

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Агрономічний факультет
Кафедра ґрунтознавства та землеробства

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Радкевич Дмитро Петрович

УДК 633.85:631.582:631.358:629.735.05

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АГРОДРОНУ ДЛЯ
ПОСІВУ РІПАКУ ОЗИМОГО В ЯКОСТІ СИДЕРАЛЬНОЇ КУЛЬТУРИ В
УМОВАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

201 «Агрономія»

Подається на здобуття освітнього рівня «Магістр»

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело _____ Д.П. Радкевич

Керівник роботи

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

Житомир–2025

Зміст

Анотація	3
Вступ	5
Розділ 1. Літературний огляд	9
Розділ 2. Умови, об'єкти і методика проведення досліджень.	18
2.1. Місце та умови проведення досліджень .	18
2.2. Об'єкти і методика проведення досліджень	21
Розділ 3. Результати досліджень	24
3.1. Оцінка посівних якостей насіння ріпаку озимого як передумова ефективності посіву агродроном	24
3.2. Рівномірність просторового розподілу насіння ріпаку озимого при посіві агродроном та її вплив на формування густоти стояння	26
3.3. Оцінка виживабельності та фактичної густоти стояння рослин ріпаку озимого залежно від технології підготовки ґрунту, норми висіву та висоти польоту дрона	29
3.4. Технологічна та економічна доцільність застосування агродронів для посіву та передпосівної обробки ріпаку озимого як сидеральної культури в умовах Житомирської області	32
Висновки	35
Рекомендації виробництву	36
Список використаних джерел	37

АНОТАЦІЯ

Радкевич Д.П. «Технологічні особливості використання агродрону для посіву ріпаку озимого в якості сидеральної культури в умовах Житомирської області». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня магістра за спеціальністю 201 – агрономія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Робота викладена на 40 сторінках комп'ютерного набору, містить 4 таблиці, 4 рисунки, складається зі вступу, 3 розділів, висновків, рекомендацій виробництву. Список використаних джерел включає 34 найменувань.

У роботі розглянуто технологічні особливості застосування агродронів для посіву ріпаку озимого як сидеральної культури в умовах Житомирської області. Актуальність дослідження зумовлена потребою у впровадженні високоточних та ресурсозберігаючих технологій, здатних забезпечити ефективне відновлення родючості ґрунтів Полісся. Окреслено ґрунтово-кліматичні особливості регіону, що визначають доцільність використання безпілотних систем: підвищену кислотність ґрунтів, структурну неоднорідність, перезволоження окремих ділянок та обмеженість строків посіву. Проаналізовано основні технічні параметри роботи агродронів, включаючи норму висіву, висоту та швидкість польоту, конструкцію розсіювального механізму й умови рівномірного розподілу насіння за поверхневого способу сівби. Розглянуто особливості взаємодії насіння ріпаку озимого з верхнім шаром ґрунту, а також чинники, що впливають на проростання та формування початкової густоти культури. Представлено технологічні можливості агродронів у сидеральних системах землеробства, зокрема здатність працювати на перезволожених або важкодоступних ділянках, мінімізуючи механічне ущільнення ґрунту та забезпечуючи високу оперативність виконання агротехнічних операцій. Отримані результати можуть слугувати основою для подальшої оптимізації технології посіву ріпаку озимого в системах сталого землеробства Полісся.

Ключові слова: агродрон, ріпак озимий, сидерати, технологія посіву, точне землеробство, Житомирське Полісся, екологічна стійкість, економічна ефективність.

SUMMARY

Radkevych D.P. “Technological Features of Using an Agro-Drone for Sowing Winter Rapeseed as a Green Manure Crop under the Conditions of Zhytomyr Region.” – Qualification Thesis (manuscript).

Qualification thesis for obtaining the Master’s degree in the specialty 201 – Agronomy. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The thesis is presented on 40 pages of typescript, contains 4 tables and 4 figures, and consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, and production recommendations. The list of references includes 34 sources.

The thesis examines the technological features of using agro-drones for sowing winter rapeseed as a green manure crop under the conditions of Zhytomyr Region. The relevance of the research is determined by the need to implement high-precision and resource-efficient technologies capable of ensuring effective restoration of soil fertility in Polissia. The soil and climatic characteristics of the region are outlined, highlighting the expediency of applying unmanned systems: increased soil acidity, heterogeneous particle-size composition, excessive moisture in certain areas, and limited autumn sowing windows. The main technical parameters of agro-drone operation are analysed, including seeding rate, flight height and speed, design of the spreading mechanism, and conditions ensuring uniform distribution of seeds under surface sowing. The interaction between winter rapeseed seeds and the upper soil layer is considered, along with factors affecting germination and the formation of initial plant density. The technological capabilities of agro-drones within green manure systems are presented, particularly their ability to operate on waterlogged or hard-to-reach sites, minimise soil compaction, and ensure high operational efficiency. The obtained materials may serve as a basis for further optimisation of winter rapeseed sowing technologies within sustainable farming systems of Polissia.

Keywords: agro-drone, winter rapeseed, green manure, sowing technology, precision agriculture, Zhytomyr Polissia, ecological sustainability, economic efficiency.

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах трансформації аграрного виробництва та кліматичних змін зростає потреба у впровадженні технологій, здатних забезпечити ефективне використання ресурсів і підвищення екологічної стійкості агроєкосистем. Особливої уваги набувають методи біологічної рекультивації ґрунтів, серед яких вирощування сидеральних культур є одним із найбільш доступних та екологічно доцільних способів відновлення родючості. Ріпак озимий, завдяки високій швидкості нарощування біомаси, активному структуруванню ґрунту та здатності пригнічувати бур'яни, є перспективною сидеральною культурою для умов Житомирського Полісся. Водночас стрімкий розвиток технологій точного землеробства відкриває нові можливості для реалізації сидеральних культур. Безпілотні літальні апарати (агродрони) стають одним із ключових інструментів для оптимізації польових операцій, оскільки здатні виконувати роботи оперативно, без контакту з ґрунтом і з мінімальними витратами ресурсів. Посів ріпаку озимого за допомогою агродрона є перспективним напрямом, що поєднує переваги сучасної автоматизації з потребою швидкого відновлення ґрунтів після тривалого антропогенного та техногенного навантаження, характерного для територій Житомирщини, у тому числі тих, що зазнали впливу воєнних дій.

Використання агродронів для посіву сидератів дозволяє уникнути ущільнення ґрунту, забезпечує рівномірність розподілу насіння, сприяє збереженню вологості посівного шару та дає змогу працювати на ділянках, недоступних для традиційної техніки. Аерофізичні переваги дронів — можливість точного калібрування норми висіву, стабільність польоту, ефективна робота у вологих та заболочених зонах — роблять їх особливо актуальними для ґрунтово-кліматичних умов Полісся. Важливим є і те, що посів за допомогою агродрона органічно інтегрується в концепцію ресурсозбереження та мінімальної обробки ґрунту (min-till, no-till), що набуває поширення в регіоні.

З огляду на потребу підвищення продуктивності сидеральних культур, скорочення енерговитрат та підвищення екологічної стійкості землеробства, дослідження технологічних особливостей використання агродронів для посіву ріпаку озимого в умовах Житомирської області є надзвичайно актуальним. Комплексне вивчення цього питання сприятиме розвитку інноваційних підходів до відновлення ґрунтів, впровадженню точних цифрових технологій на практиці та формуванню нової моделі сталого агровиробництва у Поліссі.

Мета досліджень: наукове обґрунтування та оцінка технологічних особливостей використання агродрона для посіву ріпаку озимого як сидеральної культури в умовах Житомирської області, з визначенням ключових параметрів, що забезпечують рівномірність висіву, оптимальні умови проростання насіння та ефективне формування зеленої біомаси для відновлення родючості ґрунтів.

Для досягнення поставленої мети, нами були вирішені такі завдання:

1. Оцінити посівні якості насіння ріпаку озимого сорту Чорний Велетень та визначити придатність для поверхневого висіву агродроном.
2. Дослідити рівномірність просторового розподілу насіння ріпаку озимого при посіві агродроном за різних норм висіву та висоти польоту.
3. Встановити вплив технології підготовки ґрунту на виживабельність і фактичну густоту стояння рослин, визначити критичні чинники формування сходів та фактори ризику.
4. Порівняти ефективність різних норм висіву та висоти польоту дрона щодо здатності забезпечувати стабільну густоту стояння ріпаку озимого при поверхневому розсіюванні.
5. Визначити оптимальну комбінацію технологічних параметрів (гербіцидна підготовка, норма висіву 320 рослин/м², висота польоту 5 м), яка забезпечує найкращі показники збереженості рослин та формування життєздатного агрофітоценозу.

6. Оцінити технологічну та економічну ефективність застосування агродронів у передпосівній обробці та посіві шляхом порівняння витрат, часу виконання операцій, водоспоживання та техногенного впливу з традиційними механізованими технологіями.
7. Визначити можливості застосування агродронів у специфічних умовах Полісся Житомирської області та їхню роль у підвищенні ефективності сидерації й формуванні рівномірного рослинного покриву.
8. Сформуванати практичні рекомендації виробництву щодо оптимізації технології поверхневого посіву ріпаку озимого агродроном, включаючи доцільність перехресного посіву, корекцію висоти та швидкості польоту, необхідність гербіцидної підготовки і напрями подальшого удосконалення висівних систем дронів.

Об'єктом дослідження є процес посіву ріпаку озимого як сидеральної культури із застосуванням агродронів у ґрунтово-кліматичних умовах Житомирської області, що передбачає використання безпілотних технологій для забезпечення точного, рівномірного та ресурсозберігаючого виконання агротехнічних операцій.

Предметом дослідження є технологічні параметри та агротехнічні особливості посіву ріпаку озимого за допомогою агродрона як сидеральної культури, зокрема рівномірність розподілу насіння, умови проростання, вплив висоти та швидкості польоту, норми висіву та взаємодії насіння з поверхневим шаром ґрунту в умовах Житомирської області..

Методи досліджень: У роботі застосовано комплекс методів, що забезпечили всебічне вивчення технологічних параметрів посіву ріпаку озимого агродроном як сидеральної культури в умовах Житомирської області: *польовий метод* – закладка дослідів на експериментальних ділянках з метою оцінки рівномірності розподілу насіння, динаміки проростання та формування біомаси ріпаку озимого за посіву агродроном порівняно з традиційною технологією; *лабораторний метод* – попереднє визначення якості насінневого матеріалу (енергія проростання, схожість) для

забезпечення коректності та відтворюваності результатів польових досліджень; *метод проєктивного покриття* – оцінювання ступеня забур'яненості ділянок перед та після сівби для визначення ефективності ріпаку озимого як сидерата щодо пригнічення бур'янів; *Окомірний (візуальний) метод* – оцінка рівномірності розподілу насіння після висіву агродроном, визначення густоти і стану рослин у початковій фазі росту; *техніко-технологічний аналіз* – дослідження впливу висоти польоту, швидкості руху агродрона, продуктивності розсіювального механізму та норм висіву на якість посіву; *економічний аналіз* – порівняльна оцінка витрат ресурсів (насіння, енерговитрат, часу) при застосуванні агродрона та традиційної техніки для посіву сидеральних культур; *статистичний метод* – обробка експериментальних даних із застосуванням середніх величин, варіаційного аналізу та визначення достовірності різниць між технологіями; *аналітичний метод* – узагальнення отриманих результатів для формулювання науково обґрунтованих висновків і рекомендацій щодо оптимізації технології посіву ріпаку озимого агродроном у регіональних умовах.

Перелік публікацій автора за темою досліджень:

1. Zhuravel S., Zhuravel S., Kyianichenko M. & Radkevych D. Development of elements of winter rapeseed sowing technology as a green manure crop using an agro-drone. German International Journal of Modern Science. №118/2025, 15-26.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота викладена на 40 сторінках комп'ютерного набору, містить 4 таблиці, 4 рисунків, складається зі вступу, 3 розділів, висновків, рекомендацій виробництву. Список використаних джерел включає 34 найменувань.

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

РОЗДІЛ I. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

На сьогоднішній день розвиток технологій точного землеробства є однією з ключових тенденцій модернізації аграрного виробництва й тісно пов'язаний із переходом від традиційних підходів до диференційованого управління агроєкосистемами. В наукових працях зазначено, що малі безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали одним з основних інструментів точного землеробства, оскільки дозволяють виконувати високоточний моніторинг біофізіологічного стану рослин, оцінювати вологоутримувальну здатність ґрунту, виявляти критичні зони, здійснювати картографування врожайності та оперативно аналізувати стан посівів на будь-якій фазі розвитку [9, 15]. Висока роздільна здатність знімків, гнучкість використання та порівняльна доступність БПЛА роблять їх ефективним інструментом як для малих фермерських господарств, так і для великих агропідприємств [9, 15, 22].

Науковці підкреслюють, що в останні роки агродрони активно еволюціонують від інструментів моніторингу до повноцінних технічних засобів, здатних виконувати важливі технологічні операції. На сучасному етапі агродрони використовуються не лише для дистанційного спостереження, а й для точного внесення засобів захисту рослин, мікродобрив, регуляторів росту та виконання посіву дрібнонасінних культур [8, 9, 10, 22, 23]. У вітчизняних дослідженнях зазначено ефективність використання агродронів у системі точного землеробства, підкреслюючи їх здатність зменшувати витрати ресурсів, підвищувати оперативність виконання робіт та адаптувати технологічні операції до просторової неоднорідності полів [22, 23]. У поєднанні з датчиками, системами супутникової навігації та цифровими моделями поля агродрони перетворюються на складові «розумних» виробничих комплексів, здатних працювати автономно й адаптувати технологічні режими до умов поля в режимі реального часу [8, 9, 22]. Така інтеграція сприяє формуванню високоточних і ресурсозберігаючих моделей управління агровиробництвом.

Ряд авторів [8, 10, 16] підкреслюють, що для досягнення необхідної точності виконання посіву та внесення матеріалів із БПЛА потрібна синхронізація роботи електромеханічних дозаторів із навігаційною системою дрона, а також врахування швидкості польоту, висоти, вітрових потоків та фізичних характеристик насіння. Варіативність норми внесення дає змогу адаптувати технічні режими до неоднорідності ґрунтового покриття, стану посівів чи попередніх карт-завдань, що відповідає принципам точного землеробства [8, 15, 16].

Особливої уваги заслуговують дослідження щодо посіву дрібнонасінних культур за допомогою БПЛА. У роботі Huang X. та ін. [8] вперше детально обґрунтовано конструкцію повітряно-асистованої системи висіву ріпаку на базі мультикоптерного агродрона, яка забезпечує подачу насіння через спеціально сконструйований центральний дозатор і канали з форсованим повітряним потоком. Результати досліджень засвідчили можливість досягнення прийнятної рівномірності розподілу насіння за умов оптимізації висоти польоту, швидкості подачі насіння та кутів розсіювання [8]. Також ряд наукових праць [11, 16] зосереджені на визначенні ключових технологічних параметрів (швидкість руху, висота польоту, інтенсивність подачі насіння), що впливають на формування смуги висіву, щільність стояння рослин та показники якості посіву.

Важливими є також дослідження впливу метеорологічних умов та змінних параметрів польоту на дозу та траєкторію руху насіння при розсіюванні з дрона. У роботах [5, 6, 7, 11, 16] показано, що швидкість та напрямок вітру, турбулентність повітряних потоків під дронами, конструкція розсіювального механізму та висота польоту суттєво впливають на відхилення насіння від оптимальної траєкторії. Це вимагає врахування мікрометеорологічних умов, застосування корекційних моделей під час посіву, а також методичного обґрунтування параметрів технологічної схеми для різних культур і зон вирощування.

Аналіз сучасних наукових джерел свідчить про суттєве зростання ролі безпілотних літальних апаратів у технологізації аграрного виробництва, оскільки безпілотні системи дають можливість підвищити точність виконання агротехнічних операцій, зменшити витрати ресурсів та забезпечити стабільність виробництва за умов кліматичних змін [5, 6, 7, 9, 15]. Ці дослідження заклали теоретичне підґрунтя для переходу від використання безпілотних літальних апаратів переважно як інструментів дистанційного моніторингу до впровадження повноцінних технологічних операцій, зокрема UAV-sowing – посіву сільськогосподарських культур за допомогою дронів, оснащених автоматизованими системами дозування і розподілу насіння. Саме ця технологія відкриває можливості для аеросівби дрібнонасінних культур, таких як ріпак озимий.

Ряд наукових праць підтверджують, що ріпак озимий є однією з найбільш перспективних культур для посіву з дрона. У дослідженні Huang X. та ін. [8] експериментально доведено можливість застосування багатороторного агродрона для висіву ріпаку із забезпеченням контрольованої норми та рівномірності розподілу насіння завдяки вдосконаленій системі дозування. Tan X. та ін. [11] підтвердили ефективність технології UAV-sowing у виробничих умовах: посів ріпаку за допомогою дрона забезпечує повноцінні сходи та оптимальні параметри густоти стояння за умов обмеженого доступу наземної техніки. Дослідження Zhu Y. та ін. [16] показали, що аеросівба дрібнонасінних культур значною мірою залежить від аеродинамічних характеристик повітряного потоку ротора, висоти польоту та швидкості руху дрона, що є особливо актуальним для ріпаку озимого через малу масу насіння та чутливість до рівномірності розміщення.

Агрономічні дослідження ріпаку озимого дозволяють окреслити біологічні та технологічні вимоги культури, необхідні для адаптації посівів за допомогою дрона до польових умов. Вивчення особливостей розвитку та перезимівлі ріпаку в різних кліматичних регіонах України засвідчує високу чутливість культури до густоти рослин, інтенсивності осіннього розвитку та

строків сівби [6, 11, 16]. Доведено, що дія метеорологічних факторів, зокрема температурного режиму та кількості опадів, істотно впливає на формування біомаси та насіннєвої продуктивності [18].

Особливе значення для сівби із використанням дрона мають дослідження впливу норми висіву та ширини міжрядь. Волощук О. П. та інші автори встановили, що зміна норми висіву ріпаку озимого впливає на структуру врожаю та здатність рослин до компенсації [12, 13]. Ряд публікацій, зокрема дослідження Журавля С. В. та співавторів [17, 18, 19], підтверджують критичну роль ширини міжрядь, яка визначає густоту стояння та потенціал формування сидеральної маси. Вибір міжрядь і густоти стояння є ключовим для налаштування ширини смуги та щільності розподілу насіння при аеросівбі. В наукових дослідженнях також відмічається, що строки сівби значною мірою впливають на зимостійкість, формування кореневої системи й потенційну продуктивність ріпаку озимого [12, 13, 29, 30]. Окремі дослідження, присвячені порівнянню способів сівби, доводять, що ріпак озимий виразно реагує на спосіб внесення насіння та просторову структуру посіву [1, 5, 6, 7, 31], що створює наукове обґрунтування для пошуку альтернативних методів висіву, включно з використанням дронів.

Отже, результати сучасних досліджень підтверджують, що технологія UAV-sowing ріпаку озимого має доведену інженерну ефективність [8, 22, 23], а агрономічні параметри культури (норма висіву, міжряддя, строки сівби, рівномірність розміщення рослин) є критичними для адаптації посіву за допомогою дрона до польових умов [11, 16, 32, 33, 34]. Разом із тим у наукових джерелах відсутні комплексні дослідження, які б поєднували інженерно-технологічні параметри аеросівби дроном із агрономічною ефективністю ріпаку озимого як сидеральної культури, що і зумовлює актуальність даної роботи.

Застосування БПЛА для посіву сидеральних культур у науковій літературі поки що представлено фрагментарно. Окремі дослідження щодо моделювання та відпрацювання технології посіву редьки олійної та ріпаку

озимого на сидеральні цілі із застосуванням агродронів вказують на перспективність такого підходу для регіонів з ускладненими ґрунтово-кліматичними та технологічними умовами, зокрема Полісся [30, 31, 32]. Було встановлено, що ефективність посіву значною мірою залежить від структури поверхні поля, рівномірності рослинних решток, післяжнивного стану ґрунту, а також від погодних умов під час висіву. Значним обмежувальним фактором є птахи, які активно поїдають насіння, розташоване на поверхні ґрунту до появи сходів, що вимагає адаптації строків посіву і норм висіву для підвищення результативності технології [5, 6, 7].

Публікації, присвячені покривним та сидеральним культурам, підкреслюють перспективність швидкого поверхневого посіву як методу збільшення частки сидератів у сівозміні [24, 25, 26, 27, 28]. Автори вказують, що інтеграція сидеральних культур у короткі інтервали між основними культурами дозволяє покращувати баланс органічної речовини, зменшувати ерозійні процеси та сприяти збагаченню ґрунтів азотом. Застосування технологій поверхневого або беззаробкового висіву, у тому числі за допомогою БПЛА, дає змогу виконувати посів у періоди, коли традиційна ґрунтообробна техніка обмежена через надмірну вологість або небажаність додаткового ущільнення ґрунту [1, 27, 28].

У джерелах [24, 25, 27, 28, 29, 30] зазначено, що ріпак озимий є універсальною культурою з широким продовольчим, кормовим та екосистемним значенням. Завдяки здатності швидко формувати значну біомасу він є перспективною культурою для сидерації. Його зелену масу використовують як органічне добриво, яке поліпшує фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту, включаючи гумусний стан, азотний баланс та активність ґрунтової біоти [24, 25, 26, 27, 28].

Ріпак здатен покращувати структуру ґрунту, забезпечувати його розпушення та формувати сприятливий водно-повітряний режим. Дослідження [24, 26, 27, 28] вказують на його здатність пригнічувати бур'яни завдяки швидкому осінньому росту і високій конкурентоздатності.

Алелопатичні властивості Brassica-сидератів сприяють зменшенню потреби у використанні гербіцидів, що є особливо важливим для екологічно орієнтованих систем землеробства [1, 27]. Унаслідок розкладання сидеральної біомаси ріпаку в ґрунт повертаються легкодоступні форми поживних елементів, покращується мікробіологічний стан та підвищується ефективність використання мінеральних добрив [25, 26].

Сидеральні культури є ключовим компонентом систем сталого та екологічно орієнтованого землеробства, оскільки забезпечують відновлення органічної речовини, регуляцію азотного циклу та структурне поліпшення ґрунту. Наукові праці [29, 30, 31] демонструють, що використання ріпаку озимого та інших представників родини Brassicaceae як зеленого добрива сприяє зростанню вмісту гумусу й активізації процесів гуміфікації, що особливо важливо для ґрунтів із низьким рівнем органічної речовини, характерних для Полісся. У результаті заробки зеленої маси Brassica-сидератів відбувається інтенсивне повернення до ґрунту азоту, сірки та інших макроелементів, а мінералізація органічної маси підвищує доступність поживних речовин для наступних у сівозміні культур [25, 26]. Важливим аспектом, на який звертають увагу науковці, є здатність ріпаку забезпечувати структуроутворюючий ефект: завдяки розгалуженій кореневій системі він розпушує ущільнені горизонти, покращує агрегатний склад, водопроникність і повітряний режим ґрунту, зменшуючи ризик вторинного ущільнення. Це, у свою чергу, сприяє стабілізації водного балансу поля, зниженню поверхневого стоку та ерозійних процесів [24, 26, 27, 28]. Окрім хімічних та фізичних змін, сидерати Brassicaceae відіграють ключову роль у формуванні біологічної активності ґрунту: дослідження [25, 26] показують зростання чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів, активізацію ферментативних процесів, а також стимуляцію мікробіоти, що відповідає за колообіг азоту. Такі зміни підсилюють природну родючість ґрунтів і сприяють їх екологічній стійкості.

Окремі дослідження [30, 31] підкреслюють, що Brassica-сидерати відіграють важливу фітосанітарну функцію: продукти гідролізу глюкозинолатів мають біофумігаційний ефект, зменшуючи щільність популяцій окремих ґрунтових патогенів, нематод і бур'янів. Це робить сидерати з ріпаку озимого ефективним елементом інтегрованих систем захисту рослин, дозволяючи зменшити залежність від хімічних препаратів. Узагальнення літератури свідчить, що ріпак озимий як сидеральна культура не лише підвищує агрохімічні показники ґрунту, але й сприяє довгостроковому відновленню агроecosистем, забезпечує екологічну стійкість землеробства та підвищує ефективність наступних культур у сівозміні [24, 25, 26, 27, 28].

Українські автори [17, 18, 19, 24, 25, 26, 27, 28] наголошують на високій ефективності ріпаку озимого в умовах Полісся, що зумовлено його морозостійкістю, швидким осіннім ростом та здатністю до фітосанітарного оздоровлення ґрунтів. Дослідники підкреслюють, що у Поліській зоні ріпак формує добре розвинену кореневу систему, яка проникає у щільніші горизонти та сприяє природному розпушенню ґрунту, покращуючи його водопроникність і повітряний режим [4, 25, 27]. Завдяки потужній листовій розетці ріпак озимий ефективно пригнічує розвиток бур'янів уже впродовж перших тижнів вегетації, що дозволяє зменшити гербіцидне навантаження та підвищити екологічну стійкість агроценозів [24, 27, 28]. У низці робіт також відзначається його значний вплив на покращення агрохімічних показників ґрунту: після заробки зеленої маси підвищується вміст органічної речовини, активізуються процеси гуміфікації, покращується біологічна активність та збільшується кількість ґрунтових мікроорганізмів [15, 24, 25, 26, 27, 28]. Дослідження демонструють, що ріпак озимий у якості сидерату ефективно мобілізує важкорозчинні форми азоту та сірки, а також зменшує ризик вимивання нітратів у ґрунтові води — проблему, характерну для піщаних і супіщаних ґрунтів Полісся [14, 24, 28].

Окрім цього, ріпак має виражені фітосанітарні властивості: завдяки вмісту глюкозинолатів і продуктів їх гідролізу він може знижувати чисельність окремих ґрунтових шкідників та гальмувати розвиток збудників хвороб, забезпечуючи природне оздоровлення ґрунту перед висівом основної культури [1, 24, 27]. Така мультифункціональність робить ріпак озимий однією з найбільш перспективних сидеральних культур для Житомирського Полісся, особливо в умовах інтенсифікації виробництва та деградаційних процесів, що посилюються зміною клімату [4, 14, 15, 24, 26, 27, 28].

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

2.1. Місце та умови проведення досліджень

Дослідження з відпрацювання технології посіву сидеральних культур із використанням агродрону проводилися протягом двох років на науково-дослідному полі Поліського національного університету поблизу села Велика Горбаша Черняхівської селищної територіальної громади Житомирського району Житомирської області (50°26'17" N, 28°41'38" E). Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений сірими лісовими легкосуглинковими ґрунтами, що характеризуються низьким умістом гумусу, недостатнім забезпеченням основними елементами живлення та підвищеною кислотністю (Рис. 1).

	He _{орн.} <u>0–22</u> 22	Гумусно-елювіальний горизонт, світло-сірий, супіщаний, порохувато-грудочкуватий, слабоущільнений, вологий, новоутворення відсутні, наявні корені рослин, перехід за глибиною обробіткухвилястий.
	HE <u>22–38</u> 16	Світло-сірий, супіщаний, грудочкуватий, щільний, злитний, вологий, збагачений затьоками гумусового матеріалу по кореневих ходах і червоточинах, наявні корені рослин, перехід поступовий.
	I <u>38–59</u> 21	Темно-бурий з численними темно-сірими затьоками гумусового матеріалу по червоточинах і кореневих ходах, важкий суглинок, горіхувато-дрібногрудочкуватий, щільний, вологий, наявні корені рослин, перехід поступовий.
	P _i <u>59–86</u> 27	Жовтувато-бурий з темно-сірими затьоками гумусового матеріалу по червоточинах і кореневих ходах, легкий суглинок, грудочкуватий, ущільнений, вологий, рідко зустрічаються корені рослин, з середини іржаві плями, перехід поступовий.
	P ₁ <u>86–104</u> 18	Жовтувато-палевий, легкий суглинок, слабо виражена грудочкуватість, слабоущільнений, злитний, вологий, розмиті іржаві плями, перехід добре помітний.
	P ₂ <u>104–151</u> 47	Палево-жовтий з сизим відтінком та іржавими плямами, оглєсний, середній суглинок, грубогрудочкуватий, ущільнений, вологий, перехід помітний по кольору.
	P ₃ <u>151–170</u> 19	Темно-сірий з концентрованими великими іржавими плямами, важкий суглинок, призмовидно-горіхуватий, щільний, злитний, вологий, концентровані іржаві плями, включення відсутні.

**Рис. 1. Агрохімічні та ґрунтові умови проведення дослідів на базі
Поліського національного університету**

На рисунку 2 наведено фотоматеріали, які відображають стан дослідної ділянки перед початком експерименту із застосуванням агродрону. Представлені зображення дають змогу оцінити однорідність поверхні поля, залишкову кількість рослинних решток та структуру ґрунту, що безпосередньо впливають на рівномірність розподілу насіння при поверхневому висіві.



Рис. 2. Загальний вигляд дослідної ділянки перед початком проведення експерименту

Перед закладкою досліду було проведено агрохімічне обстеження ґрунту з відбором зразків у шарах 0-10 см, 10-20 см та 20-30 см для визначення рН, вмісту гумусу та рухомих форм азоту, фосфору і калію, з метою встановлення вихідного агрофону, що може впливати на проростання, ріст і розвиток ріпаку озимого. Додатково оцінювали гранулометричний склад, об'ємну масу та ступінь окультурення ґрунту, оскільки ці показники визначають водно-повітряний режим і умови для укорінення рослин у період осінньої вегетації. Важливими також були показники кислотності, адже ріпак озимий чутливий до знижених значень рН, які можуть обмежувати засвоєння фосфору та калію. Аналіз забезпеченості елементами живлення дозволив визначити потенційні обмежувальні фактори на стартових етапах формування біомаси, а також оцінити необхідність у корекції мінерального живлення. Отримані дані слугували вихідною основою для інтерпретації подальших результатів дослідження, оскільки технологія поверхневого

посіву дронами особливо залежить від стану верхнього шару ґрунту, його вологості, структурності та рівня забезпечення доступними формами поживних речовин.

Дослідна ділянка була закладена на площі 66 м × 52,2 м та включала трьохкратну повторність відповідно до схеми дослідження (рис. 3). Кожна повторність формувала окремий ярус, що був розміщений послідовно без рендомізації. Такий підхід був науково обґрунтований технологічними особливостями використання агродрона, оскільки забезпечував стабільність траєкторії польоту, рівномірність подачі насіння та можливість контролювати параметри висіву на кожній ділянці без впливу зміни маршруту апарата.

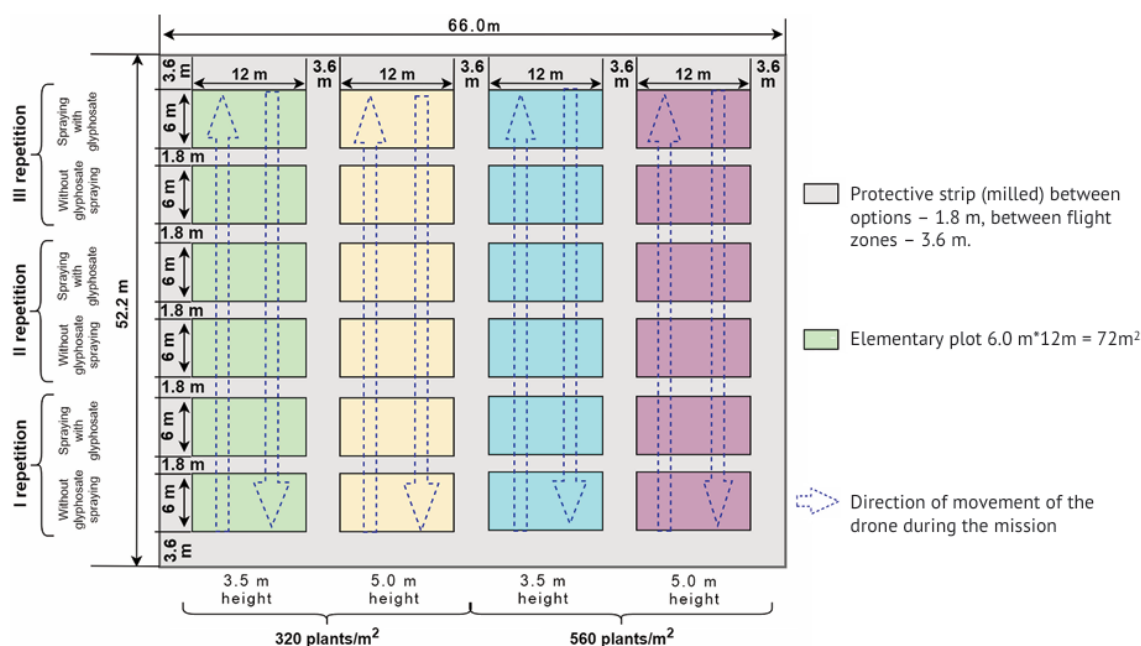


Рис. 3. Схема модельного дослідження посіву ріпаку озимого в якості сидеральної культури

Експериментальні варіанти відрізнялися нормами висіву, що були підібрані з урахуванням результатів попередніх досліджень, у яких визначено оптимальну густоту стояння для ріпаку озимого за умов поверхневого висіву без загортання. Густота посіву традиційно розраховується як кількість рослин на м², необхідна для формування рівномірного та

конкурентоспроможного агроценозу. Для ріпаку озимого при класичному способі сівби ця величина становить у середньому 80 рослин/м², проте в умовах сівби за допомогою дрону необхідна компенсація втрат, спричинених відсутністю механічного загортання та впливом зовнішніх факторів (вітер, нерівномірність мікрорельєфу, осідання насіння на поверхні ґрунту).

У даному досліді досліджували дві підвищені норми висіву: збільшено в 4 рази від рекомендованої норми (320 рослин/м²) та в 7 разів від рекомендованої норми (560 рослин/м²). Таке значне збільшення кількості насіння на одиницю площі було зумовлене особливостями механізму розподілу насіння у шнековому висівному апараті дрона та необхідністю забезпечення достатньої густоти сходів для формування якісної сидеральної біомаси.

Обрана схема досліді дозволила порівняти вплив різної густоти стояння на рівномірність розподілу насіння, параметри польових сходів, швидкість укорінення, формування біомаси та морфометричні характеристики рослин ріпаку озимого за умов застосування технології поверхневого посіву агродроном.

2.2. Об'єкти і методика проведення досліджень

У нашому дослідженні об'єктом виступав озимий ріпак сорту Чорний Велетень (рис. 4), посів якого здійснювали за допомогою агродрону. Відповідно до експериментальної схеми висів проводили при двох нормах: 320 та 560 рослин/м², що відповідало внесенню 16 та 28 кг/га насіння. Застосування підвищених норм висіву порівняно з традиційною сівалкою було обумовлене шнековим типом висівного апарату дрону, а також відсутністю механічного загортання та необхідністю забезпечення більшої густоти стояння для формування рівномірного рослинного покриття.

Методика досліджень передбачала три етапи. На підготовчому етапі виконували лабораторну оцінку насіннєвого матеріалу, визначали його схожість та енергію проростання, проводили вибір дослідної ділянки та її

розмітку з урахуванням розташування варіантів і повторностей. Для попередньої оцінки однорідності ділянки було здійснено NDVI-картування за супутниковими даними Sentinel-2 у програмному середовищі ArcGIS Pro (ESRI). Отримані дані підтвердили відсутність значних контрастів у продуктивності ґрунту, що дозволило рівномірно розмістити варіанти досліду. Для забезпечення точності просторової прив'язки польових спостережень використовували RTK GNSS-приймач Hi-Target V30Plus, який також застосовували для синхронізації аерофотознімків з наземними вимірюваннями.

Основний етап передбачав апробацію двох варіантів підготовки площі - за гліфосатною та безгліфосатною технологіями. Для внесення гербіциду використовували агродрон MC A22, який працював із нормою препарату 2 л/га та робочою нормою виливу 7,5 л/га за висоти польоту 4 м, швидкості 8 м/с і швидкості вітру 2 м/с при напрямку А338°. Посів ріпаку озимого здійснювали агродроном ХАG P100 Pro у трикратній повторності. Перед сівбою проводили калібрування висівного апарата для забезпечення стабільної подачі насіння. Сівба виконувалася за сприятливих погодних умов: температура повітря становила +22,6 °С, відносна вологість - 60 %, швидкість вітру - 1,1 м/с. Такі параметри забезпечували рівномірність розподілу насіння і мінімізацію впливу турбулентних потоків ротора.

Ріпак озимий сорту Чорний Велетень - селекційна розробка Вінницької державної сільськогосподарської дослідної станції, яка належить до середньо-пізньостиглої групи стиглості та призначена для вирощування в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України. Біологічні особливості сорту забезпечують його високу адаптивність у різних умовах вирощування, зокрема в регіонах із нестабільним зволоженням, підвищеною кислотністю ґрунтів та ризиком зимових стресів, що характерно для Житомирського Полісся.



**Рис. 4. Загальний вигляд насіннєвого матеріалу ріпаку озимого сорту
Чорний велетень**

Рослини сорту формують розвинену листову розетку та міцне округле стебло діаметром 14–17 мм, висота якого сягає 165–170 см. Сорт характеризується активним осіннім ростом і здатністю до формування 7–8 гілок першого порядку, що сприяє високому потенціалу фотосинтетичної продуктивності та забезпечує рівномірне формування генеративних органів.

Суцвіття китицеподібне, довжиною 26–37 см. Квіти мають інтенсивне жовте забарвлення, характерне для культур *Brassica napus* L. Стручки довжиною 8–10 см містять у середньому 25–31 насінину правильної кулястої форми. Насіння відзначається темним забарвленням, високою масою 1000 насінин (3,0–5,0 г), що свідчить про добру виповненість та високий рівень накопичення запасних речовин.

Сорт має підвищені показники продуктивності - середня врожайність становить 28,8 ц/га за оптимальних умов вирощування. Високий вміст олії (45,5 %) та мінімальні концентрації небажаних компонентів (глюкозинолати - 0,9 %, ерукова кислота - 0,3 %) дозволяють використовувати насіння для олієпереробної галузі та кормових цілей. Низький рівень глюकोзинолатів відповідає міжнародним стандартам «00»-типу, що забезпечує добру кормову цінність шроту.

Чорний Велетень вирізняється високою стійкістю до морозів, що зумовлює стабільну перезимівлю навіть у роки з різкими коливаннями температури та недостатньою сніговою ковдрою. Також сорт характеризується підвищеною посухостійкістю, стійкістю до вилягання, обсіпання насіння і толерантністю до поширених хвороб та шкідників ріпаку (альтернаріоз, фомоз). Такі властивості забезпечують формування рівномірних сходів та продуктивних рослин навіть в умовах поверхневого висіву без загортання - що є особливо важливим для досліджень посіву дроном.

Рекомендована норма висіву становить 1 млн насінин/га, що відповідає оптимальній густоті стояння ріпаку для класичних способів сівби. Однак у дослідженнях із використанням агродронів підвищені норми висіву (320 та 560 рослин/м²) використовуються як компенсаторний механізм через відсутність загортання та ризики нерівномірного розподілу насіння на поверхні ґрунту.

Сорт Чорний Велетень є біологічно пластичним та технологічно придатним для моделювання системи поверхневого посіву дронами, оскільки характеризується високою енергією росту на початкових етапах, доброю перезимівлею та здатністю формувати значну сидеральну біомасу навіть за підвищеної густоти стояння, що робить його оптимальним об'єктом для дослідження у межах моделі сівби за допомогою дрону сидеральних культур.

РОЗДІЛ III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Оцінка посівних якостей насіння ріпаку озимого як передумова ефективності посіву агродроном

Одним із ключових етапів підготовки до моделювання технології поверхневого посіву агродроном є визначення посівних якостей насіння, оскільки саме вони значною мірою визначають успішність формування початкової густоти стояння рослин. В умовах традиційної сівби насіння загортається у ґрунт на оптимальну глибину, де забезпечуються стабільний водно-повітряний режим, захист від температурних коливань та мінімальний вплив біотичних факторів. Однак під час поверхневого висіву дроном насіння ріпаку озимого залишається на поверхні ґрунту або частково потрапляє у мікротріщини, де воно зазнає впливу значно ширшого спектра зовнішніх чинників.

У таких умовах роль внутрішнього фізіологічного потенціалу насіння істотно зростає. Показники енергії проростання й лабораторної схожості стають базовими критеріями, що визначають здатність насіння швидко поглинати вологу, переходити до активної фази росту та формувати дружні сходи, що особливо важливо для дрібнонасінних культур, до яких належить ріпак озимий, оскільки поверхнєве розміщення збільшує ризики пересихання, переміщення насіння вітром, пошкодження птахами та нерівномірності проростання.

У межах підготовчого етапу наших досліджень було проведено лабораторну оцінку посівних якостей насіння ріпаку озимого сорту Чорний Велетень. Дослідження здійснювалося у трьохкратній повторності відповідно до вимог державних стандартів і методик оцінювання кондиційних показників насіння. Лабораторний аналіз мав на меті встановити вихідний біологічний потенціал насіннєвого матеріалу, щоб у подальшому мінімізувати похибки, пов'язані не із самою технологією висіву, а з якістю насіння.

Отримані дані (табл. 1) свідчать про високий рівень фізіолого-біологічної активності насіння. Середнє значення енергії проростання становило 92,7 %, що перевищує типові мінімальні стандарти для посівного матеріалу ріпаку озимого (85–90 %). Висока енергія проростання вказує на швидке поглинання води та інтенсивність первинних метаболічних процесів, які є вирішальними за умов поверхневого розміщення насіння та змінного водного режиму верхнього шару ґрунту.

Таблиця 1

Насіннєві кондиції насіння ріпаку озимого сорту Чорний Велетень за результатами лабораторного дослідження (n=3)

Культура	Енергія проростання, %				Схожість, %			
	I	II	III	Середнє	I	II	III	Середнє
Winter rapeseed (ріпак озимий, сорт Чорний Велетень)	88	94	96	92,7	92	96	98	94,0

Лабораторна схожість на рівні 94,0 % підтверджує високу життєздатність насіння і забезпечує прогнозовану стабільність формування початкової густоти. Для ріпаку в якості сидеральної культури це має особливе значення, оскільки кількість і рівномірність рослин визначають потенціал формування зеленої маси, інтенсивність накопичення органічної речовини та агрофізичний ефект культури у ґрунті.

Високі кондиційні показники насіння дозволили оптимізувати норму висіву для умов поверхневого розсіювання без загортання, яка є критичним параметром успішної сівби за допомогою дрона. Завдяки цьому подальші польові експерименти були спрямовані на оцінку суто технологічних факторів - норми висіву, швидко-висотних режимів роботи агродрона, характеристик висівного апарата - без коригування на якість насіння як додаткове джерело похибок.

3.2. Рівномірність просторового розподілу насіння ріпаку озимого при посіві агродроном та її вплив на формування густоти стояння

Одним із ключових елементів оцінки технології сівби ріпаку озимого за допомогою дрону є аналіз просторової рівномірності розподілу насіння, оскільки саме цей показник визначає можливість формування однорідного агрофітоценозу. На відміну від традиційних сівалок, які забезпечують стабільну глибину загортання і точне дотримання міжрядь, посів за допомогою агродронів здійснюється шляхом поверхневого розсіювання. У таких умовах насіння дрібнонасінних культур, зокрема ріпаку озимого, значною мірою залежить від аеродинамічних потоків, висоти польоту, швидкості руху апарата, мікрорельєфу та вологості поверхневого шару ґрунту.

Рівномірність розподілу насіння є критично важливою не лише для забезпечення оптимальної густоти стояння, але й для уникнення зон надмірного загущення або зрідження. Обидва явища погіршують продуктивність ріпаку озимого як сидеральної культури, оскільки впливають на швидкість формування біомаси, конкуренцію між рослинами та подальшу синхронність розвитку.

Наступним етапом нашого дослідження стало визначення рівномірності просторового розподілу насіння при посіві за допомогою агродрона. Основний акцент був зроблений на оцінці фактичної кількості насіння на одиницю площі (1 м^2), визначенні коефіцієнта варіації розподілу та аналізі впливу різних норм висіву на структуру посіву ріпаку озимого, що дозволило встановити ступінь стабільності технологічного процесу та визначити, наскільки розподіл насіння наближений до агрономічно оптимального.

Оскільки ріпак озимий є культурою з вираженою чутливістю до густоти стояння, нерівномірність його розподілу може суттєво впливати на польову схожість, розвиток надземної маси та формування кореневої системи. Локальне зрідження веде до формування великих, але менш

конкурентоспроможних рослин, тоді як надмірне загущення сприяє витягуванню, пригніченню росту та зниженню біомаси на одиницю площі.

Результати польових досліджень (табл. 2) виявили виражену нерівномірність просторового розподілу насіння, що проявлялося у значних коливаннях фактичної густоти в межах робочої смуги та у зміщенні частини насіння за її межі. Зокрема, при нормі висіву 320 рослин/м² найвищий показник кількості насіння (98 шт/м²) був зафіксований на лінії проходу дрона (0 м), тоді як на відстані 3 м він знизився до 36 шт/м². При висоті польоту 5 м ця тенденція посилювалася - вплив турбулентних потоків був більш вираженим, що підтверджує закономірність зменшення точності розподілу зі збільшенням висоти польоту.

Таблиця 2

**Розподіл насіння ріпаку озимого по ділянці
залежно від траєкторії руху дрона, 2025**

Культура	Проективна густота, рослин/м ²	Висота висіву насіння, м	Відстань від умовної лінії проходу дрона, м			Середньо-зважений показник висіяного насіння, шт/м ²	% від запланованої норми
			0	1,5	3		
			Кількість насінин, шт/м ²				
Ріпак озимий	320	3	98	104	36	79	24,8
		5	80	52	42	58	18,1
	560	3	398	204	36	213	38,0
		5	227	331	36	198	35,4

Середньозважена фактична густота рослин становила 79 шт/м² (24,8 % від запланованої норми) за висоти польоту дрона 3 м та лише 58 шт/м² (18,1 %) при висоті 5 м. Такі результати означають, що зі збільшенням висоти польоту суттєво зростає дрейф насіння у горизонтальному напрямку внаслідок турбулентних повітряних потоків, які формуються під багатороторною системою дрона. Відповідно, частина насіння не потрапляє в заплановану посівну смугу, що призводить до зниження фактичної густоти та погіршення точності розподілу.

Підвищена норма висіву (560 рослин/м²) частково компенсувала втрати рівномірності, однак не усунула їх повністю. Значні амплітуди (398 → 204 → 36 шт/м²) та порушення симетрії розподілу вказують на складну аеродинамічну поведінку легкого насіння ріпаку в зоні повітряних вихорів, які утворюються роторами дрона. Ефект зворотних турбулентних потоків, що виникають позаду апарата, сприяє зміщенню частини насіння у напрямках, не прогнозованих лінією польоту.

Виявлена асиметрія розподілу та нерівномірність густоти стояння створюють ризики формування неоднорідного агрофітоценозу, що знижує ефективність використання ріпаку озимого як сидеральної культури. За цих умов доцільним є застосування: перехресного посіву (cross-seeding) - два перпендикулярні прольоти дрона з половинною нормою висіву; зменшення висоти польоту, що знижує горизонтальний дрейф; удосконалення дозувальних механізмів дрона; адаптивних маршрутів польоту з корекцією на швидкість вітру та мікрорельєф. Cross-seeding є найбільш ефективним методом компенсації нерівномірності, оскільки взаємно перекриває «провальні» та «ущільнені» зони, забезпечує оптимальний рівень конкуренції між рослинами й підвищує синхронність розвитку.

Отримані результати підтверджують, що технологія сівби за допомогою дрону потребує подальшої інженерної адаптації - оптимізації висоти, траєкторій польоту та конструкції висівного апарата. Рівномірність просторового розподілу насіння є критичним параметром для забезпечення стабільності густоти стояння та формування високопродуктивної сидеральної маси. Тому наступним етапом досліджень став польовий моніторинг росту та розвитку рослин ріпаку озимого.

3.3. Оцінка виживабельності та фактичної густоти стояння рослин ріпаку озимого залежно від технології підготовки ґрунту, норми висіву та висоти польоту дрона

Після визначення рівномірності просторового розподілу насіння наступним етапом дослідження було встановлення фактичної здатності рослин ріпаку озимого формувати життєздатні сходи та забезпечувати необхідну густоту стояння залежно від умов посіву за допомогою агродрона. На відміну від традиційної сівби, при якій насіння загортається у вологий шар ґрунту і захищається від абіотичних чинників, поверхнєве розташування насіння під час аеророзсіювання створює значні ризики його пересихання, зміщення вітром, поїдання птахами та конкуренції з бур'янами. Тому визначення польової схожості та коефіцієнта збереження рослин є ключовим критерієм оцінювання ефективності технології посіву за допомогою дрону. Крім того, залежність життєздатності рослин від технологічних параметрів, таких як висота польоту дрона, норма висіву та наявність або відсутність гербіцидної передпосівної підготовки, дає можливість визначити найбільш доцільні комбінації для використання ріпаку як сидеральної культури.

Отримані дані свідчать (табл. 3) про суттєві відмінності у формуванні фактичної густоти стояння ріпаку озимого залежно від варіанта дослід. Найнижчі показники польової схожості та збереженості рослин були зафіксовані на ділянках без застосування гліфосату. За норми висіву 320 рослин на м² кількість рослин на момент оцінювання становила лише 1,39 шт/м² за висоти польоту 3 м та 1,62 шт/м² за висоти 5 м, що відповідає 0,43–0,51 % від висіяного насіння. Надзвичайно низькі показники пояснюються високим конкурентним тиском бур'янів на ранніх етапах розвитку культури, коли ріпак, розміщений на поверхні ґрунту, не здатний конкурувати за світло, вологу й поживні речовини. Бур'яни проростають значно швидше, повністю пригнічують проростки ріпаку та зумовлюють масове випадання рослин уже на початкових фазах органогенезу.

Підвищена норма висіву (560 рослин/м²) у варіантах без застосування гербіциду не забезпечила покращення показників. Виживабельність становила лише 0,62–1,72 %, при цьому коефіцієнт варіації досягав 214,24 %, що свідчить про різку нерівномірність розміщення рослин, формування локальних зон їхнього згущення або повного зрідження. Така ситуація вказує на те, що збільшення кількості насіння не компенсує негативного впливу бур'янів, а навпаки підсилює внутрішньовидову конкуренцію між сходами ріпаку, які мають обмежений доступ до ресурсів через відсутність загортання.

Таблиця 3

Вплив технології, норми висіву та висоти посіву з дрона на залишкову кількість рослин ріпаку озимого, шт/м²

Варіант (технологія вирощування)	Проективна густота, рослин/м ²	Висота висіву насіння, м	Середнє по повторенням, шт/м ²			Середнє по варіанту	Коефіцієнт варіації, %	Виживабельніс ть рослин на 1 м ²
			0	1,5	3			
Без гліфосату	320	3	1	1	2	1,39±1,73	124,37	0,43
		5	0	1	4	1,62±3,42	211,05	0,51
	560	3	0	1	9	3,47±7,44	214,24	0,62
		5	8	8	13	9,61±6,67	69,38	1,72
Обробка гліфосато м	320	3	11	13	19	14,47±10,69	73,90	4,52
		5	23	16	27	21,99±11,18	50,82	6,87
	560	3	9	6	13	9,61±4,47	46,57	1,72
		5	5	8	11	8,1±4,74	58,49	1,45

Застосування гліфосату на передпосівному етапі принципово змінило характер формування початкової густоти посівів. У варіанті з нормою висіву 320 рослин/м² кількість збережених рослин становила 14,47 шт/м² при висоті польоту 3 м і 21,99 шт/м² при висоті 5 м, що відповідає 4,52–6,87 % від кількості висіяного насіння. Покращення умов проростання пояснюється

зниженням конкуренції з боку бур'янів у найчутливіший період розвитку рослин, коли формується коренева система та перші справжні листки. Ріпак за таких умов отримує більше світла, менше зазнає механічного пригнічення та має доступ до поверхневої вологи, що є критичним у технології поверхневого висіву.

При нормі висіву 560 рослин/м² у варіантах із гліфосатом показники були дещо вищими, ніж на неконтрольованих ділянках, однак залишалися низькими: виживабельність становила 1,45–1,72 %. Причиною цього є внутрішньовидова конкуренція, яка різко посилюється при загущенні посівів. За умов поверхневого розміщення насіння ріпаку надлишкова густина призводить до пригнічення проростків, порушення фотосинтетичної активності й швидкого виснаження запасів ґрунтової вологи. Більшість проростків не витримують конкуренції та випадають ще до формування листової розетки. Таким чином, збільшення норми висіву не забезпечує очікуваного підвищення густоти стояння рослин і не може розглядатися як підхід до компенсації втрат насіння під час поверхневого посіву.

На основі отриманих результатів встановлено, що найбільш сприятливою комбінацією технологічних параметрів є застосування гліфосату на передпосівному етапі, норма висіву 320 рослин/м² та висота польоту дрона 5 м. У цьому варіанті формувалася найвища фактична густина стояння рослин серед усіх досліджених комбінацій, а структура посіву була більш стабільною. Це свідчить про те, що формування життєздатного агрофітоценозу ріпаку озимого в умовах аеророзсіювання значною мірою залежить саме від забезпечення чистої від бур'янів поверхні ґрунту та оптимального рівня густоти, що відповідає біологічним вимогам культури.

Загалом результати досліджень підтверджують, що рівномірний і достатній початковий розвиток рослин є критично важливим для ріпаку озимого як сидеральної культури. Від густоти стояння залежить інтенсивність нагромадження зеленої маси, розвиток кореневої системи, рівень фіксації органічної речовини та структуротворчий ефект у ґрунті.

Нерівномірні посіви призводять до значного зниження сидераційного потенціалу, тому оптимізація технології посіву з використанням агродрона є необхідною умовою підвищення ефективності вирощування культури у системах сталого землеробства.

3.4. Технологічна та економічна доцільність застосування агродронів для посіву та передпосівної обробки ріпаку озимого як сидеральної культури в умовах Житомирської області

Сучасні тенденції розвитку аграрного сектору, спрямовані на підвищення ефективності виробництва та зниження витрат, визначають потребу у впровадженні інноваційних технологій, здатних забезпечити ресурсозбереження, екологічність та високу точність виконання агротехнічних операцій. У ґрунтово-кліматичних умовах Полісся Житомирської області, де поширені ґрунти з низьким умістом гумусу, підвищеною кислотністю та нерівномірним рівнем забезпеченості елементами живлення, особливого значення набувають технології, що мінімізують механічний вплив на орний шар та забезпечують раціональне використання ресурсів. Одним із найбільш перспективних напрямів є застосування агродронів для передпосівної обробки гербіцидами та поверхневого висіву дрібнонасінних культур, зокрема ріпаку озимого, що широко використовується як сидеральна культура.

У контексті сидерації важливою є не лише біологічна цінність ріпаку озимого, а й технологічна доцільність виконання операцій із мінімальними затратами часу та ресурсів. Традиційні механізовані способи виконання обприскування чи посіву потребують значних обсягів пального, високої трудомісткості, а також створюють ризики ущільнення ґрунту — чинника, що особливо критичний для господарств Полісся. Натомість агродрони забезпечують виконання операцій з високою точністю, незалежно від умов доступності поля, що дозволяє використовувати їх на перезволожених, дрібноконтурних або структурно нестійких ділянках.

Дані таблиці 4 засвідчують чіткі економічні переваги впровадження дронів при вирощуванні ріпаку озимого як сидеральної культури. Найбільш суттєвою перевагою є зниження вартості передпосівної гербіцидної обробки: застосування агродрону потребує лише 410 грн/га, тоді як традиційна технологія — 525 грн/га. Очевидна економія зумовлена зменшеною кількістю робочої рідини та високою точністю внесення засобів захисту рослин.

Посів також виявився економічно доцільнішим при використанні агродрону: 287 грн/га проти 350 грн/га у традиційному варіанті. Вартісна різниця відображає скорочення операційних витрат та зменшення обсягів використання механізованої техніки. Агродрон не потребує пального, мастильних матеріалів та технічного обслуговування у тому обсязі, що характерний для традиційних агрегатів.

Таблиця 4

Економічна ефективність традиційної технології та технології з використанням агродронів

Показники	Технологія застосування дрону		Традиційна технологія	
	Без гербіциду	З гербіцидом	Без гербіциду	З гербіцидом
Обробка гліфосатом, грн.	-	410,00 (10 \$)	-	525,00 (12,8 \$)
Посів, грн.	287, 00 (7 \$)	287, 00 (7 \$)	350,00 (8,5 \$)	350,00 (8,5 \$)
Швидкість операційних процесів, хв/га	5-7	5-7	25-45	25-45
Затрати води, л/га	-	3,5-7,5	-	200-250

Однією з найбільш вагомих технологічних переваг агродронів є значно вища швидкість виконання операцій — 5-7 хв/га проти 25-45 хв/га у традиційній технології, що дає можливість швидко обробляти значні площі, що особливо важливо за коротких агротехнічних інтервалів та ризиків зміни погодних умов.

Ще одним визначальним чинником є надзвичайно низьке водоспоживання при використанні агродронів, яке становить лише 3,5-7,5 л/га, тоді як традиційні обприскувачі потребують 200-250 л/га. Така різниця у витратах забезпечує мінімізацію логістичних потреб, зменшення навантаження на техніку та зниження негативного впливу на навколишнє середовище, що повністю узгоджується з принципами точного та екологічного землеробства.

Сукупність отриманих результатів свідчить, що застосування агродронів забезпечує економічно та технологічно ефективне виконання передпосівних та посівних операцій. Зниження виробничих витрат, мінімізація антропогенного тиску на ґрунт, скорочення використання води та засобів захисту рослин, а також підвищення швидкості роботи створюють вагомі аргументи на користь технологій із використанням дронів у специфічних умовах Полісся. З іншого боку, впровадження агродронів має певні обмеження: потреба у кваліфікованих операторах, чутливість до метеорологічних умов, а також функціональні особливості окремих моделей, що впливають на точність висіву. Проте удосконалення технічних рішень, автоматизованих систем управління та цифрових платформ землеробства поступово нівелюють ці недоліки.

Таким чином, у ґрунтово-кліматичних умовах Житомирського Полісся застосування агродронів є економічно обґрунтованим та технологічно перспективним інструментом для виконання передпосівної обробки ґрунту та поверхневого посіву ріпаку озимого як сидеральної культури. Використання дронів дозволяє підвищити результативність формування сидеральної маси, забезпечити стабільність технологічних процесів та оптимізувати функціонування системи землеробства загалом.

ВИСНОВКИ

1. Посівні якості насіння ріпаку озимого сорту Чорний Велетень виявилися високими: енергія проростання становила 92,7 %, лабораторна схожість - 94,0 %.
2. Рівномірність просторового розподілу насіння при використанні дрону була недостатньою. За норми 320 шт./м² середньозважена фактична кількість насінин становила 79 шт./м² при висоті польоту 3 м та 58 шт./м² - при 5 м, що становить лише 24,8 % і 18,1 % від запланованої норми.
3. Застосування гліфосату істотно підвищило виживабельність рослин ріпаку озимого, особливо за норми висіву 320 шт./м². Кількість життєздатних рослин у цьому варіанті становила 14,47-21,99 шт./м² (4,52-6,87 % від внесеного насіння), тоді як у варіанті без гербіциду виживабельність становила лише 0,43-0,51 %.
4. Підвищена норма висіву (560 шт./м²) не забезпечила покращення густоти стояння рослин. Навпаки, зростання внутрішньовидової конкуренції зменшувало виживабельність до 1,45-1,72 % навіть за гербіцидної підготовки ґрунту. За відсутності гербіциду ці показники були ще нижчими (0,62-1,72 %), що вказує на недоцільність компенсації втрат шляхом збільшення норми висіву при поверхневому способі посіву.
5. Найбільш ефективною комбінацією технологічних параметрів було визначено застосування гліфосату, норму висіву 320 шт./м² та висоту польоту дрона 5 м, що забезпечувало найвищу фактичну густоту стояння рослин і стабільніші показники рівномірності порівняно з іншими варіантами.
6. Технологія застосування агродронів виявилася економічно доцільною. Вартість гербіцидної обробки агродроном була нижчою (410 грн/га проти 525 грн/га традиційно), як і вартість посіву (287 грн/га проти 350 грн/га). Час виконання операцій скорочувався у 4-6 разів (5-7 хв/га проти 25-45 хв/га), а витрата води - у десятки разів (3,5-7,5 л/га проти 200-250 л/га).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Результати досліджень свідчать, що успішність посіву ріпаку озимого агродроном у ґрунтово-кліматичних умовах Житомирського Полісся значною мірою залежить від правильної передпосівної підготовки, технологічних параметрів роботи дрона та вибору норми висіву. Найважливішим чинником формування життєздатних сходів є очищення поля від бур'янів. Гербіцидна передпосівна обробка значно підвищує виживабельність рослин і забезпечує рівномірніший розвиток культури. За відсутності гербіцидної підготовки ріпак не здатний конкурувати з бур'янами, що призводить до різкого зниження густоти стояння. Оптимальною нормою висіву для поверхневого розсіювання виявилася 320 рослин/м². Збільшення норми не покращує результат, оскільки посилює внутрішньовидову конкуренцію та сприяє випадінню частини рослин. Висота польоту дрона істотно впливає на точність розподілу насіння. Найбільш стабільні результати досягаються при висоті близько 5 метрів, що зменшує дрейф насіння і забезпечує більш рівномірний посів. Для компенсації нерівномірності, спричиненої повітряними потоками, доцільно застосовувати перехресний посів із двома взаємно перпендикулярними прольотами дрона.

Економічний аналіз показав, що використання агродронів суттєво знижує витрати на передпосівну обробку та посів, скорочує час виконання операцій і виключає ризик ущільнення ґрунту важкою технікою. Крім того, дрони потребують у десятки разів менше води при внесенні препаратів. Рекомендовано використовувати агродрони для виконання операцій на полях зі складними умовами доступу, підвищеною вологістю або структурно нестійкими ґрунтами, забезпечивши підготовку спеціалістів, які володіють навичками керування та налаштування обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alcántara, C., & Bergkvist, G. Brassica species as winter cover crops. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2009.
2. Bezkorovainyi, V. M., & Moisiienko, V. V. (2024). *Seed productivity of winter rapeseed hybrids depending on row spacing in the Right-Bank Forest-Steppe*. Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry, 75(2), 20–29. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(75\)-2-2](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(75)-2-2)
3. Bezkorovainyi, V. M., & Moisiienko, V. V. (2024). Formation of yield and seed quality of winter rapeseed depending on hybrids and sowing methods in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (9), 169–178. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.17>
4. Bondarchuk, I. L., Dremov, A. I., & Krasko, Ya. V. (2018). *Features of winter rapeseed overwintering in the north-eastern Forest-Steppe of Ukraine*. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Honcharivski Readings” (Sumy, May 24–25, 2018), 109.
5. Boydston, R. A., & Hang, A. Weed suppression by rapeseed green manure. *Weed Technology*, 1995.
6. Čupina, B., & Krstić, D. Winter cover crops as green manure in a temperate region. *Crop and Pasture Science*, 2017.
7. Haramoto, E. R., & Gallandt, E. R. Brassica cover cropping and weed suppression. *Weed Science*, 2005.
8. Huang, X., Zhang, S., Luo, C., Li, W., & Liao, Y. (2020). Design and Experimentation of an Aerial Seeding System for Rapeseed Based on an Air-Assisted Centralized Metering Device and a Multi-Rotor Crop Protection UAV. *Applied Sciences*, 10(24), 8854. <https://doi.org/10.3390/app10248854>
9. Maes WH, Steppe K. Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture. *Trends Plant Sci.* 2019 Feb;24(2):152-164. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.007> Epub 2018 Dec 15. PMID: 30558964.

10. Matsera O. Comparative evaluation of quality properties of winter rapeseed depending on the level of fertilizers and sowing date. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 1 (16). С. 108-118. [DOI: 10.37128/2707-5826-2020-1-8](https://doi.org/10.37128/2707-5826-2020-1-8).
11. Tan X., Li X., Zhou J. Simple-efficient cultivation for rapeseed under UAV-sowing. *Field Crops Research (Elsevier)*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429025001522>
12. Voloshchuk, O. P., Sendetskyi, V. M., Melnychuk, T. V., & Sendetskyi, I. V. (2022). *Productivity of winter rapeseed under the application of the growth regulator Vermiyodis and different seeding rates*. *Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry*, 71(2), 67–84. [https://doi.org/10.32636/01308521.2022-\(71\)-2-5](https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-2-5)
13. Voloshchuk, O. P., Rasputenko, A. O. Особливості осіннього розвитку рослин ріпаку озимого залежно від строків, способів сівби та норм висіву насіння. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 63. С. 38–48.
14. Zabarnyi, O. S., & Zabarna, T. A. (2024). *Features of winter rapeseed crop management in the spring period*. *Agriculture and Forestry*, 1(32), 50–61. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-1-5>
15. Zabarnyi, O. S., & Zabarna, T. A. (2025). *Influence of meteorological factors on the formation of winter rapeseed (Brassica napus L.) yield*. *Agrarian Innovations*, 52–58. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.31.9>.
16. Zhang, S., Kovacs, J.M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agric* 13, 693–712 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
17. Zhu Y., Chen D., Wang H. Key parameters determination based on seed movement in UAV-based aerial seeding. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169925007021>

18. Zhuravel S. (2024) «Features of development of the technology of growing oil radish as a sideral crop under the condition of modeling the technological scheme of sowing using an agrodrome», *Sciences of Europe*, (153), с. 4–7. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14227465>
19. Zhuravel, S. V., Kravchuk, M. M., Zhuravel, S. S., Polishchuk, A. L., & Stasiuk, B. B. (2024). *Modeling the technology of winter rapeseed sowing with an agro-drone for green manure purposes under different seeding rates and cultivation practices in the Polissia zone*. *Znanstvena Misel* (Ljubljana, Slovenia), (96), 8–11. ISSN 3124-1123. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14242156>
20. Zhuravel, S., Kravchuk, M., Zhuravel, S., Razumna, K., & Kyianichenko, M. (2025). Development of a drone-based sowing technology for oilseed radish as a green manure crop. *Scientific Horizons*, 28(11), 58-66. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2025.58>
21. Zubov, O. R., Zubova, L. H., & Slavgorodska, Yu. V. (2012). *Assessment of the impact of meteorological factors on the yield of winter crops in the northern part of Luhansk region*. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, (2), 14–20.
22. Васильковська К. В., Андрієнко О. О., Шепілова Т. П. Ефективність агродронів в системі точного землеробства. *Аграрні інновації*. 2023. Вип. 17. С. 13–18. DOI: 10.32848/agrar.innov.2023.17.2. URL: <https://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/35>.
23. Васильковська К. В., Андрієнко І. А., Філончук А. С. Використання агродронів в системі точного землеробства. *Матеріали X Міжнародної науково-технічної онлайн-конференції «Крамаровські читання»*. Київ: НУБіП України, 2023. С. 201–203
24. Горова О. Роль ріпаку озимого як сидерату в умовах Полісся. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2020; 1(67): 112–118.

25. Сидеральні культури у системах сталого землеробства / С. М. Каленська, С. В. Рижук // Вісник аграрної науки. — 2021. — № 6. — С. 45–52.
26. Кравченко В., Довгалюк Т. Вплив ріпаку озимого на родючість ґрунтів Полісся. Агроекологічний журнал. 2021; 3: 112–118.
27. Лісовий М. М., Бутенко О. О. Ріпак озимий у системах удобрення та сидерації. Naukovi horyzonty. 2022; 2(25): 45–52.
28. Мельник І. Сидеральні культури як елемент екологічного землеробства. Органічне виробництво і наукові дослідження. 2023; 1(2): 58–65.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. Сорока В. І., Рудник-Іващенко О. І. Перспективи ріпаку в Україні. Агроном. 2012. № 2. С. 86.
33. 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.
34. 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.