

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Агрономічний факультет
Кафедра ґрунтознавства та землеробства

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Карбівський Едуард Олександрович

УДК 629.7.05(477.41/.42)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОСІВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР ЗА ДОПОМОГОЮ АГРОДРОНУ В УМОВАХ НАВЧАЛЬНО-
ДОСЛІДНОГО ПОЛЯ ПОЛІСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

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 _____ Е.О. Карбівський

Керівник роботи

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

Житомир–2024

Зміст

Анотація	3
Вступ	5
Розділ 1. Літературний огляд	9
Розділ 2. Умови, об'єкти і методика проведення досліджень.	17
2.1. Місце та умови проведення досліджень .	17
2.2. Об'єкти і методика проведення досліджень	20
Розділ 3. Результати досліджень	25
3.1. Оцінка якості насіннєвого матеріалу та обґрунтування норми висіву	25
3.2. Організація модельного експерименту з різними нормами висіву сільськогосподарських культур	27
3.3. Вплив забур'яненості редьки олійної та ріпаку озимого на ріст і розвиток за умов різних технологій вирощування та норм висіву	33
3.4. Економічна ефективність традиційної технології вирощування олійної редьки та ріпаку озимого як сидеральних культур у порівнянні з використанням агродронів в умовах Полісся	36
Висновки	39
Рекомендації виробництву	40
Список використаних джерел	41

АНОТАЦІЯ

Карбівський Е.О. «Особливості технології посіву сільськогосподарських культур за допомогою агродрону в умовах навчально-дослідного поля Поліського національного університету». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

Робота викладена на 44 сторінках комп'ютерного набору, містить 6 таблиць, 4 рисунків, складається зі вступу, 3 розділів, висновків, рекомендацій виробництву. Список використаних джерел включає 42 найменувань.

В роботі розглянуто особливості технології посіву сільськогосподарських культур за допомогою агродронів, яка набуває особливої актуальності в умовах війни в Україні. Використання агродронів у сучасних умовах дозволяє зменшити залежність від важкої техніки, знижуючи витрати пального та ризики пошкодження інфраструктури. Військові дії часто ускладнюють доступ до полів і традиційних засобів обробітку ґрунту, тоді як агродрони забезпечують точне, оперативне та безпечне внесення насіння навіть у важкодоступних або небезпечних зонах. Це сприяє стабільності продовольчого виробництва в регіонах, які найбільше постраждали від війни, і підтримує продовольчу безпеку України.

Застосування агродронів для посіву забезпечує більш ефективне використання насіння та зменшує потребу в людському ресурсі, що є важливим з урахуванням браку робочої сили в сільському господарстві через мобілізацію. Крім того, даний метод сприяє розвитку прецизійного землеробства, підвищує урожайність та якість культур завдяки точності посіву і моніторингу умов росту рослин. Такий підхід до агровиробництва відповідає стратегії сталого розвитку сільського господарства України, посилюючи його екологічну та економічну стійкість.

Ключові слова: агродрон, технологія посіву, сільськогосподарські культури, продовольча безпека, сталий розвиток, агротехнології, прецизійне землеробство.

SUMMARY

Karbivsky E.O. "Features of the technology of sowing crops using an agricultural drone in the conditions of the educational and research field of the Polesie National University". - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 201 - agronomy. - Polesie National University, Zhytomyr, 2024.

The work is presented on 44 pages of a computer set, contains 6 tables, 4 figures, consists of an introduction, 3 sections, conclusions, recommendations for production. The list of sources used includes 42 items.

The work considers the features of the technology of sowing crops using agricultural drones, which is becoming particularly relevant in the conditions of war in Ukraine. The use of agricultural drones in modern conditions allows you to reduce dependence on heavy equipment, reducing fuel consumption and the risks of damage to infrastructure. Military operations often make it difficult to access fields and traditional tillage equipment, while agrodrones provide accurate, efficient and safe seeding even in hard-to-reach or dangerous areas. This contributes to the stability of food production in the regions most affected by the war and supports Ukraine's food security.

The use of agrodrones for sowing ensures more efficient use of seeds and reduces the need for human resources, which is important given the shortage of labor in agriculture due to mobilization. In addition, this method contributes to the development of precision agriculture, increases crop yields and quality due to the accuracy of sowing and monitoring of plant growth conditions. This approach to agricultural production corresponds to the strategy of sustainable development of Ukrainian agriculture, strengthening its environmental and economic sustainability.

Keywords: agrodrones, sowing technology, agricultural crops, food security, sustainable development, agricultural technologies, precision agriculture.

ВСТУП

Актуальність теми. В останні роки технології точного землеробства в сільському господарстві здійснили революцію, надаючи змогу значно підвищити ефективність і точність аграрних процесів. Серед сучасних інновацій, дрони стали одним з найважливіших інструментів для автоматизації та оптимізації сільськогосподарської діяльності. Використання агродронів дозволяє здійснювати комплексний підхід до управління агроекосистемами – від моніторингу посівів до виконання складних операцій, таких як висів насіння, внесення добрив і засобів захисту рослин. Це забезпечує скорочення витрат ресурсів, оптимізацію виробничих процесів та мінімізацію екологічного впливу на довкілля.

Агродрони також сприяють зниженню трудових затрат в сільському господарстві, дозволяючи виконувати завдання, які раніше потребували значних людських і матеріальних ресурсів, з меншою кількістю залучених працівників. Вони можуть здійснювати знімки з висоти, створювати 3D-карти, які допомагають аналізувати стан ґрунтів і посівів, контролювати тварин у фермерських господарствах та застосовувати індивідуальні підходи до іригації. Завдяки своїй точності і гнучкості, дрони підходять для роботи як на великих полях, так і в умовах важкодоступних територій, де традиційна сільськогосподарська техніка обмежена.

Інтеграція безпілотних технологій у сільське господарство значно підвищує ефективність багатьох операцій, забезпечуючи детальну і точну інформацію для прийняття агрорішень. Аерофотозйомка дозволяє виявляти зони загибелі врожаю та інші дефекти, що потребують своєчасного реагування, а висока деталізація зображень завдяки низькій висоті польоту дронів робить цей метод точнішим за супутникові зйомки. Використання відеозйомки сприяє оперативності, дозволяючи охопити до 30 км за годину і знизити часові та фінансові витрати. Технології 3D-моделювання та тепловізійна зйомка є важливими для точного аналізу стану ґрунту, визначення перезволожених або посушливих зон, а також для розробки карт

рекультивації та меліорації земель. Лазерне сканування надає можливість створення точних моделей рельєфу в умовах важкодоступних територій. Опрыскування за допомогою дронів дозволяє точково застосовувати хімікати, захищаючи здорові рослини і зменшуючи екологічний вплив.

Посів насіння дронами, хоча є відносно новою технологією, має значний потенціал для зниження затрат на оплату праці та енерговитрати. Це рішення сприяє скороченню часу посадки, дозволяє фермерським господарствам автоматизувати роботу, зменшуючи необхідність у людській присутності. Безпілотні технології мають адаптивність до різних типів господарств і можуть впроваджуватися як на великих фермах, так і на малих ділянках. Впровадження дронів у технології посіву та обробки сільськогосподарських культур є актуальним напрямком для підвищення продуктивності, точності та екологічної стійкості аграрної діяльності, підвищення продуктивності та сталого розвитку сільського господарства, що зумовлює потребу в детальному дослідженні особливостей цієї технології та її переваг для аграрної галузі.

Мета досліджень полягає в розробці та оптимізації технологічних рішень для посіву сільськогосподарських культур з використанням безпілотних літальних апаратів.

Для досягнення поставленої мети, нами були вирішені такі завдання:

1. Проведено аналіз сучасних технологій використання агродронів у посіві сільськогосподарських культур та визначено їхні переваги і недоліки порівняно з традиційними методами.

2. Розроблено модельний методологічний підхід для оптимізації процесу посіву сільськогосподарських культур за допомогою агродронів в умовах України.

3. Досліджено вплив використання агродронів на ефективність витрат матеріальних ресурсів (насіння, пального, добрив) та зменшення шкоди для навколишнього середовища.

4. Визначено економічні показники та потенційні переваги застосування агродронів для посіву сільськогосподарських культур у важкодоступних або небезпечних зонах.

5. Оцінено можливості та перспективи впровадження агродронів для підтримки продовольчої безпеки та сталого розвитку агропромислового комплексу України в умовах військового конфлікту.

Об'єктом дослідження є процес посіву сільськогосподарських культур з використанням агродронів як сучасного технологічного засобу, що забезпечує точне, ефективне та екологічно стале виконання агротехнічних завдань в умовах сільськогосподарського виробництва України, особливо з урахуванням обмежень та ризиків, спричинених військовими діями.

Предметом дослідження є особливості оптимізації процесу посіву, точність внесення насіння, економічна ефективність, вплив на продуктивність та екологічну стійкість агровиробництва в умовах сучасних викликів для сільського господарства України.

Методи досліджень: *польовий метод* – закладка дослідів на дослідних ділянках для вивчення динаміки розвитку олійної редьки та ріпаку озимого за різних технологій вирощування (гербіцидна та безгербіцидна) та норм висіву; *лабораторний метод* – визначення насінневих кондицій культурних рослин (енергія проростання, схожість насіння) перед закладкою польових дослідів для мінімізації похибок; *метод проективного покриття* – визначення ступеня забур'яненості дослідних ділянок шляхом візуальної оцінки проективного покриття поверхні ґрунту бур'янами в балах та відсотках; *окомірний метод* – візуальна оцінка розподілу насіння на ділянці після посіву, а також облік рослинності для кількісної та якісної характеристики бур'янового покриву; *економічний аналіз* – порівняльна оцінка витрат на технологічні операції (внесення гербіцидів і посіву) при використанні агродронів та традиційної техніки; *статистичний метод* – обробка даних для визначення середніх значень показників, побудови динамічних рядів та достовірності отриманих результатів; *аналітичний*

метод – аналіз та узагальнення результатів досліджень для формулювання висновків та рекомендацій щодо оптимальних технологій вирощування сидеральних культур.

Перелік публікацій автора за темою досліджень:

1. 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.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота викладена на 44 сторінках комп'ютерного набору, містить 6 таблиці, 4 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

У сучасному сільському господарстві, де кожен ресурс на вагу золота, пошук інноваційних рішень є ключовим фактором успіху. Одним із таких рішень є застосування безпілотних літальних апаратів (БЛА). Здатність дронів оперативно збирати великі обсяги даних про стан полів, вчасно виявляти проблеми та оптимізувати сільськогосподарські процеси робить їх незамінними помічниками для аграріїв. Економічна доцільність використання БЛА обумовлена їхньою високою ефективністю та здатністю значно скоротити витрати на виробництво. Використання агродронів у сільському господарстві України є відносно новим, проте швидко розвивається через потребу підвищення ефективності виробництва та раціонального використання ресурсів. Огляд досліджень та практичного досвіду свідчить про значні переваги та певні виклики у впровадженні цієї технології.

Система точного землеробства являє собою багатофункціональний підхід до управління аграрними процесами, в якому інтегровані всі ключові етапи технологічного циклу. Ця система об'єднує операції з обробітку ґрунту, внесення добрив, проведення сівби, застосування пестицидів та збирання врожаю в єдину технологічну лінію. Завдяки використанню сучасних інструментів і технологій, точне землеробство спрямоване на підвищення ефективності аграрного виробництва, зниження витрат ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Дрони та безпілотні літальні апарати стали ключовим елементом цієї системи, виконуючи численні функції: від точного висіву та моніторингу стану посівів до внесення засобів захисту рослин і збору даних для аналізу. Сьогодні вони є невід'ємною частиною сучасного сільського господарства. Завдяки своїй мобільності, точності та універсальності, дрони дозволяють значно оптимізувати виробничі процеси, зменшуючи залежність від традиційної техніки.

Стрімкий розвиток ринку агродронів спостерігається не лише у світі, але й в Україні. За останні роки їх застосування поширилося серед українських аграріїв, які прагнуть інтегрувати інноваційні рішення у свої господарства. Це пов'язано з численними перевагами дронів, такими як зменшення витрат на робочу силу, точне дозування добрив та пестицидів, що сприяє підвищенню врожайності та збереженню екологічної рівноваги.

Додатково, використання дронів у системі точного землеробства дозволяє аграріям оперативно реагувати на зміни стану посівів, ідентифікувати проблемні зони та приймати рішення на основі точних даних. Це особливо важливо для великих господарств, де швидкість і точність виконання робіт відіграють критичну роль. У перспективі дрони стануть ще більш технологічно розвинутими, інтегрованими з іншими цифровими системами, такими як штучний інтелект і автоматизовані системи управління, що ще більше розширить можливості точного землеробства [1].

Перший задокументований випадок використання безпілотних апаратів у військових цілях відбувся 22 серпня 1849 року. Тоді австрійські збройні сили здійснили атаку на італійське місто Венеція, застосувавши безпілотні повітряні кулі, що містили вибухові речовини. Ці пристрої увійшли в історію під назвою «Австрійські повітряні кулі». Для запуску повітряних куль використовувався австрійський корабель *Вулкано*. Деяка частина куль успішно виконала свою місію, доставивши вибухівку до цілі. Однак зміни у напрямку вітру призвели до того, що частина куль змінила траєкторію та вибухнула над позиціями австрійських військ, що зробило їх застосування не повністю ефективним [16]. Цей випадок є одним із перших прикладом використання дистанційно керованих або автономних апаратів у військових діях і показує як потенціал, так і ризики, пов'язані з подібними технологіями. Незважаючи на недоліки, він став важливою віхою у розвитку концепції безпілотної техніки.

До впровадження GPS-позиціонування в сільському господарстві активно використовувалась сільськогосподарська авіація. Для орієнтування

пілотів на полях використовувалися прості візуальні засоби, такі як прапори, розташовані по краях оброблюваного поля. Додатково застосовувався радіозв'язок, який допомагав координувати дії пілотів. Однак такий підхід мав значні недоліки. Через відсутність точних навігаційних систем пілоти нерідко працювали з перекриттями або пропусками, що призводило до неефективного використання ресурсів, таких як добрива та пестициди, а також до зниження якості обробки полів [33].

Згодом поява GPS-позиціонування дозволила усунути ці проблеми, забезпечивши високоточну навігацію, рівномірне розподілення засобів і значне підвищення ефективності сільськогосподарської авіації. Це стало важливим етапом у розвитку точного землеробства, яке мінімізує втрати і забезпечує сталий підхід до використання агроресурсів [2].

Ситуація значно змінилася з появою GPS-позиціонування на початку 1990-х років. Ця технологія дозволяла визначати місцезнаходження літака з похибкою від 20 до 100 метрів, що стало вагомим кроком уперед у точності навігації. Для подальшого підвищення точності було розроблено метод диференціальної корекції, який використовує фіксовану опорну станцію для порівняння обчисленого положення GPS із реальними координатами. Це дозволило мінімізувати похибку до сантиметрового рівня в багатьох випадках [14].

Масове впровадження безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сільське господарство розпочалося наприкінці 1990-х років. Спершу ця технологія отримала популярність у Японії, потім поширилася в Південній Кореї. У 2014 році БПЛА стали активно застосовуватися у Сполучених Штатах, а з 2019 року — і в Україні. Їх впровадження сприяло трансформації аграрного сектору, відкривши нові можливості для автоматизації багатьох процесів [27].

Серед переваг безпілотників слід відзначити їхню здатність зменшувати використання хімічних добрив та пестицидів завдяки точному внесенню. Це не лише знижує витрати, але й допомагає зберігати родючість ґрунтів та

захищати навколишнє середовище, сприяючи сталому розвитку аграрних технологій [3].

Впровадження GPS-позиціонування та БПЛА в аграрному секторі стало ключовим етапом у розвитку точного землеробства, забезпечуючи ефективніше використання ресурсів і підвищення екологічності сільського господарства.

Передумовами до впровадження безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в Японії стали специфічні географічні та економічні умови країни, зокрема гірський рельєф та невеликий середній розмір фермерських господарств. Уряд Японії, зацікавлений у розвитку новітніх технологій, ще в 1980-х роках адаптував законодавство про цивільну авіацію, що сприяло створенню сприятливих умов для розробки та впровадження безпілотних систем [19].

Основою для проектування першого японського безпілотника стала модель гелікоптера з хвостовим пропелером. У цей час японські науковці активно досліджували технології дистанційного зондування, точної навігації та управління безпілотними апаратами. У період з 1983 до 1990-х років тривала розробка першої моделі безпілотного гелікоптера R-50 [20].

Розробка R-50 стала важливою віхою в історії розвитку безпілотних технологій. Вона не лише вирішила проблему обробки важкодоступних територій, але й заклала основу для створення сучасних БПЛА, які сьогодні відіграють ключову роль у точному землеробстві. Успішний досвід Японії також послужив стимулом для впровадження подібних рішень у сільське господарство інших країн [24].

У 1990 році компанія Yamaha представила свій перший безпілотний гелікоптер — R50 UAS, а вже в 1997 році була випущена вдосконалена модель R-MAX. До 2000 року ця модель отримала оновлення у вигляді системи датчиків азимуту та інтеграції з диференціальною GPS (DGPS), що значно підвищило точність навігації та управління [26].

На сьогодні Yamaha залишається лідером у виробництві безпілотних гвинтокрилів для сільського господарства. Модель R-MAX використовується

для виконання до 90% усіх операцій із повітряного внесення засобів захисту рослин (ЗЗР) у Японії. Цей гвинтокрил забезпечує точність, ефективність та екологічність при обробці полів, що робить його незамінним інструментом у точному землеробстві [29].

Окрім внесення ЗЗР, безпілотники Yamaha демонструють високу ефективність при моніторингу полів, оцінці стану врожаю та виконанні інших сільськогосподарських завдань. Завдяки постійному вдосконаленню технологій Yamaha продовжує задавати стандарти у сфері безпілотної техніки для агропромислового комплексу [32]. Українська компанія ІТЕС розпочала свою діяльність із виробництва безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для розвідки. З часом компанія розширила свій асортимент і тепер випускає як військові дрони, такі як Patriot, так і моделі для цивільного використання. Зокрема, модель SKIF була розроблена спеціально для потреб сільського господарства, демонструючи потенціал БПЛА у точному землеробстві [38].

Сьогодні світовим лідером у виробництві агродронів є Китай. Китайські компанії пропонують широкий асортимент пристроїв — від компактних дронів для моніторингу стану посівів до великих апаратів, призначених для внесення добрив, пестицидів та інших технологічних матеріалів. Зокрема, такі компанії, як DJI та XAG, є провідними виробниками агродронів, які оснащені ємностями для точного обприскування полів [39].

Провідні технологічні рішення від цих компаній сприяють автоматизації аграрних процесів, підвищенню ефективності використання ресурсів та зниженню впливу на довкілля. Завдяки високій точності та надійності ці дрони стали незамінними інструментами в сучасному сільському господарстві, зокрема в умовах точного землеробства.

Ринок агродронів в Україні перебуває на початковому етапі розвитку, але демонструє значний потенціал. Агродрон уже займає важливе місце в системі точного землеробства, відіграючи ключову роль у вдосконаленні агротехнічних процесів.

Цей інструмент дозволяє виконувати широкий спектр завдань, зокрема аналіз стану посівів, створення карт завдань, діагностику захворювань рослин, виявлення бур'янів у міжряддях, прогнозування врожайності та оцінку продуктивності полів. Завдяки своїм можливостям, агродрон забезпечує точність і оперативність у прийнятті рішень, що є важливим для підвищення ефективності сільського господарства [42].

Особливу роль агродрони відіграють у процесах обприскування. Вони використовуються для внесення засобів захисту рослин, таких як гербіциди, інсектициди, фунгіциди, а також для десикації. Завдяки точному дозуванню і рівномірному розподілу хімічних препаратів, агродрони знижують витрати ресурсів, мінімізують вплив на довкілля та підвищують продуктивність обробки полів. Таким чином, агродрони стали незамінним інструментом у точному землеробстві, забезпечуючи ефективність, екологічність і інноваційний підхід до управління аграрними процесами. З розвитком технологій їх застосування буде лише розширюватися, сприяючи подальшій модернізації агросектору України.

Використання безпілотних літальних апаратів (БЛА) у сільському господарстві демонструє стрімкий прогрес щодо сучасного розвитку сільського господарства [41]. Ця тенденція підтверджується низкою досліджень, які надають конкретні цифри та факти. За різними оцінками, ринок агродронів щорічно зростає на 20-30%, що свідчить про високий інтерес сільськогосподарських підприємств до даної інновації. Щороку все більше гектарів сільськогосподарських угідь обробляється за допомогою БЛА. Хоча точні дані можуть відрізнятися залежно від регіону, спостерігається стійка тенденція до збільшення цих площ. Все більше компаній займаються розробкою та виробництвом агродронів, що свідчить про високий попит на цю продукцію. Це, у свою чергу, призводить до зниження вартості БЛА та розширення їх функціональних можливостей. Великі сільськогосподарські компанії та венчурні фонди активно інвестують

у розробку та впровадження технологій, пов'язаних з використанням БЛА в сільському господарстві. Це сприяє подальшому розвитку галузі.

На сьогоднішній день фермери все більше обирають агродрони, оскільки вони дозволяють оптимізувати використання агресурсів, зменшити витрати на робочу силу та підвищити врожайність. БЛА забезпечують високу точність виконання сільськогосподарських робіт, таких як обприскування та внесення добрив. За допомогою БЛА можна обробити великі площі за короткий час. БЛА дозволяють збирати великі обсяги даних про стан полів, що допомагає приймати обґрунтовані рішення. До найбільших країн-лідерів належать: США - один з найбільших ринків агродронів у світі. Китай - активно розвиває виробництво та застосування БЛА в сільському господарстві. Ізраїль - відомий своїми інноваційними рішеннями в галузі сільського господарства, активно використовує БЛА. Європейські країни: Німеччина, Франція, Великобританія та інші країни Європи також демонструють високий рівень інтересу до застосування БЛА в сільському господарстві [38]. Використання БЛА в сільському господарстві є не просто тенденцією, а реальністю, яка змінює ведення сільського господарства. Швидкий розвиток технологій, зростання інвестицій та успішні кейси застосування свідчать про те, що ця технологія має велике майбутнє.

В умовах сучасного розвитку сільського господарства все більшу актуальність набувають інноваційні підходи, які дозволяють ефективніше використовувати ресурси та підвищувати врожайність. Точне землеробство (Precision Agriculture, PA) - це методологія, що застосовує геопросторові технології та різноманітні сенсорні системи, такі як географічні інформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування та GPS, для виявлення змін у стані поля та їх оптимізації шляхом впровадження альтернативних стратегій управління [33]. Зокрема, високоякісні супутникові знімки все частіше використовуються для аналізу неоднорідностей умов рослин і ґрунтів. Проте доступність і вартість

таких супутникових даних можуть бути непомірними для широкого застосування у точному землеробстві, що стимулює пошук альтернатив.

Покращення сенсорних технологій надає можливість моніторити стан ґрунту та посівів у режимі реального часу, що дозволяє швидко вносити корективи до застосування добрив. Системи, оснащені датчиками, здатні виявляти нестачу поживних речовин і відповідно регулювати кількість внесених добрив, підвищуючи їхню ефективність та знижуючи рівень відходів [1].

З огляду на зростаючу потребу у безпечних практиках, сучасні фермерські господарства все більше акцентують увагу на інтегрованих сільськогосподарських системах щодо зміни підходів до аграрного виробництва завдяки вдосконаленому управлінню врожайністю та покращенню якості продукції. Ця методологія включає використання дронів і технологій на основі GPS. Завдяки ефективному та екологічно безпечному застосуванню води, добрив і пестицидів, точне землеробство має значний потенціал для підвищення продовольчої безпеки [16]. Зміна сільського господарства на більш сучасний сектор значною мірою підтримується розвитком інтернет мережі, а також інших пристроїв, які автоматично контролюють і відстежують численні аграрні процеси в режимі реального часу [27], сприяють ефективнішому використанню енергії та води. Завдяки таким системам можна здійснювати точне управління іригацією та внесенням добрив, що сприяє економії ресурсів і підвищенню врожайності.

Інтегровані сільськогосподарські системи використання дронів, забезпечують комплексний підхід щодо сталого сільського господарства, шляхом поєднання різних видів діяльності, таких як вирощування сільськогосподарських культур, ведення тваринництва, аквакультури та агролісівництва. Ефективне впровадження агродронів залежить від державної політики, включно з пільгами та технічною підтримкою, а також від освітньої діяльності та підтримки фермерів [40].

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

2.1. Місце та умови проведення досліджень

Дослідження були проведені в рамках реалізації пілотного міжнародного проєкту на навчально-дослідному полі Поліського національного університету, що розташоване поблизу с. Велика Горбаша Черняхівської селищної територіальної громади Житомирського району Житомирської області (географічні координати: 28°41'33" східної довготи, 50°26'24" північної широти).

Для закладки експерименту була підібрана ділянка, яка не піддавалася механічній обробці понад 3 роки. Поверхня ділянки була вкрита змішаною дикорослою рослинністю із добре сформованою дерниною, що відповідає категорії переліг за класифікацією сільськогосподарських угідь.

Ґрунти дослідної ділянки представлені ясно-сірими лісовими ґрунтами, які характеризуються низьким вмістом гумусу (1,1–1,2 %), низьким рівнем основних елементів живлення та підвищеною кислотністю (рН 5,7). Бал бонітету ґрунтів становить 28, що вказує на обмежену родючість ділянки.

Більш детальний опис ґрунтового профілю дослідної ділянки на території навчально-дослідного поля Поліського національного університету поблизу с. Велика Горбаша Черняхівської ОТГ Житомирського району наведено на рис. 1.

Модельний дослід передбачав використання ділянки, що вкрита бур'яною рослинністю, яка попередньо не піддавалася механічній обробці протягом тривалого періоду. Основною метою досліджень було визначення ефективності використання агродрону для висіву ріпаку озимого та олійної редьки з різними нормами висіву та подальшого аналізу динаміки розвитку посівів. Додатково в рамках експерименту досліджувалась можливість адаптації культури до умов значного природного забур'янення та її конкурентоспроможність у таких агроекологічних умовах.



He _{орн.} <u>0–22</u> 22	Гумусно-елювіальний горизонт, світло-сірий, супіщаний, пороховато-грудочкуватий, слабоущільнений, вологий, новоутворення відсутні, наявні корені рослин, перехід за глибиною обробіткхвилястий.
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, оглеєний, 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. Ґрунтово-агрохімічна характеристика дослідної ділянки Поліського національного університету

Під час досліджень було розроблено та випробувано два технологічні напрямки: безгербіцидну та гербіцидну технології висіву. За безгербіцидної технології висів здійснювався безпосередньо у природний травостій, вкритий бур'яновою рослинністю та дерниною. Натомість за гербіцидної технології перед посівом проводилася обробка ділянки гербіцидом Раундап із нормою внесення 2 л/га (діюча речовина – гліфосат).

Таке порівняння технологічних підходів дозволило оцінити потенціал використання дронів для посіву культури в умовах різного рівня забур'яненості та обґрунтувати їх ефективність залежно від умов обробітку.

Дослідна територія складається з двох окремих полів з чітко визначеними параметрами та схемами закладки експерименту. Перше поле має розміри 36×54,3 м і включає 24 ділянки, які розміщені у триразовій

повторності відповідно до затвердженої схеми досліджень. Друге поле використовується для мікроділяного експерименту з вирощування тютюну і має розміри 16,8×7,3 м. Воно також поділене на 24 ділянки з аналогічною триразовою повторністю (рис. 2).

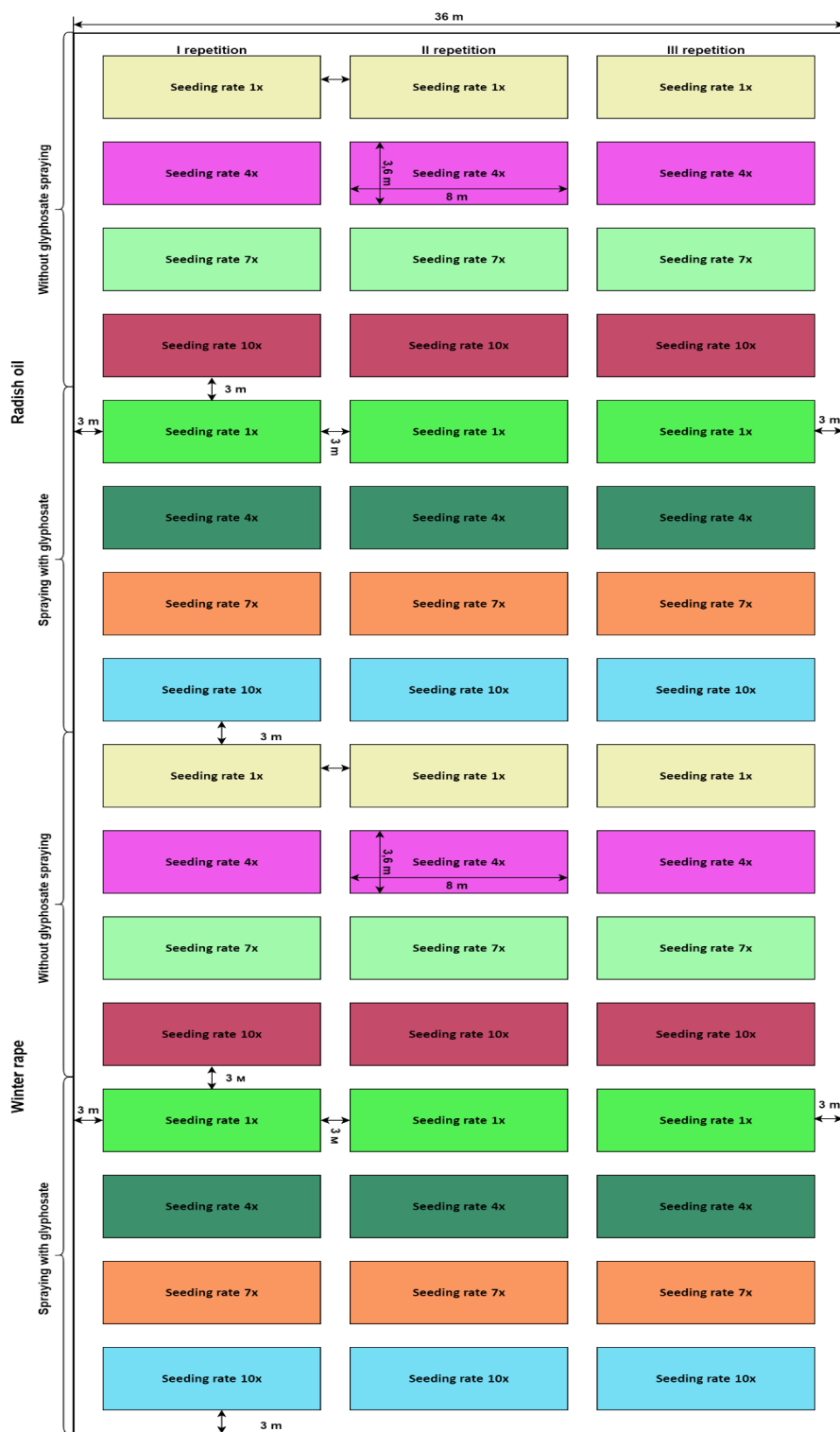


Рис. 2. Загальний вигляд скоригованої схеми модельного дослід

Для кожної експериментальної повторності виділено окремий ярус без рендомізації, що пояснюється специфікою механізованого посіву сільськогосподарських культур. Такий підхід забезпечує точне дотримання схеми повторень та дозволяє уніфікувати умови проведення досліджень для всіх варіантів.

Особливості розташування ділянок сприяють мінімізації впливу зовнішніх чинників (нерівномірності ґрунтів, рельєфу, мікроклімату тощо) на результати експерименту. Це, своєю чергою, є критично важливим для забезпечення об'єктивності та достовірності отриманих даних.

Додатково для контролю однорідності умов дослідження проводився попередній агрохімічний аналіз ґрунту, що включав визначення вмісту гумусу, основних елементів живлення (N, P, K) та рівня кислотності (pH). Результати аналізу підтвердили рівномірний розподіл ґрунтових показників по всій площі обох полів, що дозволило уникнути потенційного впливу нерівномірності ґрунтового середовища на розвиток культур і кінцеві результати досліджень.

2.2. Об'єкти і методика проведення досліджень

Об'єктами досліджень у модельному експерименті є редька олійна та ріпак озимий, висів яких здійснювався за допомогою агродрону на навчально-дослідному полі Поліського національного університету. Під час досліджень випробовувалися два технологічні підходи до висіву редьки олійної та ріпаку озимого. У межах безгербіцидної технології посів насіння здійснювався безпосередньо у наявну бур'янову рослинність та дернину, без попереднього застосування хімічних препаратів. Це дозволяло оцінити здатність культур адаптуватися до умов значного забур'янення та їх конкурентоспроможність на ранніх етапах росту. За гербіцидної технології перед висівом проводилася обробка ділянки гербіцидом Раундап у нормі 2 л/га, діючою речовиною якого є гліфосат. Метою цього підходу було

усунення бур'янової рослинності для створення більш сприятливих умов для проростання насіння та подальшого розвитку культур.

Для посіву редьки олійної використовувалися чотири варіанти норм висіву: 80 шт/м², 320 шт/м², 560 шт/м² та 800 шт/м². Застосування різних норм висіву дозволило оцінити їх вплив на рівномірність сходів, динаміку росту культури та ефективність її розвитку в умовах обраних технологій. У випадку ріпаку озимого застосовувалися аналогічні методи, що забезпечувало можливість порівняти особливості адаптації обох культур за різних технологічних підходів.

Для покращення візуалізації розподілу насіння після висіву агродроном проводилось попереднє фарбування насіння досліджуваних сільськогосподарських культур. Ця методика сприяла більш ефективному оцінюванню рівномірності висіву на поверхні ґрунту, а також дозволяла виявити можливі зони концентрації або недостатнього розподілу насіння. Такі дані є важливими для об'єктивної оцінки точності роботи агродрону та вдосконалення технології механізованого посіву.



Рис. 3. Фарбування насіння для покращення візуального контролю його розподілу на поверхні ділянки та виконання посіву відповідно до схеми дослідження.

Протягом досліджень здійснювався облік густоти сходів, рівномірності розподілу насіння та біометричних показників рослин (висота, площа листової поверхні). Окремо визначалися конкурентні властивості культур по відношенню до бур'янової рослинності та ефективність обраних

технологічних підходів для кожної з культур. Застосування агродрону в умовах дослідження дозволило оцінити його потенціал у точному посіві на перелігових ділянках та сформувані об'єктивні дані для подальшого вдосконалення технологій механізованого висіву.

Для оцінки стану бур'янової рослинності на експериментальних ділянках було застосовано методику визначення проективного покриття поверхні ґрунту. Проективне покриття оцінювалося окомірним методом, який передбачає візуальне визначення площі, зайнятої бур'янами, у балах та у відсотковому співвідношенні (рис. 4). Цей метод дозволяє швидко й ефективно отримати якісну характеристику рослинного покриву, враховуючи густоту, розміри та рівномірність розподілу бур'янової рослинності на поверхні ґрунту.

Зібрані показники проективного покриття були зафіксовані у відповідних таблицях для подальшого аналізу та порівняння. Вони слугували основою для оцінки ефективності різних технологічних підходів та норм висіву культурних рослин. Використання даного підходу дозволило виявити взаємозв'язок між рівнем забур'яненості, способом обробітку ґрунту та динамікою росту і розвитку культурних рослин. Отримані результати забезпечили об'єктивну оцінку впливу технологічних факторів на конкурентоспроможність культур за різних умов забур'янення.

Кількісний аналіз засміченості посівів редьки олійної та ріпаку озимого, проводився із застосуванням шкали Арешнікова та інших загальноприйнятих методик оцінки рівня забур'яненості посівів. Результати дослідження продемонстрували, що на всіх дослідних ділянках спостерігався дуже високий ступінь забур'яненості, що відповідає максимальному рівню за шкалою (5 балів із 5). Кількість бур'янів перевищувала 100 шт./м², що свідчить про інтенсивну конкуренцію між культурними рослинами та бур'яною рослинністю (табл. 1).

Такий рівень забур'яненості пояснюється тривалим періодом відсутності механічного обробітку ґрунту, що призвело до значного накопичення

насіннєвого банку бур'янів у ґрунті. Домінуючими видами на дослідних ділянках були представники злакових та дводольних бур'янів, які характеризуються швидким темпом росту та високою конкурентною здатністю. Зокрема, найчастіше спостерігалися види, стійкі до природних умов перелігу та здатні активно розмножуватися в умовах мінімального агротехнічного впливу.

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

Рис. 4. 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.

Отримані результати підкреслюють важливість технологічного підходу до боротьби з бур'янами. В умовах безгербіцидної технології культурні рослини (редька олійна) опинилися під значним тиском бур'янової рослинності, що обмежує їх ріст і розвиток. Натомість застосування гербіцидної технології дозволяє суттєво знизити рівень забур'яненості на початкових етапах вегетації, створивши більш сприятливі умови для культурних рослин. Таким чином, кількісний аналіз засміченості посівів є ключовим етапом у дослідженні ефективності технологічних підходів та норм висіву культурних рослин. Він дозволяє об'єктивно оцінити рівень забур'яненості та його вплив на конкурентоспроможність культур у різних умовах вирощування.

Модельний дослід передбачав імітацію висіву насіння редьки олійної та ріпаку озимого за допомогою агродрону, що забезпечило рівномірний

розподіл насіння по площі дослідних ділянок. Це дозволило провести комплексне вивчення особливостей проростання та динаміки росту обох культур в умовах різного рівня забур'яненості, а також оцінити ефективність технологій вирощування.

Таблиця 1

**Ступінь засміченості посівів сільськогосподарських культур
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

У дослідженні застосовувалася комплексна методика аналізу бур'янової активності, що включала визначення проективного покриття поверхні ґрунту та кількісний облік бур'янової рослинності за шкалою Арешнікова. Використання окомірного методу для візуальної оцінки у поєднанні з кількісним підходом забезпечило отримання детальної характеристики стану бур'янового покриву на дослідних ділянках. Зокрема, було встановлено рівень забур'яненості, її динаміку та вплив на проростання й розвиток редьки олійної та ріпаку озимого.

Результати досліджень дозволяють детально оцінити адаптацію культур до різних умов конкуренції з бур'яною рослинністю та визначити ефективність обраних технологічних підходів. Зокрема, дослідження показали, що застосування безгербіцидної технології створює значний тиск на культури через високу засміченість ґрунту, тоді як гербіцидна обробка дозволяє забезпечити оптимальні умови для раннього розвитку рослин.

РОЗДІЛ III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Оцінка якості насіннєвого матеріалу та обґрунтування норми висіву

Для забезпечення чистоти експерименту та мінімізації похибок при визначенні фактичної густоти рослин у польових умовах, 21.05.2024 було проведено лабораторний дослід, спрямований на оцінку насіннєвих кондицій насіння редьки олійної та ріпаку озимого. Дослідження виконувалися відповідно до затвердженої схеми дослід, що дозволило отримати об'єктивні дані щодо якості посівного матеріалу, зокрема енергії проростання та схожості насіння (табл. 2). Отримані результати стали основою для планування подальших польових досліджень, оскільки точні характеристики насіння є критичними для забезпечення достовірності та повторюваності експерименту.

Таблиця 2

Якісні показники насіння редьки олійної та ріпаку озимого за результатами лабораторного аналізу

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
Radish oil (редька олійна)	99	98	99	98,7	99	98	99	98,7

Результати лабораторних досліджень продемонстрували різний рівень енергії проростання та схожості насіння редьки олійної та ріпаку озимого. Обидві культури характеризуються високими показниками, однак спостерігаються відмінності, які вказують на специфічні особливості їх біологічного потенціалу. Для ріпаку озимого показники енергії проростання коливалися від 76% до 92%, а середнє значення становило 83,3%. Це свідчить про добру здатність насіння до швидкого проростання, проте різниця між варіантами (I–III) вказує на деяку неоднорідність партії насіння або вплив

чинників середовища під час дослідження. Наявність енергії проростання нижче 80% (І варіант) може свідчити про часткове фізіологічне старіння насіння або неоднакові умови зберігання. У редьки олійної показники енергії проростання є значно вищими та стабільними, з мінімальними відхиленнями: 99–98%, а середній показник склав 98,7%. Такий результат вказує на високу біологічну активність насіння, його життєздатність та однорідність за якістю. Це є важливою перевагою при застосуванні редьки олійної в агротехнологічних дослідженнях та у польових умовах.

Показники схожості ріпаку озимого є високими та стабільними у всіх трьох варіантах досліду: від 92% до 96%, середнє значення — 94,7%. Це свідчить про гарну якість насіння та його здатність до повноцінного формування сходів, що є критичним показником для озимих культур у контексті польової продуктивності. Для редьки олійної схожість є аналогічно високою, як і енергія проростання, та становить 98–99%, із середнім показником 98,7%. Така однорідність свідчить про високий рівень кондицій насіння, що забезпечує швидкі та дружні сходи за умов польового висіву. Ця культура є перспективною для використання як сидеральної рослини, оскільки висока схожість у поєднанні зі швидким проростанням дозволяє культурі ефективно конкурувати з бур'яною рослинністю.

Високі показники схожості та енергії проростання насіння редьки олійної вказують на її генетичну пластичність та адаптивний потенціал, що є важливими характеристиками для культур, які вирощуються в умовах стресових факторів, таких як підвищена забур'яненість або мінімальна обробка ґрунту. У ріпаку озимого, незважаючи на високі показники схожості, помірна варіабельність енергії проростання свідчить про потребу у ретельнішій підготовці ґрунту та забезпеченні оптимальних умов для проростання у польових умовах.

Таким чином, результати досліджень підтверджують високу якість насіння обох культур, з особливою перевагою редьки олійної щодо стабільності енергії проростання та схожості. Це є важливим фактором при

виборі культури для технологій вирощування на забур'янених ділянках або за мінімальної механічної обробки ґрунту.

Лабораторна перевірка якості закупленого насіннєвого матеріалу показала його високі насіннєві кондиції, що підтверджується високою енергією проростання та відмінною лабораторною схожістю. Ці результати свідчать про високу життєздатність насіння і його готовність до польових умов. Завдяки цьому відсутня необхідність у коригуванні фактичної норми висіву, що відповідає вимогам щодо закладки польового досліду, узгодженим із партнерами проєкту. Отримані дані дозволяють впевнено стверджувати, що якісні характеристики насіння забезпечать дружні та рівномірні сходи у польових умовах, що є ключовим фактором для досягнення точності та достовірності результатів експерименту.

3.2. Організація модельного експерименту з різними нормами висіву сільськогосподарських культур

У модельному досліді використовувалася ділянка, вкрита природною бур'яною рослинністю, яка не піддавалася попередній механічній обробці. Основною метою дослідження було оцінити можливість застосування агродронів для висіву насіння редьки олійної та ріпаку озимого за різних норм висіву, а також вивчити динаміку росту і розвитку культур. Особлива увага приділялася адаптації рослин до умов високої природної забур'яненості та їх конкурентоспроможності на ранніх етапах вегетації. Експеримент проводився із застосуванням двох технологічних підходів: 1. Безгербіцидна технологія – висів насіння здійснювався безпосередньо у природну бур'янову рослинність і дернину без попередньої обробки. 2. Гербіцидна технологія – перед посівом проводилася обробка ділянки гербіцидом Раундап у нормі 2 л/га (діюча речовина – гліфосат), що дозволяло мінімізувати вплив бур'янів на розвиток культурних рослин.

Для обраних сільськогосподарських культур були встановлені чотири варіанти норм висіву: 80, 320, 560 та 800 шт/м². Посів було виконано 6

червня 2024 року з триразовою повторністю, що забезпечило статистичну достовірність результатів. Відбір даних та моніторинг стану посівів здійснювали кожні 20 днів, що дозволило провести всебічну оцінку впливу норм висіву та технологічних підходів на ріст і розвиток рослин у реальних польових умовах.

Аналіз динаміки розвитку рослин редьки олійної за різних норм висіву та технологічних підходів продемонстрував істотний вплив обробки ґрунту гербіцидами на густоту рослин та їх виживаність протягом періоду спостережень (таблиця 3). Дані показали, що гербіцидна технологія забезпечує значно вищі показники виживаності та густоти порівняно з безгербіцидним варіантом, що свідчить про ефективне усунення конкуренції бур'янової рослинності на ранніх етапах розвитку культури.

Таблиця 3

Динаміка густоти та виживаності рослин редьки олійної за різних норм висіву і технологій обробітку ґрунту протягом певного періоду спостережень (середнє, 3 кратна повторність)

Культура	Технологія	Норма висіву насіння (кратність, шт/м ²)	06.06.2024		26.06.2024		12.07.2024	
			густина рослин, шт/м ²	% виживаємості	густина рослин, шт/м ²	% виживаємості	густина рослин, шт/м ²	% виживаємості
Редька олійна	Без застосування гербіциду	1х (80)	68	85,0	21	26,3	0	0,0
		4х (320)	284	88,8	83	25,9	0	0,0
		7х (560)	477	85,2	94	16,8	46	8,2
		10х (800)	702	87,8	223	27,9	108	13,5
	Обробка гліфосатом	1х (80)	75	93,8	63	78,8	38	47,5
		4х (320)	296	92,5	187	58,4	121	37,8
		7х (560)	498	88,9	192	34,3	150	26,8
		10х (800)	743	92,9	295	36,9	233	29,1

У варіантах без застосування гербіциду при мінімальній нормі висіву (80 шт/м²) густина рослин на початку дослідів становила 68 шт/м², що відповідає 85,0% виживаності. Проте вже до 26 червня 2024 року цей показник різко

знизився до 21 шт/м² (26,3%), а до 12 липня рослини повністю зникли. Така ж тенденція спостерігалася і при нормі висіву 320 шт/м², де виживаність знижувалася поступово, але на кінець спостережень рослини також не витримали конкуренції з бур'яноюю рослинністю. При збільшенні норми висіву до 560 і 800 шт/м² результати виявилися кращими: на останній етап спостереження густота рослин становила 46 та 108 шт/м² відповідно, що свідчить про переваги щільного висіву у боротьбі з бур'янами навіть без застосування хімічних обробок.

У випадку гербіцидної технології ситуація була значно стабільнішою. При мінімальній нормі висіву 80 шт/м² густота рослин знизилася поступово: від 75 шт/м² на початку дослідів до 38 шт/м² (47,5%) на кінець періоду спостережень. Збільшення норми висіву до 320, 560 та 800 шт/м² дозволило зберегти високі показники густоти рослин. Наприклад, за максимальної норми висіву (800 шт/м²) густота рослин на 12 липня становила 233 шт/м² (29,1%), що є майже у 2,5 рази вищим, ніж у варіанті без гербіцидної обробки.

Отримані результати свідчать, що гербіцидна обробка суттєво покращує умови для розвитку культурних рослин завдяки усуненню конкуренції з боку бур'янів, які інтенсивно розвиваються в умовах безгербіцидної технології. Зокрема, при низьких нормах висіву (80–320 шт/м²) без застосування гербіцидів культура не витримує тиску бур'янової рослинності і швидко втрачає свою конкурентоспроможність. Натомість збільшення норм висіву до 560–800 шт/м² створює більш щільний покрив, що частково обмежує ріст бур'янів та сприяє кращій виживаності рослин навіть у безгербіцидних умовах.

Таким чином, найкращі результати спостерігалися при поєднанні гербіцидної обробки ґрунту з вищими нормами висіву (560–800 шт/м²), що забезпечувало оптимальні умови для розвитку рослин протягом усього періоду спостережень. Ці дані підкреслюють важливість використання

комбінованого підходу при вирощуванні редьки олійної як сидеральної культури в умовах значної природної забур'яненості ґрунту.

Аналіз даних таблиці 4 показав значні відмінності у динаміці розвитку рослин ріпаку озимого залежно від технологічного підходу до обробітку ґрунту (гербіцидна і безгербіцидна технології) та норм висіву насіння. Загальні тенденції свідчать, що обробка ґрунту гербіцидом дозволила підтримувати вищу густоту рослин та їх виживаність протягом періоду спостережень порівняно з безгербіцидним варіантом.

Таблиця 4

Динаміка густоти та виживаності рослин ріпаку озимого за різних норм висіву і технологій обробітку ґрунту протягом певного періоду спостережень (середнє, 3 кратна повторність)

Культура	Технологія	Норма висіву насіння (кратність, шт/м ²)	06.06.2024		26.06.2024		12.07.2024	
			густина рослин, шт/м ²	% виживаємості	густина рослин, шт/м ²	% виживаємості	густина рослин, шт/м ²	% виживаємості
Ріпак озимий	Без застосування гербіциду	1х (80)	74	92,5	15	18,8	0	0,0
		4х (320)	290	90,6	87	27,2	0	0,0
		7х (560)	502	89,6	101	18,0	0	0,0
		10х (800)	768	96,0	214	26,8	0	0,0
	Обробка гліфосатом	1х (80)	76	95,0	73	91,3	69	86,3
		4х (320)	315	98,4	301	94,1	292	91,3
		7х (560)	487	87,0	102	18,2	13	2,3
		10х (800)	725	90,6	458	57,3	246	30,8

За безгербіцидної технології на початковому етапі дослідження (06.06.2024) було зафіксовано відносно високу густоту рослин ріпаку озимого для всіх норм висіву. При нормі 80 шт/м² густина склала 74 шт/м² (92,5% виживаності), а при максимальній нормі 800 шт/м² цей показник досягнув 768 шт/м² (96,0%). Однак уже на другий етап спостережень (26.06.2024) відзначено різке зниження густоти рослин. При мінімальній нормі (80 шт/м²) густина зменшилася до 15 шт/м² (18,8% виживаності), а для максимального

висіву 800 шт/м² цей показник впав до 214 шт/м² (26,8%). До кінця періоду спостережень (12.07.2024) всі рослини в умовах безгербіцидної технології загинули, що свідчить про критичний вплив конкуренції з бур'яною рослинністю на розвиток ріпаку озимого, особливо у перші фази вегетації.

Натомість гербіцидна технологія забезпечила стабільні показники густоти та виживаності рослин протягом усього періоду досліджень. При мінімальній нормі висіву (80 шт/м²) густота рослин на початку досліджу становила 76 шт/м² (95,0%), а на другий етап (26.06.2024) знизилася незначно – до 73 шт/м² (91,3%), що демонструє високу стійкість рослин у відсутності бур'янової конкуренції. До кінця періоду спостережень (12.07.2024) густота склала 69 шт/м² (86,3%), що підтверджує позитивний вплив гербіцидної обробки на виживаність рослин.

При збільшенні норми висіву до 320 шт/м² у гербіцидній технології результати були ще більш стабільними. Густота рослин на початку становила 315 шт/м² (98,4% виживаності), а до кінця періоду збереглося 292 шт/м² (91,3%). Це свідчить про оптимальну норму висіву, яка забезпечує високу конкурентоспроможність культури навіть у пізніші фази росту. Натомість, за норми 560 та 800 шт/м² у гербіцидній обробці спостерігалася дещо нижча стійкість рослин на останньому етапі. Густота рослин за нормою 800 шт/м² знизилася з 725 до 246 шт/м² (30,8%), що може пояснюватися внутрішньовидовою конкуренцією через надмірну густоту сходів та вичерпування доступних ресурсів на одиницю площі.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що гербіцидна обробка є критично важливою для забезпечення успішного росту і розвитку ріпаку озимого на початкових етапах вегетації. Умови безгербіцидної технології не дозволяють культурі витримати конкуренцію з бур'янами, особливо за низьких норм висіву. Оптимальними виявилися середні норми висіву (320 шт/м²) у поєднанні з гербіцидною обробкою, оскільки вони забезпечили високу густоту рослин та стабільну виживаність.

Результати досліджень, отримані на основі аналізу динаміки розвитку редьки олійної та ріпаку озимого за різних норм висіву та технологічних підходів (гербіцидна і безгербіцидна технології), свідчать про суттєвий вплив способу обробітку ґрунту на густоту рослин і їх виживаність протягом усього періоду спостережень.

Гербіцидна технологія забезпечила значно кращі результати для обох культур, порівняно з безгербіцидним варіантом. В умовах гербіцидної обробки гліфосатом рослини мали стабільно вищі показники густоти та виживаності, що пояснюється усуненням конкуренції з боку бур'янової рослинності на ранніх етапах вегетації. У випадку редьки олійної, максимальна норма висіву (800 шт/м²) забезпечила густоту 233 шт/м² (29,1% виживаності) до кінця дослідів, що є найкращим результатом серед усіх варіантів. Для ріпаку озимого найбільш стабільними виявилися середні норми висіву (320 шт/м²), де густота рослин на завершальному етапі дослідів збереглася на рівні 292 шт/м² (91,3% виживаності).

Натомість безгербіцидна технологія показала значно гірші результати. За низьких норм висіву (80–320 шт/м²) обидві культури не витримували конкуренції з бур'яною рослинністю, що призводило до повної втрати рослин до кінця періоду спостережень. Лише за вищих норм висіву (560–800 шт/м²) у редьки олійної вдалося зберегти незначну густоту рослин, однак показники виживаності залишалися низькими (8,2–13,5%).

Таким чином, гербіцидна обробка є ключовим фактором для успішного розвитку як редьки олійної, так і ріпаку озимого у польових умовах із високим рівнем природної забур'яненості. При цьому оптимальними виявилися середні та високі норми висіву, які забезпечували стабільний розвиток рослин і мінімізували негативний вплив бур'янів. В умовах безгербіцидної технології використання вищих норм висіву може частково компенсувати вплив конкуренції, однак не є повноцінним вирішенням проблеми. Результати досліджень підкреслюють необхідність комбінованого підходу для підвищення ефективності вирощування обох культур, що

включає використання гербіцидів та оптимізацію норм висіву залежно від конкретних умов ґрунтового середовища та рівня забур'яненості.

3.3. Вплив забур'яненості редьки олійної та ріпаку озимого на ріст і розвиток за умов різних технологій вирощування та норм висіву

На завершальній фазі наших досліджень був проведений комплексний аналіз загального стану дослідних ділянок, що охоплював як культурні рослини, так і бур'янову рослинність. Для цього були виконані додаткові дослідження, які включали: облік найпоширеніших видів бур'янової рослинності на експериментальних ділянках та порівняння впливу технологій (гербіцидна та безгербіцидна), норм висіву та видів культур на динаміку ростових процесів рослин у період від масових сходів до цвітіння олійної редьки (табл. 5).

Отримані результати засвідчили, що на фінальному етапі досліджень відбувається витіснення культур бур'яною рослинністю, значне відставання у рості, подовження міжфазних періодів розвитку, зменшення чисельності рослин, а в окремих випадках – їх повна загибель. Було виділено три ключові періоди спостережень. Перший період відповідає початку масових сходів, коли культурні рослини мають найкращу виживаність. Другий період характеризується інтенсивним ростом та розвитком культур, що забезпечує ефективну конкуренцію з бур'яною рослинністю та оптимальну конкурентоспроможність. У третій період спостерігається уповільнення ростових процесів культур, зниження їх конкурентоспроможності та витіснення бур'янами, що зрештою призводить до масового випадання рослин.

Визначено, що найбільш оптимальним періодом для збору інформації про стан культурних рослин є проміжок 18–20 днів після появи сходів. У цей час рослини добре ідентифікуються серед бур'янів, мають розвинений стеблостій і ще не зазнають значних втрат. Проте на 35–37 день після сходів спостерігається різке зменшення чисельності рослин, що пов'язано з

інтенсивним розвитком бур'янової рослинності, яка створює критичну конкуренцію за світло, вологу та поживні речовини.

Варто відзначити високий рівень біорізноманіття бур'янистої рослинності на дослідних ділянках, де було зафіксовано 21 вид бур'янів, з яких 17 видів є домінуючими, а 4 види зустрічаються поодинокі. Серед них найбільш агресивними виявилися хвощ польовий (*Equisetum arvense*), пирій повзучий (*Elymus repens*) та мишій сизий (*Setaria verticillata*). Ці види бур'янів активно розвивалися в ґрунтово-кліматичних умовах дослідження, демонструючи швидкі темпи росту та значне проективне покриття поверхні ділянок. Вони фіксувалися майже на всіх дослідних ділянках, що свідчить про їх високу конкурентну здатність та агресивність у боротьбі за ресурси.

Таблиця 5

Вплив технології обробітку ґрунту та норм висіву на співвідношення культурних рослин і бур'янової рослинності на дослідних ділянках (12.07.2024 р.)

Культура	Технологія	Норма висіву насіння (кратність, шт/м ²)	Найбільш поширені види бур'янової рослинності, шт/м ²				Частка культурних рослин, %	Співвідношення культурних рослин та бур'янів
			пирій повзучий (<i>Elymus repens</i>)	хвощ польовий (<i>Equisetum arvense</i>)	мишій сизий (<i>Setaria verticillata</i>)	інші види		
Редька олійна	Без застосування гербіциду	1х (80)	129	0	134	12	0,0	1:263
		4х (320)	87	0	198	16	0,0	1:285
		7х (560)	93	38	87	11	17,5	1:4,8
		10х (800)	85	58	103	13	30,5	1:2,3
	Обробка ґліфосатом	1х (80)	63	17	78	9	19,4	1:4,2
		4х (320)	89	29	53	7	41,4	1:1,5
		7х (560)	78	29	67	12	46,3	1:1,2
		10х (800)	32	13	48	14	71,6	1:0,4
Ріпак озимий	Без застосування гербіциду	1х (80)	37	96	51	22	0,0	1:183,9
		4х (320)	24	104	63	21	0,0	1:191,2
		7х (560)	52	71	78	37	0,0	1:200,9
		10х (800)	89	38	95	28	0,0	1:221,5
	Обробка ґліфосатом	1х (80)	87	13	63	14	29,8	1:2,4
		4х (320)	98	96	91	8	50,6	1:1
		7х (560)	39	213	43	2	4,2	1:22,7
		10х (800)	47	167	58	11	47,5	1:1,2

Аналіз результатів таблиці 5 демонструє залежність співвідношення культурних рослин і бур'янової рослинності від норми висіву та технології обробітку ґрунту (гербіцидна і безгербіцидна). Основні тенденції спостерігаються як у редьки олійної, так і у ріпаку озимого, проте рівень конкуренції з бур'янами та ефективність культур значно варіюють залежно від умов. Без застосування гербіциду густина бур'янової рослинності значно перевищувала чисельність культурних рослин, що призвело до критично низької частки культур. Для редьки олійної при мінімальній нормі висіву (80 шт/м²) співвідношення культурних рослин до бур'янів становило 1:263, а частка культурних рослин була відсутня. Подібна ситуація спостерігалася й при нормі 320 шт/м², де співвідношення досягло 1:285, що вказує на повне витіснення культури через інтенсивну конкуренцію з бур'янами. Збільшення норм висіву (560 та 800 шт/м²) дозволило покращити ситуацію: співвідношення рослин зменшилося до 1:4,8 та 1:2,3 відповідно, а частка культурних рослин підвищилася до 17,5% та 30,5%. Найпоширенішими бур'янами були пирій повзучий, хвощ польовий та мишій сизий, які активно розвивалися в умовах безгербіцидної технології.

Для ріпаку озимого ситуація була схожою, але навіть при максимальних нормах висіву (800 шт/м²) частка культурних рослин залишалася 0%, а співвідношення культурних рослин до бур'янів сягало 1:221,5, що підкреслює високу чутливість ріпаку до забур'яненості. Обробка гліфосатом суттєво змінила ситуацію на користь культурних рослин. Для редьки олійної частка культурних рослин при мінімальній нормі висіву (80 шт/м²) становила 19,4%, а співвідношення культур до бур'янів поліпшилося до 1:4,2. Зі збільшенням норми висіву до 800 шт/м² частка культур зросла до 71,6%, а співвідношення до бур'янів досягло 1:0,4, що свідчить про повну домінантність культури над бур'янами. Аналогічно для ріпаку озимого обробка гербіцидом дозволила зменшити тиск бур'янової рослинності. За середніх і високих норм висіву (320–800 шт/м²) частка культурних рослин становила 50,6% та 47,5%, а співвідношення з бур'янами досягло 1:1 та 1:1,2, що свідчить про ефективну

конкуренцію культури. Таким чином, для ефективного вирощування редьки олійної та ріпаку озимого в умовах високого рівня забур'яненості необхідним є поєднання гербіцидної обробки з оптимальними нормами висіву.

3.4. Економічна ефективність традиційної технології вирощування олійної редьки та ріпаку озимого як сидеральних культур у порівнянні з використанням агродронів в умовах Полісся

Проведений аналіз економічної ефективності традиційної технології вирощування олійної редьки та ріпаку озимого як сидеральних культур у порівнянні з використанням агродронів свідчить про значну перевагу інноваційного підходу в умовах Полісся. Традиційна технологія посіву передбачає використання важкої механізованої техніки, зокрема тракторів і сівалок, що супроводжується значними витратами на паливно-мастильні матеріали, технічне обслуговування та оплату праці. Окрім цього, багаторазові проходи техніки по полю спричиняють ущільнення ґрунту, що є особливо критичним для Полісся, де природна структура ґрунтів є досить чутливою до механічного впливу. Ущільнення негативно впливає на аерацію та водопроникність, що, своєю чергою, обмежує потенціал росту сидеральних культур і знижує загальну ефективність технології.

Застосування агродронів дозволяє суттєво зменшити витрати та підвищити ефективність робіт завдяки низці переваг. Використання електричних джерел живлення в агродронах дозволяє скоротити витрати на паливо, що є актуальним у контексті зростання цін на енергоносії. Крім того, управління агродроном потребує мінімальної кількості персоналу, що зменшує витрати на оплату праці. Завдяки високій оперативності та точності роботи агродрони забезпечують рівномірний розподіл насіння навіть на ділянках зі складним рельєфом, що є особливо важливим для умов Полісся. Відсутність ущільнення ґрунту сприяє збереженню його природної структури, покращенню водо- та повітропроникності, що позитивно впливає на розвиток сидеральних культур.

У ході дослідження було проведено порівняльний аналіз двох технологічних операцій, а саме внесення хімічного препарату (гербіциду Раундап) та посіву, результати яких наведені у таблиці 8. За результатами аналізу встановлено, що застосування агродрону для внесення гербіциду має значні переваги порівняно з традиційною технологією. Зокрема, вартість обробки агродроном становить близько 20 грн/га, при цьому витрати води є мінімальними — від 3 до 5 літрів на гектар. Час обробки одного гектара за допомогою агродрону складає лише 5–7 хвилин, що забезпечує високу оперативність проведення робіт.

Таблиця 6

Економічна ефективність технологічних процесів: традиційний підхід і застосування 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

У традиційній технології внесення гербіциду витрати є значно вищими: 371 грн/га, а обсяг використаної води становить від 200 до 250 літрів на гектар. Тривалість обробки одного гектара залежить від марки обприскувача та швидкості руху агрегату й варіюється у межах 25–45 хвилин.

Щодо посіву, використання агродрона також демонструє помітні економічні переваги. Вартість посіву агродроном складає 120 грн/га, тоді як при традиційному підході цей показник досягає 265 грн/га. Це підтверджує високу продуктивність, економічну доцільність і ефективність використання безпілотних літальних апаратів у сільськогосподарському виробництві.

Порівняльний аналіз показав, що витрати на вирощування олійної редьки та ріпаку озимого за допомогою агродронів є на 15–20% нижчими порівняно з традиційною технологією. Це зумовлено зменшенням витрат на паливе, амортизацію техніки та оплату робочої сили. Продуктивність робіт при застосуванні агродронів зростає на 25–30%, що дозволяє оптимізувати строки виконання польових робіт та підвищити загальну ефективність технологічного процесу. Важливим є і підвищення віддачі сидеральних культур у разі використання агродронів. Завдяки рівномірному висіву та мінімальному травмуванню ґрунту редька олійна та ріпак озимий мають кращі умови для проростання та розвитку. Це дозволяє ефективніше виконувати функцію сидератів – покращувати структуру ґрунту, збагачувати його органічною масою та пригнічувати бур'янову рослинність.

Таким чином, застосування агродронів для вирощування олійної редьки та ріпаку озимого як сидеральних культур у ґрунтово-кліматичних умовах Полісся є економічно вигідним та екологічно безпечним. Ця технологія забезпечує зменшення витрат, підвищення продуктивності робіт та покращення агротехнічних показників ґрунту, що робить її ефективною альтернативою традиційним методам вирощування.

ВИСНОВКИ

1. Застосування агродронів для посіву олійної редьки та ріпаку озимого, а також для внесення гербіциду, забезпечило суттєву економічну ефективність порівняно з традиційною технологією. Вартість внесення гербіциду агродроном склала 20 грн/га при мінімальних витратах води (3–5 л/га) і часу обробки (5–7 хв/га), тоді як традиційна технологія потребувала 371 грн/га, 200–250 л води та 25–45 хв/га.
2. Гербіцидна технологія забезпечила значно вищу густоту рослин та їх виживаність протягом періоду спостережень. Для олійної редьки максимальні показники були зафіксовані при нормі висіву 800 шт/м² (233 рослини/м² до кінця спостережень), а для ріпаку озимого — 320 шт/м² (292 рослини/м², 91,3% виживаності).
3. В умовах безгербіцидної технології культурні рослини не витримували конкуренції з бур'яноюю рослинністю, що призводило до їх повного випадання до кінця періоду спостережень при низьких нормах висіву (80–320 шт/м²). Гербіцидна обробка дозволяла зберегти конкурентоспроможність культур, особливо на ранніх фазах розвитку.
4. Найкращі результати для виживаності та густоти рослин олійної редьки були отримані при нормах висіву 560–800 шт/м² у поєднанні з гербіцидною технологією. Для ріпаку озимого оптимальною нормою виявилася 320–560 шт/м², що забезпечувало стабільний розвиток культури навіть при високому рівні природного забур'янення.
5. Найпоширенішими бур'янами на дослідних ділянках були пирій повзучий (*Elymus repens*), хвощ польовий (*Equisetum arvense*) та мишій сизий (*Setaria verticillata*). У безгербіцидних умовах вони проявляли високу агресивність і витісняли культурні рослини, особливо при низьких нормах висіву.
6. В умовах дослідження було зафіксовано 21 вид бур'янової рослинності, з яких 17 видів є домінуючими, а 4 зустрічаються поодинокі. Найбільш агресивні види поширювалися на всіх дослідних ділянках, що підкреслює необхідність ефективних заходів контролю забур'яненості.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Виробникам сільськогосподарської продукції слід розглянути впровадження агродронів як ефективної альтернативи традиційній техніці для виконання технологічних операцій. Застосування дронів для висіву насіння та внесення гербіцидів дозволяє значно підвищити продуктивність робіт, зменшити витрати ресурсів та мінімізувати техногенний вплив на ґрунт. Відсутність ущільнення ґрунту сприяє підтриманню його природної структури, що особливо важливо для регіонів із чутливими ґрунтово-кліматичними умовами, такими як Полісся.

Для підвищення конкурентоспроможності культурних рослин у виробництві слід застосовувати гербіцидну технологію обробки ділянок перед посівом. Усунення бур'янової рослинності на початкових етапах розвитку культур дозволяє забезпечити оптимальні умови для їх росту та мінімізувати втрати врожаю. При цьому доцільно проводити обробку агродронами, що дозволяє суттєво зменшити витрати на матеріальні ресурси та час виконання робіт.

Оптимізація норм висіву є критично важливим фактором для забезпечення стійкого розвитку сидеральних культур. Виробникам рекомендується орієнтуватися на підвищені норми висіву при роботі у безгербіцидних умовах для створення щільного покриття, який пригнічуватиме розвиток бур'янової рослинності. У поєднанні з гербіцидною обробкою, середні та високі норми висіву забезпечують найкращі результати щодо густоти і стабільності розвитку культур.

Особливу увагу слід приділити моніторингу бур'янової рослинності на полях, оскільки домінування агресивних видів, таких як пирій повзучий, хвощ польовий та мишій сизий, потребує своєчасного та ефективного контролю. Використання агродронів для точкового внесення гербіцидів дозволяє зменшити обсяги застосування хімічних препаратів, що сприяє екологічній безпеці та знижує витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аніскевич Л.В., Адамчук В.І. Технології точного землеробства. Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ. 2006. Вип. 101. С. 8-27.
2. 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.
3. Васильковська К.В., Андрієнко І.А., Філончук А.С. Використання агродронів в системі точного землеробства. Матеріали Х Міжнародної науково-технічної онлайн конференції «Крамаровські читання». – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 201-203. URL
4. Грищенко Т., Ярош С. Впровадження моделі сучасного органічного господарства по вирощуванню лікарських рослин. Сучасні тенденції розвитку галузі землеробства: проблеми та шляхи їх вирішення: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., 8–9 черв. 2023 р. Житомир : вид-во «Поліського університету», 2023, С. 12-14.
5. 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.
6. С. В. Журавель Технологічні особливості вирощування різних сортів редьки олійної в умовах Житомирської області / Журавель С. В., Журавель С. С., Сладковська Т.А., Грищенко Т.М., Бачинський Я.М., Бучко О.В. // Sciences of Europe (Praha, Czech Republic) ISSN 3162-2364. 2023. № 130. Р. 19-24.
7. Марчук Ю. М., Кондратюк О. О., Богуславець В. Ю. та ін. Аналіз масштабів застосування регуляторів росту стимулюючої дії в рослинництві.

- «Science without borders – 2018»: Materials of the XIII international scientific and practical conference. 2018. Vol. 9. P. 42 – 45.
8. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Державний стандарт (ДСТУ 4138-2002). К. : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
9. Сайко В. Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. К.: Інститут землеробства НААН, 2011. 76 с.
10. Окрушко С.Є. Екологічна безпека сучасних систем захисту рослин. Збірник наукових праць ВНАУ. Сільське господарство та лісівництво. 2015. № 2. С. 126-134.
11. Первачук М. В., Шевчук О. А., Шевчук В. В. Еколого-токсикологічні особливості та використання у сільському господарстві синтетичних регуляторів росту. «Cutting-edge science – 2018»: Materials of the XIII International scientific and practical conference. 2018. Vol. 20. С. 81 – 83.
12. Рослинництво. Технології вирощування с.-г. культур / В. В. Лихочвор, В. Ф. Петриченко, П. В. Івашук, О. В. Корнійчук. – Львів: НВФ Укр. технології, 2010. – 1086 с.
13. Рахметов Д. Б., Горобець С.О. Алелопатична роль альтернативних сидеральних культур у функціонуванні агрофітоценозів. Вісник аграрної науки. 2000. № 10. С. 20-24.
14. Цицюра Я. Г, Цицюра Т. В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування. Монографія. Вінниця: ТОВ “Нілан ЛТД”, 2015. 624 с
15. Шевчук О. А., Ткачук О. О., Бахмат Ю. О. Застосування регуляторів росту рослин у рослинництві. «Veda a technologia: krok do budoucnosti – 2017»: Materialy XIII Mezunarodni vedecko-practicka konference. 2017. Vol. 9. Praga. С. 38 – 43.
16. Brown, L. (2020). *The Role of UAVs in Modern Farming*.
17. Brown, J. (2020). *Forage Crops for Animal Husbandry*.
18. Bruggen, A.H.C.; Gamliel, A.; Finckh, M.R. Plant Disease Management in Organic Farming Systems. *Pest Manag. Sci.* 2016, 72, 30–44.

19. Bodner G, Loiskandl W, Hartl W, Erhart E, Sobotik M (2019) Characterization of cover crop rooting types from integration of Rhizobox Imaging and Root Atlas Information. *Plants* 8.
20. Blum U. *Plant-Plant Allelopathic Interactions*. Springer, Berlin. 2011. 200 pp.
21. Carter, P. (2020). *Advancing Sowing Technologies Using UAVs*.
22. Döring TF, Elsalahy H (2022) Quantifying compensation in crop mixtures and monocultures. *Eur J Agron* 132:126408.
23. Elhakeem A, Bastiaans L, Houben S, Couwenberg T, Makowski D, van der Werf W (2021) Do cover crop mixtures give higher and more stable yields than pure stands? *Field Crop Res* 270:108217.
24. Entz, M.H.; Kirk, A.P.; Vaisman, I.; Fox, S.L.; Fetch, J.M.; Hobson, D.; Jensen, H.R.; Rabinowicz, J. Farmer Participation in Plant Breeding for Canadian Organic Crop Production: Implications for Adaptation to Climate Uncertainty. *Procedia Environ. Sci.* 2015, 29, 238–239.
25. Green, S. (2019). *Drone Application in Oilseed Crop Production*.
26. Ivanov A., Petrov S. Cultivation of cover crops in Europe: *Raphanus sativus*. *Agronomy Today*, 2021, Vol. 25, pp. 55–61.
27. Ivanov, A. (2018). *Innovative Technologies in Agriculture*.
28. Kovalenko, I. (2021). *Harvesting Strategies for Oil Radish*.
29. Klimenko, O. (2020). *The Role of Cover Crops in Soil Improvement*.
30. Kellogg Biological Station Cover Crops Research Program; The Quick, N- Trapping Cover, B. Hofstetter. 1994. *New Farm* 16:24-26; Northeast Cover Crop Handbook, Marianne Sarrantonio, 1994, Rodale Institute; Managing Cover Crops Profitably, Sustainable Agriculture Research and Education Program, USDA
31. Lee, H. et al. (2022). *Oil Radish as a Component of Crop Rotations*.
32. Lammerts Van Bueren, E.T.; Jones, S.S.; Tamm, L.; Murphy, K.M.; Myers, J.R.; Leifert, C.; Messmer, M.M. The Need to Breed Crop Varieties Suitable for Organic Farming, Using Wheat, Tomato and Broccoli as Examples: A Review. *NJAS-Wageningen J. Life Sci.* 2011, 58, 193–205.

33. Lysenko V., Bolbot I., Romasevych Y., Loveykin V., Voytiuk V. Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In Control Systems: Theory and Applications. River Publishers: Gistrup, Denmark, 2018. pp. 271–289.
34. Miller, R. (2018). *Nutritional Value of Oil Radish*.
35. Novikova, T. (2016). *Agrobiological Properties of Oil Radish*.
36. Petrenko, V. (2017). *Siderates in Organic Farming*.
37. Peterson R., Williams T. Drone technology in precision agriculture. Precision Farming Journal, 2020, Vol. 8, pp. 34–45.
38. Smith J., Brown K. Enhancing soil fertility with radish cover crops. Journal of Soil Science, 2019, Vol. 42, pp. 120–128.
39. Smith, J. et al. (2021). *Precision Agriculture and Drone Technology*.
40. Shevchenko, M. (2019). *Sustainable Agriculture Practices*.
41. Shevchuk O. A., Kravets O. O., Shevchuk V. V. and et. Features of leaf mesostructure organization under plant growth regulators treatment on broad bean plants. Modern Phytomorphology. 2020. 14. PP. 104 – 106.
42. Zhang, Y. et al. (2019). *Efficiency of UAV Application in Crop Management*.