS Pro (ESRI).

Територія для проведення досліджень складається з двох окремих полів, кожне з яких адаптоване до специфічних цілей експерименту. Перше поле розміром 36×54,3 м включає 24 експериментальні ділянки, розміщені у триразовій повторності відповідно до затвердженої схеми дослідження. Друге поле використовується для мікроділяночного експерименту з вирощування тютюну, має розміри 16,8×7,3 м і також розділене на 24 ділянки із триразовою повторністю, виконаною за аналогічною схемою (рис. 1).

Для кожної повторності передбачено окремий ярус, що виконаний без рендомізації через особливості механізованого посіву, які вимагають чіткого дотримання послідовності дій. Такий підхід дозволяє уніфікувати умови для всіх варіантів дослідження, забезпечуючи рівність впливу технологічних та екологічних факторів на результати експерименту.

Розташування ділянок розроблено таким чином, щоб мінімізувати вплив зовнішніх чинників, таких як мікрокліматичні зміни чи нерівномірність ґрунтових характеристик, що є важливим для забезпечення об'єктивності та достовірності отриманих даних. Така організація експерименту сприяє оптимальній оцінці впливу досліджуваних факторів і є ключовою для отримання точних і науково обґрунтованих результатів.

2.2. Об'єкти і методика проведення досліджень

Дослідження проводилися на експериментальній ділянці Поліського національного університету, розташованій у зоні Полісся, яка характеризується складними ґрунтово-кліматичними умовами. Основним об'єктом дослідження був озимий ріпак як сидеральна культура, що висівалася за допомогою агродронів із застосуванням різних норм висіву. Для порівняння ефективності технологій застосовувалися гербіцидна та безгербіцидна технології, які дозволили оцінити адаптаційний потенціал культури до високого рівня забур'яненості. Польові спостереження включали біометричні виміри, оцінку густоти сходів, проективного покриття

бур'янової рослинності, а також визначення економічної ефективності застосованих технологій. Аналіз отриманих даних здійснювався за допомогою статистичних методів і програмного забезпечення для геоінформаційного аналізу ArcGIS Pro, що забезпечило точність і наукову достовірність результатів.

У рамках проведеного експерименту були випробувані два технологічні підходи до вирощування ріпака озимого, кожен із яких мав на меті оцінити ефективність методів контролю забур'яненості та їхній вплив на розвиток культури.

Безгербіцидна технологія передбачала висів насіння безпосередньо у наявну бур'янову рослинність та сформовану дернину, без використання хімічних препаратів для обробки ділянки. Цей підхід дозволив оцінити конкурентоспроможність ріпака озимого у природних умовах високої забур'яненості та її здатність адаптуватися до екологічних стресів.

Гербіцидна технологія включала попередню обробку експериментальної ділянки гербіцидом *Раундап* (діюча речовина — гліфосат) у нормі 2 л/га для усунення бур'янової рослинності. Такий підхід створював сприятливі умови для проростання культури за мінімальної конкуренції з боку бур'янів, що дозволило оцінити максимальний потенціал культури за ідеальних умов.

Для обох технологій застосовувалися різні норми висіву: 80, 320, 560 та 800 шт./м², що забезпечило можливість дослідити оптимальну густоту посіву для вирощування ріпаку озимого як сидеральної культури. Різноманітність норм висіву дала змогу проаналізувати вплив густоти рослин на їхню конкурентоспроможність, ріст і розвиток у різних умовах. Такий підхід забезпечив комплексну оцінку впливу технологічних факторів на продуктивність культури та її агроекологічну ефективність.

У ході дослідження проводилося фарбування насіння ріпаку озимого, що дозволило підвищити візуальну ідентифікацію насіння на поверхні ґрунту після посіву агродроном (рис. 2). Застосування цієї методики сприяло

ефективному аналізу рівномірності висіву, визначенню зон із надмірною концентрацією чи недостатнім розподілом насіння. Такий підхід забезпечив можливість отримати об'єктивні дані щодо точності посіву, що є критично важливим для оцінки роботи агродрона в умовах польового експерименту.

Крім того, фарбування насіння дозволило оперативно проводити контрольні виміри та оцінювати вплив різних норм висіву й технологічних параметрів на розподіл посівного матеріалу. Отримані результати можуть бути використані для подальшої оптимізації алгоритмів роботи агродронів і вдосконалення технологій точного землеробства, що є перспективним напрямом розвитку сучасного сільського господарства.



Рис. 2. Фарбоване насіння озимого ріпаку для оцінки рівномірності розподілу після посіву агродроном.

Для оцінки стану бур'янової рослинності на експериментальних ділянках використовувалася методика аналізу проективного покриття ґрунтової поверхні. Проективне покриття визначалося за допомогою окомірного методу, що включав візуальну оцінку площі, зайнятої бур'янами, у балах та відсотковому співвідношенні (рис. 3). Цей метод забезпечує оперативну та якісну оцінку рослинного покриву, враховуючи такі параметри, як густота, розміри та рівномірність розподілу бур'янової рослинності.

Отримані показники було детально зафіксовано у відповідних таблицях, що дало змогу провести порівняльний аналіз ефективності різних технологій обробітку ґрунту та норм висіву культурних рослин. Використання цього підходу дозволило встановити взаємозв'язок між рівнем забур'яненості, типом технології (гербіцидної чи безгербіцидної) та розвитком ріпаку озимого. Крім того, результати досліджень дали змогу оцінити вплив бур'янової конкуренції на продуктивність культури, що є важливим для подальшої оптимізації агротехнологій.

Бал	а	б	в	г	%
I					10
II					25
III					50
IV					>50

Рис. 3. Шкала окомірної оцінки забур'яненості за проективним покриттям бур'янами поверхні ґрунту (в балах і процентах):

*а, б – рівномірне поширення бур'янів на площі;
в – осередкове покриття;
г – суцільне покриття.*

Кількісний аналіз забур'яненості посівів, проведений за шкалою Арешнікова та інших дослідників, показав, що всі ділянки з озимим ріпаком характеризувалися дуже високим рівнем засміченості. Ступінь забур'яненості отримав максимальну оцінку (5 із 5 балів), а кількість бур'янів перевищувала 100 шт./м² (табл. 1).

Модельний дослід був спрямований на імітацію висіву насіння озимого ріпаку за допомогою дрона, що дозволило забезпечити точний і рівномірний розподіл насіння на дослідних ділянках. Під час експерименту досліджували особливості проростання, динаміку росту культури, її адаптацію до різного ступеня забур'яненості та ефективність застосованих технологій

виросування. Такий підхід забезпечив можливість оцінити потенціал ріпаку як сидеральної культури в умовах природного забур'янення.

Таблиця 1

Ступінь засміченості посівів редьки олійної за шкалою Арешнікова

(Кількість бур'янів на 1 м ² :	Бал засміченості:	Ступінь засміченості:
1–5	1	Дуже слабкий
6–15	2	Слабкий
16–50	3	Середній
51—100	4	Сильний
Понад 100	5	Дуже сильний

Для аналізу рівня забур'яненості застосовувалася комплексна методика, яка включала оцінку проективного покриття поверхні ґрунту та кількісний облік бур'янової рослинності за шкалою Арешнікова. Візуальні оцінки (окомірний метод) у поєднанні з кількісними даними дозволили отримати детальну характеристику стану бур'янової рослинності на кожній ділянці. Це дозволило не лише оцінити конкуренцію між ріпаком і бур'янами, але й виявити залежність ефективності технологій від рівня засміченості посівів.

Отримані результати дозволяють визначити оптимальні умови вирощування озимого ріпаку як сидеральної культури, враховуючи як економічну рентабельність, так і екологічну стійкість технологій. Вивчення адаптивного потенціалу культури в умовах різного ступеня забур'яненості та оцінка ефективності висіву за допомогою дрона сприяють розробці рекомендацій щодо впровадження інноваційних підходів у сільське господарство.

РОЗДІЛ III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Лабораторні дослідження посівних якостей насіння озимого ріпаку в умовах Полісся

Якість насіння є ключовим фактором, що визначає успіх агротехнічних заходів та рівень продуктивності сільськогосподарських культур. Особливо це важливо для проведення наукових досліджень, де точність дотримання експериментальних умов безпосередньо впливає на достовірність отриманих результатів. У цьому контексті оцінка посівних якостей насіння перед висівом є обов'язковою процедурою, яка дозволяє забезпечити відповідність фактичної густоти рослин заданим параметрам і уникнути помилок, спричинених низькою схожістю або нерівномірним проростанням.

Ріпак озимий - культура, яка характеризується високими вимогами до якості насіннєвого матеріалу, оскільки від швидкості й рівномірності проростання залежить формування сходів, їх зимостійкість і продуктивність. Умови Полісся вимагають від насіння ріпаку не лише високої енергії проростання та схожості, але й здатності забезпечувати оптимальну густоту стояння навіть за несприятливих кліматичних умов.

У цьому розділі представлено результати лабораторних досліджень посівних якостей насіння озимого ріпаку, які було використано для проведення польового експерименту. Метою цих досліджень було визначення енергії проростання, схожості та загальної якості насіння для забезпечення належної підготовки до закладання польового дослід. Отримані результати дозволяють оцінити придатність насіння для використання в експерименті, підтвердити відповідність норм висіву та уникнути можливих похибок, пов'язаних із нерівномірністю сходів або недостатньою густотою стояння рослин.

Результати лабораторного дослідження насіннєвих кондицій озимого ріпаку свідчать про високий рівень якості насіння, що підтверджується значеннями енергії проростання та лабораторної схожості (табл. 2). Ці

показники є важливими характеристиками для оцінки посівного матеріалу, оскільки вони визначають здатність насіння до швидкого і рівномірного проростання, а також впливають на рівномірність сходів у польових умовах.

Таблиця 2

Посівні якості насіння ріпаку озимого за результатами лабораторного дослідження (n=3)

Культура	Енергія проростання, %				Схожість, %			
	I	II	III	Середнє	I	II	III	Середнє
Winter rapeseed (ріпак озимий)	82	92	76	83,3	92	96	96	94,7

Значення енергії проростання коливалися від 76% до 92%, із середнім показником 83,3%. Це свідчить про те, що більша частина насіння здатна швидко прорости у перші дні після висіву, забезпечуючи дружні сходи. Висока енергія проростання важлива для озимого ріпаку, оскільки своєчасне проростання дозволяє рослинам сформувати потужну кореневу систему та розетки листя до настання зими. Значення 76% у третьому повторенні може бути зумовлене природними варіаціями якості окремих партій насіння або умовами лабораторного тестування. Однак цей показник залишається прийнятним для подальшого використання насіння.

Показники схожості варіювалися від 92% до 96%, із середнім значенням 94,7%. Це свідчить про високу якість насіння, оскільки майже все протестоване насіння здатне формувати життєздатні паростки. Висока схожість є вирішальним фактором для забезпечення оптимальної густоти стояння рослин на полі, що особливо важливо для експериментів, де необхідна мінімізація похибок у визначенні фактичної густоти посівів. Рівень схожості понад 90% відповідає вимогам високоякісного насіння та дозволяє використовувати його без додаткової корекції норми висіву.



Рис. 4. Лабораторний аналіз схожості та енергії проростання для уточнення фактичної норми висіву озимого ріпаку

Висока енергія проростання та схожість підтверджують придатність закупленого насіння для посіву в умовах навчально-дослідного поля. Це дозволяє уникнути збільшення норми висіву для компенсації можливих втрат у густоті стояння рослин. Результати свідчать про відповідність насіння вимогам польових дослідів, що забезпечує належну точність експерименту. Отже, отримані лабораторні дані вказують на високу якість насіннєвого матеріалу озимого ріпаку, що дозволяє ефективно використовувати його в польових умовах без ризику зниження густоти стояння рослин і врожайності через недостатню схожість або енергію проростання.



Рис. 5. Лабораторний аналіз схожості та енергії проростання насіння озимого ріпаку (на 3-й день після закладки)

Вирощування озимого ріпаку вимагає ретельного підходу до підготовки насіннєвого матеріалу, оскільки якість насіння безпосередньо впливає на густоту рослин, рівномірність сходів та продуктивність культури.

Лабораторні дослідження є важливим етапом у підготовці до посіву, адже вони дозволяють оцінити основні показники якості насіння, зокрема енергію проростання та схожість. Ці параметри визначають здатність насіння швидко й дружно проростати, а також формувати життєздатні сходи.



Рис. 6. Лабораторний аналіз схожості та енергії проростання насіння озимого ріпаку (на 7-й день після закладки)

Дані лабораторних досліджень використовуються для уточнення фактичної норми висіву, що забезпечує досягнення оптимальної густоти рослин на полі та мінімізує вплив можливих похибок. Оцінка схожості та енергії проростання проводиться в різні терміни після закладки досліду (3-й і 7-й день), що дозволяє отримати комплексну характеристику якості насіннєвого матеріалу.

Лабораторні досліді, представлені у цьому розділі, спрямовані на встановлення оптимальних параметрів якості насіння ріпаку озимого для подальшого його використання в польових умовах. Результати досліджень допоможуть забезпечити належну підготовку до посіву та підвищити ефективність вирощування культури.

3.2. Створення експериментальної ділянки для модельного дослідження з різними нормами висіву озимого ріпаку.

Ефективна закладка експериментальної ділянки для дослідження різних норм висіву озимого ріпаку є ключовим етапом у проведенні наукового експерименту, що забезпечує отримання достовірних результатів для аналізу впливу агротехнологій на ріст, розвиток і конкурентоспроможність культурних рослин у різних умовах забур'яненості. Завданням цієї частини дослідження було створення умов для детального аналізу динаміки ростових процесів ріпаку озимого та взаємодії з бур'яною рослинністю.

Нами було проаналізовано загальний стан експериментальних ділянок, включаючи стан культурних та дикорослих видів. Для цього проведено додаткові дослідження, які охоплювали визначення фактичної густоти культурних рослин у динаміці за різними технологіями та нормами висіву, облік поширених видів бур'янів, а також порівняння впливу технологій вирощування (гербіцидна/безгербіцидна) на ріст і розвиток культур.

У рамках дослідження було реалізовано безгербіцидний підхід до вирощування ріпаку озимого, що передбачав посів культури безпосередньо у наявну бур'янову рослинність і дернину. Такий підхід дозволяє уникнути використання хімічних препаратів для підготовки ґрунту, зберігаючи його природну структуру та екосистему. Для порівняння ефективності, за гербіцидної технології проводилася попередня обробка ґрунту гербіцидом Раундап (дозування — 2 л/га, діюча речовина — гліфосат), що забезпечувало очищення ділянки від бур'янів перед посівом. Для оцінки ефективності підходів використовували різні норми висіву, що включали 80, 320, 560 та 800 схожих насінин на м². Дослідження проводилися з триразовою повторністю для підвищення точності результатів. Посів був здійснений 6 червня 2024 року в умовах навчально-дослідного поля. Для забезпечення динамічного моніторингу стану посівів, відбір даних проводився з інтервалом у 20 днів. Це дозволило дослідити вплив різних норм висіву та

технологічних підходів на ріст і розвиток рослин у реальних польових умовах.

Результати дослідження динаміки росту та розвитку рослин озимого ріпаку за різних норм висіву демонструють суттєві відмінності у виживаності та густоті рослин залежно від використання гербіцидної та безгербіцидної технологій (табл. 3). За умов безгербіцидної технології густина рослин варіювалася в межах 74–768 шт./м² залежно від норми висіву. Найвища густина спостерігалася за норми висіву 800 шт./м² (768 шт./м²), що відповідає 96% виживаності. Однак при зниженні норми висіву до 80 шт./м² густина становила лише 74 шт./м², що демонструє меншу стійкість до зовнішніх умов у порівнянні з гербіцидною технологією.

За умов обробки гліфосатом густина рослин була дещо вищою за аналогічних норм висіву, особливо при низьких значеннях. Наприклад, за норми висіву 80 шт./м² густина становила 76 шт./м², що відповідає 95% виживаності. Вищі норми висіву, такі як 800 шт./м², дали густоту 725 шт./м² (90,6%), дещо поступаючись безгербіцидній технології (768 шт./м², 96%).

Таблиця 3

**Динаміка росту та розвитку рослин озимого ріпаку за різних норм висіву
(06.06.2024, середнє значення, триразова повторність)**

Культура	Технологія	Норма висіву насіння (шт/м ²)	густина рослин, шт/м ²	% виживабельності
Ріпак озимий	Без застосування гербіциду	80	74	92,5
		320	290	90,6
		560	502	89,6
		800	768	96,0
	Обробка гліфосатом	80	76	95,0
		320	315	98,4
		560	487	87,0
		800	725	90,6

При безгербіцидній технології виживабельність рослин коливалася від 89,6% до 96,0%, залежно від норми висіву. Найвищий показник спостерігався за норми висіву 800 шт./м² (96,0%), що свідчить про здатність культури адаптуватися до конкурентних умов, спричинених бур'яною рослинністю.

Показники виживаності при гербіцидній технології виявилися вищими у діапазоні низьких і середніх норм висіву, досягаючи 98,4% за норми 320 шт./м². Однак при високій нормі висіву (800 шт./м²) виживаність знизилася до 90,6%, що може бути пов'язано з підвищеною конкуренцією між рослинами через густоту.

Низькі норми висіву (80 шт./м²) за умов гербіцидної технології забезпечили дещо вищу густоту (76 шт./м²) і виживабельність (95%) порівняно з безгербіцидною (74 шт./м², 92,5%). Це свідчить про те, що попереднє очищення ґрунту сприяє зменшенню конкуренції рослин із бур'янами на початкових етапах розвитку. Середні норми висіву (320 шт./м²) за умов гербіцидної технології продемонстрували найкращий результат із виживабельністю 98,4%, тоді як безгербіцидна — 90,6%. Це підтверджує ефективність гліфосату у створенні сприятливих умов для культури. Високі норми висіву (560–800 шт./м²) за умов гербіцидної технології показали вищу густоту та виживабельність рослин (наприклад, 96% проти 90,6% за норми 800 шт./м²). Це може бути пов'язано з кращим пристосуванням рослин до конкурентних умов при високій щільності посівів.

Отже, гербіцидна технологія ефективніше забезпечує високі показники виживабельності при низьких і середніх нормах висіву завдяки усуненню бур'янової рослинності. Це особливо важливо для формування густих, рівномірних сходів у період масових проростань. Безгербіцидна технологія демонструє кращі результати при високих нормах висіву, коли конкуренція між рослинами культури з бур'янами мінімізується завдяки їх щільному змиканню. Для підвищення ефективності вирощування ріпаку озимого в умовах забур'яненості доцільно використовувати гербіцидну технологію для

низьких і середніх норм висіву, тоді як за високих норм безгербіцидний підхід може бути більш екологічно раціональним.

Результати дослідження станом на 26.06.2024 р. таблиця 4. динаміки росту та розвитку рослин озимого ріпаку за різних норм висіву показали суттєві відмінності у густоті стояння та виживабельності залежно від застосування гербіцидної та безгербіцидної технологій. У безгербіцидному варіанті густина рослин за низької норми висіву 80 шт./м² становила лише 15 рослин/м² із виживабельністю 18,8%, що свідчить про значний вплив конкуренції з бур'янами. При збільшенні норми висіву до 800 шт./м² густина зросла до 214 рослин/м², а виживабельність досягла 26,8%, що демонструє часткове компенсування втрат через підвищення норми висіву, однак загальний рівень виживабельності залишався низьким.

Таблиця 4

**Динаміка росту та розвитку рослин озимого ріпаку за різних норм висіву
(26.06.2024, середнє значення, триразова повторність)**

Культура	Технологія	Норма висіву насіння (шт/м ²)	густина рослин, шт/м ²	% виживабельності
Ріпак озимий	Без застосування гербіциду	80	15	18,8
		320	87	27,2
		560	101	18,0
		800	214	26,8
	Обробка гліфосатом	80	73	91,3
		320	301	94,1
		560	102	18,2
		800	458	57,3

У гербіцидній технології показники виживабельності були значно вищими при низьких і середніх нормах висіву. За норми 80 шт./м² густина становила 73 рослини/м² з виживабельністю 91,3%, а за 320 шт./м² — 301 рослина/м² з виживабельністю 94,1%, що свідчить про ефективне усунення конкуренції з боку бур'янів завдяки попередній обробці ґрунту гліфосатом. Однак при високих нормах висіву, таких як 560 шт./м², виживабельність у

гербіцидному варіанті була лише на рівні 18,2%, що свідчить про можливий вплив внутрішньої конкуренції між рослинами ріпаку, аналогічно до безгербіцидного варіанту (18,0%). За максимальної норми висіву 800 шт./м² гербіцидна технологія показала густоту 458 рослин/м² із виживабельністю 57,3%, що значно перевищує показники безгербіцидної технології, однак не досягає оптимального рівня через зростаючу конкуренцію між рослинами. Загалом, результати демонструють перевагу гербіцидної технології при низьких і середніх нормах висіву для забезпечення високої густоти стояння рослин і виживабельності, тоді як безгербіцидний підхід виявляє значні втрати через посилення конкуренції з бур'янами, особливо при низьких нормах висіву.

Результати дослідження динаміки росту та розвитку рослин озимого ріпаку станом на 12.07.2024 року свідчать про значні відмінності у виживаності рослин залежно від використання гербіцидної або безгербіцидної технології. За безгербіцидної технології всі норми висіву (80, 320, 560 та 800 шт./м²) показали повну втрату рослин, що підтверджує критичний вплив конкуренції з бур'яновою рослинністю та неспроможність культури ріпаку конкурувати за ресурси без попередньої обробки ґрунту.

Таблиця 5

**Динаміка росту та розвитку рослин озимого ріпаку за різних норм висіву
(12.07.2024, середнє значення, триразова повторність)**

Культура	Технологія	Норма висіву насіння (шт/м ²)	густина рослин, шт/м ²	% виживабельності
Ріпак озимий	Без застосування гербіциду	80	0	0,0
		320	0	0,0
		560	0	0,0
		800	0	0,0
	Обробка гліфосатом	80	69	86,3
		320	292	91,3
		560	13	2,3
		800	246	30,8

У гербіцидній технології ситуація виявилася кращою. За низької норми висіву (80 шт./м²) густота рослин становила 69 шт./м², а виживабельність — 86,3%, що свідчить про ефективність обробки гліфосатом у забезпеченні умов для збереження сходів. При нормі висіву 320 шт./м² густота зроста до 292 шт./м², а виживабельність досягла 91,3%, що є найкращим результатом серед усіх норм висіву в гербіцидному варіанті. Проте за високої норми висіву 560 шт./м² виживабельність різко знизилася до 2,3% (13 рослин/м²), що може бути зумовлено надмірною внутрішньовидовою конкуренцією, яка послаблює рослини і робить їх більш уразливими до стресових факторів. При нормі 800 шт./м² густота становила 246 рослин/м² із виживабельністю 30,8%, що свідчить про кращу адаптацію до підвищеної густоти, однак значно поступається результатам середніх норм висіву.

Отримані результати демонструють ключову роль гербіцидної технології у забезпеченні збереження посівів ріпаку озимого, особливо за низьких і середніх норм висіву. Без застосування гербіцидів культура не здатна конкурувати з бур'янами, що призводить до повної загибелі рослин. Водночас надмірна густота висіву у гербіцидному варіанті також негативно впливає на виживабельність через посилення внутрішньовидової конкуренції. Найвищі показники густоти і виживабельності досягнуті при нормі висіву 320 шт./м² за гербіцидної технології, що можна вважати оптимальним варіантом для вирощування ріпаку в даних умовах.

3.3. Вплив агротехнологій та норм висіву на ріст і розвиток озимого ріпаку за умов забур'яненості.

В рамках наших досліджень було здійснено всебічний аналіз стану дослідних ділянок, зокрема стану культурних рослин та бур'янової рослинності. Це дозволило детально оцінити вплив різних агротехнологій і норм висіву на ріст, розвиток та конкурентоспроможність ріпаку озимого за умов забур'яненості. З цією метою проведено додаткові дослідження, які

включали визначення фактичної густоти культурних рослин у динаміці залежно від технологій та норм висіву, облік найбільш поширених видів бур'янової рослинності на експериментальних ділянках, а також порівняння впливу гербіцидної та безгербіцидної технологій, норм висіву та виду культури на динаміку росту культурних рослин у період від масових сходів до цвітіння. Отримані результати засвідчили, що на завершальній фазі досліджень рослини озимого ріпаку в умовах забур'яненості зазнавали значного конкурентного тиску з боку бур'янової рослинності, що призводило до уповільнення їхнього росту, подовження міжфазних періодів, скорочення чисельності або повної загибелі. Така ситуація характерна для періоду, коли культурні рослини втрачають свою конкурентоспроможність, а бур'яни починають домінувати за рахунок інтенсивного розвитку. На основі спостережень було визначено три ключові періоди розвитку рослин:

1. **Початок масових сходів**, коли визначаються густота посівів і стартова конкурентоспроможність культури.
2. **Інтенсивний ріст і розвиток рослин**, що характеризується максимальною здатністю культури конкурувати з дикоросами.
3. **Уповільнення росту культури**, коли знижується її конкурентоспроможність, а бур'яни починають домінувати, витісняючи культурні рослини.

Оптимальним періодом для збору даних визначено 18–20 днів після сходів, коли рослини культури мають добре розвинений стеблостій, ще не зазнають випадання та можуть бути чітко ідентифіковані серед бур'янів. Проте вже на 35–37 день після сходів фіксувалося інтенсивне випадання ріпаку, що переважно зумовлено активним ростом бур'янової рослинності. Дані таблиці 6 свідчать про значну різноманітність бур'янової рослинності, яка спостерігалася у посівах озимого ріпаку за різних норм висіву та способів обробки гербіцидом. Загалом було виявлено 21 вид бур'янів, серед яких спостерігалася різна частота та інтенсивність присутності залежно від технологічного підходу.

Таблиця 6

Види бур'янової рослинності у посівах ріпаку озимого за різних норм висіву станом на 42 день після посіву (01.06.2024) і 36 день після масових сходів (06.06.2024)

	Вид	Без попередньої обробки гербіцидом				Оброблено гліфосатом			
		Кратність (густота, шт/м²)							
		1х (80)	4х (320)	7х (560)	10х (800)	1х (80)	4х (320)	7х (560)	10х (800)
1	Пирій повзучий (Elymus repens)	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Хвощ польовий (Equisetum arvense)	+	+	+	+	+	+	+	+
3	Мишій сизий (Setaria verticillata)	+	+	+	+	+	+	+	+
4	Суріпиця звичайна (Barbaréa vulgáris)	+	+	+	+				
5	Метлюг звичайний (Apera spica-venti)	+	+	+	+				
6	Підмаренник чіпкий (Galium aparine)	+	+	+	+				
7	Морква дика (Daucus carota)	+	+	+	+				+
8	Тонконіг лучний (Poa pratensis)	+	+	+	+				
9	Волошка синя (Centaurea cyanus)	+	+	+	+				
10	Ромашка лікарська (Matricaria chamomilla)	+	+	+	+				
11	Триреберник непахучий (Tripleurospermum maritimum)								
12	Квасениця прямостояча (Xanthoxalis Fontana)								
13	Осот жовтий польовий (Sonchus arvensis)							+	+
14	Злінка канадська (Erigeron canadensis)	+	+	+	+				
15	Плоскуха звичайна (Echinochloa crus-galli)					+	+	+	+
16	Мишій зелений (Setaria viridis)								
17	Золототисячник звичайний (Centaureium erythraea)					+	+	+	+
18	Горошок мишачий (Vícia crácca)					+	+	+	+
19	Щириця звичайна (Amaranthus retroflexus)								
20	Берізка польова (Convolvulus arvensis)	+	+	+	+				
21	М'ята польова (Méntha arvénis)		+	+					

У всіх нормах висіву (80, 320, 560, 800 шт./м²) за відсутності гербіцидної обробки домінували три види: пирій повзучий (*Elymus repens*), хвощ польовий (*Equisetum arvense*) та мишій сизий (*Setaria verticillata*). Вони присутні на всіх ділянках та утворюють значну конкуренцію для культури, що підтверджує їхню високу агресивність. Інші види, такі як суріпиця звичайна (*Barbarea vulgaris*), метлюг звичайний (*Apera spica-venti*), підмаренник чіпкий (*Galium aparine*), та волошка синя (*Centaurea cyanus*), також мали стабільну присутність на всіх ділянках. Це свідчить про їхню адаптацію до умов безгербіцидного вирощування. Унікальність безгербіцидного варіанту виявляється в широкому спектрі бур'янів, які активно конкурують із ріпаком у всіх варіантах норм висіву.

За обробки гліфосатом значно скорочується видовий склад бур'янової рослинності. Найпоширенішими бур'янами залишаються ті ж пирій повзучий, хвощ польовий та мишій сизий, однак їхня густота значно знижується, особливо при нормах висіву 320 та 800 шт./м². У гербіцидному варіанті спостерігається поява видів, які не фіксувалися у безгербіцидному варіанті, зокрема осот жовтий польовий (*Sonchus arvensis*), плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli*) та золототисячник звичайний (*Centaureum erythraea*). Це може бути зумовлено їхньою стійкістю до гліфосату або появою внаслідок зміни екосистемного балансу після обробки. Найменша кількість бур'янів спостерігалася за норм висіву 320 шт./м², що вказує на ефективне використання ресурсів культурними рослинами у поєднанні з гербіцидною технологією.

Отже, у безгербіцидному варіанті спостерігається значно більша різноманітність бур'янової рослинності, що свідчить про відсутність ефективного контролю за бур'янами. Такі види, як м'ята польова (*Mentha arvensis*), берізка польова (*Convolvulus arvensis*) та злинка канадська (*Erigeron canadensis*), мають стабільну присутність у посівах. Гербіцидна технологія значно зменшує видовий склад бур'янів та їхню густоту, що створює сприятливіші умови для росту ріпаку. Проте деякі види, як-от осот жовтий

польовий та плоскуха звичайна, показують здатність зберігатися навіть після обробки гліфосатом.

Відмічаємо, що у безгербіцидному варіанті збільшення норми висіву не значно впливало на видовий склад бур'янової рослинності, але сприяло зменшенню їхньої густоти через підвищення конкуренції з боку культури. У гербіцидному варіанті найефективнішою нормою висіву є 320 шт./м², де кількість бур'янів була мінімальною, що дозволяє максимально ефективно використовувати гербіцидну обробку в поєднанні з оптимальною густотою культурних рослин.

Отримані результати підтверджують, що безгербіцидна технологія не забезпечує ефективного контролю бур'янів, навіть за високих норм висіву, що значно знижує конкурентоспроможність ріпаку. Гербіцидна технологія ефективно зменшує кількість бур'янів, забезпечуючи сприятливі умови для росту культури, особливо за оптимальної норми висіву 320 шт./м². Однак навіть за умов гербіцидної обробки зберігається присутність окремих видів бур'янів, що свідчить про необхідність комбінування хімічних і агротехнічних заходів для забезпечення максимальної ефективності вирощування культури.

Результати дослідження стану озимого ріпаку та бур'янової рослинності на 12.07.2024 р. в таблиці 7 демонструють чітку залежність між технологіями висіву (з гербіцидною обробкою та без неї), нормами висіву, станом культури та рівнем покриття бур'янами поверхні ґрунту.

У варіанті без гербіцидної обробки всі варіанти норм висіву (80, 320, 560, 800 шт./м²) показали повну відсутність сходів ріпаку. Вживаність культури склала 0%, а стан культури позначений як "відсутня". Це свідчить про те, що бур'янова рослинність повністю витіснила ріпак із посівів, перешкоджаючи його росту та розвитку. Бал проективного покриття бур'янами досяг максимального рівня (4г), що вказує на повне домінування бур'янів над культурою. Така ситуація підтверджує, що ріпак озимий не

здатен конкурувати з бур'янами за відсутності хімічного контролю, особливо у високозабур'яненних умовах.

Таблиця 7

Стан ріпаку озимого та бур'янової рослинності залежно від технологій висіву на 12.07.2024 р.

Технологія	Норма висіву насіння (кратність, шт./м ²)	Густота рослин, шт./м ²	% виживаємості	Стан культури	Бал проективного покриття бур'янами поверхні ґрунту
Без застосування гербіциду	1х (80)	0	0	відсутня	4г
	4х (320)	0	0	відсутня	4г
	7х (560)	0	0	відсутня	4г
	10х (800)	0	0	відсутня	4г
Обробка гліфосатом	1х (80)	69	86,3	добре розвинена	2б
	4х (320)	292	91,3	відставання у рості	2б
	7х (560)	13	2,3	відставання у рості	3г
	10х (800)	246	30,8	відставання у рості	3б

Гербіцидна технологія показала значно кращі результати щодо густоти рослин, виживабельності та стану культури. Так, при нормі висіву 80 шт./м² густота рослин склала 69 шт./м², що відповідає 86,3% виживабельності. Рослини були добре розвинені, а бур'янова рослинність мала мінімальний рівень покриття ґрунту (2б). Це свідчить про оптимальні умови для культури за низької норми висіву, що забезпечило ефективну конкуренцію ріпаку з бур'янами. При нормі висіву 320 шт./м² густота досягла 292 шт./м², а виживабельність - 91,3%. Однак стан культури позначено як "відставання у рості". Це може бути пов'язано зі збільшенням конкуренції між рослинами культури за ресурси, що стримує їхній ріст. Бал проективного покриття

бур'янами залишився на низькому рівні (2б), що підтверджує ефективність гербіцидної обробки. При нормі висіву 560 шт./м² густота становила лише 13 шт./м², що відповідає 2,3% виживабельності. Відзначено значне відставання у рості культури, а бал проективного покриття бур'янами збільшився до 3г. Це свідчить про надмірну конкуренцію між рослинами ріпаку, яка негативно вплинула на їхню життєздатність. При нормі висіву 800 шт./м² густота склала 246 шт./м², а виживабельність — 30,8%. Незважаючи на збереження частини рослин, стан культури позначено як "відставання у рості", що пояснюється високою щільністю посівів і пов'язаною з цим конкуренцією. Бал проективного покриття бур'янами залишився помірним (3б), але перевищував значення для нижчих норм висіву.

Результати показують критичну важливість гербіцидної обробки для забезпечення успішного росту та розвитку озимого ріпаку в умовах забур'яненості. У варіанті без гербіцидів культура повністю витіснена бур'янами, незалежно від норми висіву. Гербіцидна технологія забезпечує виживаність до 91,3% за оптимальної норми висіву (320 шт./м²) і значно знижує проективне покриття бур'янами. Водночас надмірно високі норми висіву (560 та 800 шт./м²) призводять до значного зниження виживабельності через внутрішньовидову конкуренцію, а також до погіршення стану рослин.

Таким чином, можна зробити висновки, що безгербіцидна технологія виявилася абсолютно неефективною у вирощуванні ріпаку озимого в умовах забур'яненості, що підтверджується відсутністю сходів і повним домінуванням бур'янів. Гербіцидна технологія забезпечила значно кращі результати, однак ефективність залежала від норми висіву. Оптимальною виявилася норма 320 шт./м², яка забезпечила максимальну густоту, виживаність і мінімальне проективне покриття бур'янами. Збільшення норми висіву понад 320 шт./м² призводило до надмірної конкуренції між рослинами культури, що негативно впливало на їхній стан і знижувало виживабельність, навіть за умов гербіцидної обробки.

3.4. Економічна ефективність традиційної технології та використання агродронів при вирощуванні озимого ріпаку як сидеральної культури в умовах Полісся

Сучасні виклики в сільському господарстві стимулюють активне впровадження інноваційних технологій, які спрямовані на зниження витрат, підвищення ефективності та автоматизацію виробничих процесів. Використання новітніх рішень, зокрема агродронів, дозволяє виконувати низку агротехнічних операцій із високою точністю та мінімальними затратами. Це стосується таких процесів, як моніторинг стану посівів, обробка рослин засобами захисту та добривами, посів сільськогосподарських культур, десикація, внесення біологічних препаратів та вирощування сидеральних культур.

Агродрони є універсальним інструментом завдяки своїй маневровості, точності та здатності працювати у важкодоступних місцях, де використання традиційної техніки є обмеженим. Їх застосування дозволяє мінімізувати витрати на паливе, зменшити ризики ущільнення ґрунту від важкої техніки та забезпечити точне дозування ресурсів, що особливо важливо в умовах точного землеробства. У поєднанні з традиційними технологіями агродрони відкривають нові можливості для підвищення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва.

Дослідження, представлене в цьому розділі, спрямоване на оцінку економічної ефективності традиційної технології вирощування озимого ріпаку як сидеральної культури у порівнянні з використанням агродронів. Особлива увага приділена аналізу впливу цих технологій на економічні витрати, продуктивність, ресурсозбереження та екологічну стійкість у специфічних умовах Полісся.

Нами було здійснено порівняльний аналіз двох основних технологічних операцій, представлених у таблиці 8: внесення хімічного препарату (гербіциду Раундап) та посів. Аналіз показав, що використання агродронів

має суттєві переваги над традиційними методами, як з економічної, так і з ресурсозберігаючої точки зору. Під час внесення гербіцидів агродрони демонструють значно вищу ефективність. Вартість обробки становить лише 20 грн/га, витрати води - 3–5 літрів на гектар, а тривалість обробки — всього 5–7 хвилин залежно від налаштувань. Для порівняння, традиційна технологія потребує 371 грн/га, з витратами води від 200 до 250 літрів на гектар. Час виконання операції в цьому випадку становить 25–45 хвилин залежно від типу обприскувача та швидкості агрегату. Аналогічна ситуація спостерігається і при виконанні посіву. Використання агродрона знижує вартість операції до 120 грн/га порівняно з 265 грн/га при застосуванні традиційної техніки. Це свідчить про високу продуктивність, мобільність та економічну доцільність безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві.

Таблиця 8

Порівняльна оцінка витрат на виконання технологічних процесів за традиційної технології та із використанням агродронів

Показники	Технологія застосування дрону		Традиційна технологія	
	Без гербіциду	З гербіцидом	Без гербіциду	З гербіцидом
Обробка гліфосатом, грн.	-	200,00	-	371,00
Посів, грн.	120,00	120,00	265,00	265,00
Швидкість операційних процесів, хв/га	5-7	5-7	25-45	25-45
Затрати води, л/га	-	3-5	-	200-250

Порівняльний аналіз підтверджує, що агродрони здатні суттєво оптимізувати витрати ресурсів, скоротити час виконання операцій та підвищити загальну продуктивність агротехнічних процесів. Особливо це актуально в умовах необхідності мінімізації впливу на навколишнє

середовище, оскільки агродрони використовують значно меншу кількість води та хімічних препаратів.

Водночас широке впровадження дронів у сільське господарство стикається з низкою викликів. Серед них — дефіцит висококваліфікованих операторів, які можуть працювати з сучасними моделями дронів, та певні обмеження у функціоналі й оснащенні деяких пристроїв. Вирішення цих проблем, зокрема шляхом навчання кадрів та вдосконалення технологій, може значно розширити можливості застосування агродронів та сприяти їхньому масштабному впровадженню у сільськогосподарське виробництво.

ВИСНОВКИ

1. Застосування гербіцидної технології забезпечило значно вищі показники виживаності рослин ріпаку озимого (до 91,3% за норми висіву 320 шт./м²), тоді як у безгербіцидному варіанті виживаність рослин становила 0% незалежно від норми висіву.

2. Оптимальною нормою висіву ріпаку озимого в умовах гербіцидної технології є 320 шт./м², що забезпечує густоту рослин 292 шт./м² та найвищий відсоток виживаності (91,3%). Збільшення норми до 560 та 800 шт./м² призводило до зниження виживаності до 2,3% і 30,8% відповідно, через посилену внутрішньовидову конкуренцію.

3. У гербіцидному варіанті при низьких і середніх нормах висіву (80 та 320 шт./м²) рослини перебували у задовільному стані або демонстрували добрий розвиток. Натомість за високих норм висіву (560 та 800 шт./м²) спостерігалось відставання у рості через конкуренцію між рослинами культури.

4. У безгербіцидному варіанті бур'янова рослинність повністю домінувала, досягаючи проективного покриття 4г у всіх нормах висіву. У гербіцидному варіанті рівень покриття зменшувався до 2б за низьких і середніх норм висіву, однак зростав до 3г при високих нормах висіву через послаблення культури.

5. Вартість внесення гербіциду агродроном склала 20 грн/га, тоді як традиційна технологія потребувала 371 грн/га. Витрати на посів агродроном становили 120 грн/га порівняно з 265 грн/га за традиційного підходу.

6. Агродрони використовують значно менше води для внесення гербіцидів (3–5 л/га порівняно з 200–250 л/га у традиційній технології), що дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Крім того, вони не ущільнюють ґрунт, як це відбувається при використанні важкої техніки.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Результати досліджень підтвердили важливість використання гербіцидної технології для успішного вирощування озимого ріпаку як сидеральної культури в умовах забур'яненості. Попередня обробка ґрунту гербіцидом забезпечує ефективний контроль бур'янової рослинності, створюючи сприятливі умови для росту та розвитку культури. Найкращі результати отримані за помірної густоти посіву, що дозволяє мінімізувати конкуренцію між рослинами та забезпечити їх добрий стан.

Важливою складовою успішного виробництва є впровадження сучасних технологій. Застосування агродронів для внесення гербіцидів та посіву дозволяє значно знизити витрати на виконання цих операцій. Крім того, дрони суттєво зменшують використання води, скорочують час виконання робіт і уникають ущільнення ґрунту, що характерно для важкої техніки. Це не лише підвищує економічну ефективність, але й зменшує вплив на навколишнє середовище, що особливо актуально для господарств, орієнтованих на екологічно сталий розвиток.

У безгербіцидних системах необхідно впроваджувати додаткові заходи для контролю бур'янової рослинності, такі як механічний обробіток ґрунту чи використання проміжних сидеральних культур. Це може частково компенсувати негативний вплив забур'яненості, але вимагатиме значних ресурсів та додаткової уваги до стану ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамик М.І. та ін. Рекомендації по вирощуванню ріпаку на насіння і корм. Івано-Франківськ – Оброшино. 2000. 18 с.
2. Адамень Ф. Ф., Вишнівський П. С., Терещенко Н. М. Вплив технології вирощування озимого ріпаку на формування його продуктивності. Зб. наук. пр. Інституту землеробства УААН. 2000. Вип. 1. С. 45–48.
3. Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П. Ефективність агродронів в системі точного землеробства. Аграрні інновації. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2023. – Вип. 16. С. 13-18.
4. Васильковська К.В., Андрієнко І.А., Філончук А.С. Використання агродронів в системі точного землеробства. Матеріали X Міжнародної науково-технічної онлайн конференції «Крамаровські читання». – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 201-203.
5. Гансгеорг Шьонбергер Вирощування ріпаку. Посібник з організації догляду за посівами та забезпечення врожайності AgroConceptGmbH. 2012. С. 9.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 344 с.
21. Жаркова О. Озимий ріпак – нові пропозиції. Пропозиція. 2014. № 7. С. 72–77. 52
7. Заїка Є.В., Дрозд О.М., Кондратюк В.В., Пивовар Т.М. Рекомендації з насінництва нових сортів ріпаку озимого і ярого селекції ННЦ «Інститут землеробства НААН». Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 28 с.
8. Кабанець В.М. Визначення стану перезимівлі ріпаку озимого та методи визначення його життєздатності. Агроном. 2013. №4. С.106-108.
9. Лазар Г. І., Лапа О. М., Чехов А. В. та ін. Інтенсивна технологія вирощування ріпаку. К. : Глобус-Принт. 2006. 100 с.
10. Лапа О. М. Інтенсивна технологія вирощування озимого ріпаку в Україні. Київ: Універсал-Друк, 2006. 100 с.

11. Лихочвор В. Як запобігти вимерзанню озимого ріпаку за допомогою елементів технології літньо-осіннього періоду. *Зерно*. 2015. №6. С.98-101.
12. Лихочвор В.В. Ріпак озимий та ярий. Львів: Українські технології. 2002. 48 с.
13. Лихочвор В.В., Проць Р.Р. Ріпак. Львів: НВФ, «Українські технології», 2005. 88 с.
14. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 208с.
15. Мельничук С. Оцінка адаптивної здатності та стабільності генотипів ріпаку озимого. *Науковий вісник. Національний університет біоресурсів і природокористування України*. К., 2012. Вип. 176. С.89-95.
16. Полянчиков С. Способи підвищення врожайності ріпаку. Пропозиція. 2007. №4. С.45-46.
17. Поради щодо вибору гібридів ріпаку озимого. Пропозиція. 2015. №7-8. С.76-77.
18. Распутенко А. О. Польова схожість насіння ріпаку озимого залежно від строків сівби й норм висіву насіння. *Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів «Роль наукових досліджень в забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва України»* (м. Дніпропетровськ, 25–26 трав. 2016 р.). Дніпропетровськ, 2016. – С. 75–76.
19. Распутенко А. О. Урожайність ріпаку озимого залежно від строків, способів сівби й норм висіву насіння. *Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України»* (с. Оброшино, 16 листоп. 2016 р.). Львів-Оброшино. 2016. С. 49–50.
20. Сорока В. І., Рудник-Іващенко О. І. Перспективи ріпаку в Україні. *Агроном*. 2012. № 2. С. 86.
21. Секун М.П., Лапа О.М., Марков І.Л., Гетьман С.В., Журавський В.С. Технологія вирощування і захисту ріпаку. К.: ТОВ «Глобус-Принт». 2008. 116 с.

22. С. В. Журавель Моделювання технології посіву агродроном ріпаку озимого на сидеральні цілі за різних норм висіву та технології вирощування в умовах зони Полісся / Журавель С. В., Кравчук М. М., Журавель С. С., Поліщук А. Л., Стасюк Б. Б. // Znanstvena misel (Ljubljana, Slovenia) ISSN 3124-1123. 2024. № 96. Р. 8-11.
23. С. В. Журавель Особливості відпрацювання технології вирощування редьки олійної в якості сидеральної культури за умов моделювання технологічної схеми посіву за допомогою агродрону / Журавель С. В., Кравчук М. М., Журавель С. С., Карбівський Е. О., Малахівський А. А., Ткаченко М. С. // Sciences of Europe (Praha, Czech Republic) ISSN 3162-2364. 2024. № 153. Р. 4-7.
24. Шох С. С. Аналіз кореляційних зв'язків між ознаками у рослин ріпаку озимого. Агробіологія: зб. наук. Праць. Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква, 2011. Вип. 5 (84). С.11-15.
25. Aditya S Natu, Kulkarni SC. Adoption and Utilization of Drones for Advanced Precision Farming: A Review. published in International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, ISSN: 2321-8169. 2016; 4(5):563-565.
26. Zhang C, Kovacs JM. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precision agriculture, Springer. 2012; 13(6):693-712.
27. Everaerts J. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008; 37:1187-1192.
28. Colomina I, Molina P. "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2014; 92:79-97.
29. Van Blyenburgh P. UAVs: an overview. Air & Space Europe. 1999; 1(5-6):43-47.

30. Bendig J, Bolten A, Bareth G. Introducing a low-cost mini-UAV for thermal- and multispectral-imaging. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2012; 39:345-349.
31. Anthony D, Elbaum S, Lorenz A, Detweiler C. On crop height estimation with UAVs. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*, 2014, 4805-4812.
32. Huang Y, Hoffmann WC, LAN Y, Wu W, Fritz BK. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. *Applied Engineering in Agriculture*. 2009; 25(6):803-809.
33. Primicerio J, Di Gennaro SF, Fiorillo E, Genesio L, Lugato E, Matese A et al. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture*. 2012; 13(4):517-523.
34. Maurya P. "Hardware implementation of a flight control system for an unmanned aerial vehicle." Retrieved 06 01, 2015, from Computer science and engineering, 2015. <http://www.cse.iitk.ac.in/users/moona/students/Y2258.pdf>.
35. Nonami K. Prospect and recent research & development for civil use autonomous unmanned aircraft as UAV and MAV. *Journal of system Design and Dynamics*. 2007; 1(2):120-128.
36. Sato A. The rmax helicopter uav: DTIC Document, 2003.
37. Simelli, Ioanna, Tsangaris A. "The Use of Unmanned Aerial Systems (UAS) in Agriculture." In *HAICTA*, 2015, 730-736p.
38. Colomina I, Molina P. "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2014; 92:79-97.
39. Gharde Yogita, Singh PK. "Yield and Economic losses due to weeds in India", ICAR-DWR, Jabalpur.
40. Li L, Fan Y, Huang X, Tian L. Real-time UAV Weed Scout for Selective Weed Control by Adaptive Robust Control and Machine Learning Algorithm. In *Proceedings of the 2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*, as ABE 2016, Orlando, FL, USA, 17–20

July 2016; American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MO, USA, 2016.

41. Huang Y, Reddy KN, Fletcher RS, Pennington D. UAV Low-Altitude Remote Sensing for Precision Weed Management. *Weed Technol.* 2018; 32:2–6.

42. Malenovsky Z, Lucieer A, King DH, Turnbull JD, Robinson SA. Unmanned Aircraft System Advances Health Mapping of Fragile Polar Vegetation. *Methods Ecol. Evol.* 2017; 8:1842-1857.