

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Михалочкін Назар Андрійович

УДК 631.354.2.076 : 633.854.78

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення комплексу машин для вирощування соняшнику
з детальною розробкою конструкції самонавантажувального
копновозу**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Михалочкін Н.А.

Керівник роботи

Дерев’янка Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Михалочкін Назар Андрійович. Удосконалення комплексу машин для вирощування соняшнику з детальною розробкою конструкції самонавантажувального копновозу. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування соняшнику з детальною розробкою конструкції самонавантажувального копновозу. Проаналізовано сучасні технології вирощування соняшнику, динаміку його посівних площ в Україні та світі, а також основні тенденції розвитку механізованого виробництва цієї культури. Встановлено, що підвищення ефективності вирощування соняшнику можливе завдяки застосуванню сучасних енергонасичених тракторів, високопродуктивних посівних агрегатів, обприскувачів, комбайнів, БПЛА та роботизованих машин для догляду за посівами. Для умов Лісостепу Житомирської області розроблено технологію вирощування соняшнику на площі 200 га із складанням технологічної карти та графіка завантаження машинно-тракторних агрегатів. Особливу увагу приділено використанню безпілотних літальних апаратів зі штучним інтелектом для моніторингу стану посівів, виявлення бур'янів, стресових зон, пошкоджень і нерівномірності розвитку рослин. У роботі обґрунтовано доцільність застосування роботизованих засобів для механічної боротьби з бур'янами, що дозволяє зменшити хімічне навантаження на ґрунт і підвищити екологічність технології. Конструктивна частина присвячена розробці самонавантажувального копновозу, який забезпечує підбирання, завантаження, транспортування та розвантаження рослинних решток або копиць із мінімальними затратами праці. Запропоновані технічні й технологічні рішення спрямовані на підвищення продуктивності машинного комплексу, зменшення експлуатаційних витрат, раціональне використання техніки та підвищення загальної ефективності вирощування соняшнику.

Ключові слова: соняшник, технологічна карта, машинно-тракторний агрегат, БПЛА, роботизація, самонавантажувальний копновіз.

ANNOTATION

Mikhalochkin N.A. Design of a range of machinery for sugar beet cultivation, including the modernisation of a cultivator for inter-row cultivation. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis examines the improvement of machinery for sunflower cultivation, including a detailed design of a self-loading swath loader. It analyses modern sunflower cultivation technologies, trends in sunflower cultivation areas in Ukraine and worldwide, as well as the main trends in the development of mechanised production of this crop. It has been established that the efficiency of sunflower cultivation can be improved through the use of modern high-powered tractors, high-performance seeders, sprayers, combine harvesters, UAVs and robotic machines for crop maintenance. For the conditions of the Forest-Steppe zone in Zhytomyr Oblast, a technology for growing sunflowers over an area of 200 hectares has been developed, including the preparation of a technological map and a schedule for the deployment of machinery and tractor units. Particular attention has been paid to the use of unmanned aerial vehicles equipped with artificial intelligence to monitor crop condition, detect weeds, areas of stress, damage and uneven plant development. The study justifies the use of robotic equipment for mechanical weed control, which reduces the chemical load on the soil and enhances the environmental sustainability of the technology. The design section is devoted to the development of a self-loading hay wagon, which enables the collection, loading, transport and unloading of plant residues or hay bales with minimal labour input. The proposed technical and technological solutions are aimed at increasing the productivity of the machinery complex, reducing operating costs, ensuring the rational use of equipment and improving the overall efficiency of sunflower cultivation.

Keywords: sunflower, production flow chart, machine-tractor combination, UAV, robotisation, self-loading forage trailer.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ.....	8
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	17
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	28
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Соняшник є однією з провідних технічних культур в аграрному виробництві України, оскільки забезпечує сировинну базу для олійно-жирової промисловості, має високий експортний потенціал і відіграє важливу роль у формуванні економічної ефективності сільськогосподарських підприємств. Значні площі посівів соняшнику, стабільний попит на насіння та продукти його переробки зумовлюють необхідність постійного вдосконалення технології вирощування цієї культури. Водночас підвищення продуктивності соняшнику неможливе без раціонального добору машинно-тракторного парку, впровадження сучасних технологічних операцій, використання цифрового моніторингу посівів і поліпшення організації післязбиральних робіт.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи визначається потребою підвищення ефективності механізованого вирощування соняшнику в умовах Лісостепу Житомирської області. У сучасних умовах аграрні підприємства повинні забезпечувати своєчасне виконання всіх технологічних операцій, зменшувати витрати пального, праці та матеріальних ресурсів, а також мінімізувати втрати врожаю. Особливого значення набуває застосування високопродуктивної техніки, безпілотних літальних апаратів зі штучним інтелектом для моніторингу посівів, роботизованих машин для боротьби з бур'янами та спеціалізованих транспортно-навантажувальних засобів.

Одним із важливих резервів підвищення ефективності технологічного процесу є вдосконалення операцій, пов'язаних із транспортуванням і переміщенням рослинної маси, копиць та післязбиральних решток. Використання самонавантажувального копновозу дає змогу поєднати операції підбирання, завантаження, транспортування і розвантаження, що зменшує потребу в додаткових навантажувачах, скорочує тривалість польових робіт і підвищує

продуктивність машинного комплексу. Тому розробка конструкції такого засобу є доцільною з погляду технічного, технологічного й економічного вдосконалення виробництва соняшнику.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення комплексу машин для вирощування соняшнику з детальною розробкою конструкції самонавантажувального копновозу, який забезпечує підвищення ефективності транспортно-навантажувальних робіт у технологічному процесі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**: проаналізувати існуючі технології вирощування соняшнику в Україні та світі; оцінити сучасний рівень механізації, роботизації та цифровізації технологічних процесів; розробити технологію вирощування соняшнику в умовах Лісостепу Житомирської області на площі 200 га; скласти технологічну карту вирощування культури з доббором сучасної техніки; побудувати графік завантаження машинно-тракторного парку; обґрунтувати застосування БПЛА зі штучним інтелектом для моніторингу посівів і робота для боротьби з бур'янами; виконати конструктивне опрацювання самонавантажувального копновозу та провести необхідні інженерні розрахунки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес вирощування соняшнику та система машин, що забезпечує виконання основних і допоміжних операцій.

Предметом дослідження є параметри технології вирощування соняшнику, склад машинно-тракторного комплексу та конструктивні особливості самонавантажувального копновозу.

У роботі використано методи аналізу існуючих технологічних процесів, порівняння машинних агрегатів, технологічного проєктування, розрахунку продуктивності машин, побудови технологічних карт і графіків завантаження техніки, а також інженерні методи обґрунтування конструктивних параметрів розроблюваного засобу.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янка Д.А., Шевчук О.А., Гмир І.В, **Михалочкін Н.А.** Технічне забезпечення вирощування соняшнику в умовах Полісся. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. https://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/derevjanko_26-3.pdf (дата звернення 02.06.2026).

2. Дерев'янка Д.А., Мазур М.П., **Михалочкін Н.А.**, Хоменко С.М., Максимов В.М. Оптимізація системи машин для виконання основних польових робіт. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 115-118.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованої технології та підбраного комплексу машин у сільськогосподарських підприємствах Лісостепу Житомирської області. Запропоновані рішення дозволяють підвищити продуктивність вирощування соняшнику, зменшити витрати ресурсів, покращити контроль за станом посівів, знизити хімічне навантаження завдяки роботизованій боротьбі з бур'янами та підвищити ефективність післязбиральних транспортно-навантажувальних робіт за рахунок застосування самонавантажувального копновозу.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 31 найменування. Загальний обсяг роботи становить 42 сторінки комп'ютерного тексту, містить 10 рисунків, 12 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ

1.1. Господарське значення соняшнику та тенденції зміни посівних площ

Соняшник є однією з базових технічних культур для аграрного сектору України, оскільки забезпечує сировинну базу для виробництва олії, шроту, кормових добавок і побічної біомаси. Для господарств культура приваблива відносно стабільним попитом, розвиненою переробною інфраструктурою та можливістю реалізації продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Водночас надмірне насичення сівозміни соняшником призводить до виснаження вологи, погіршення фітосанітарного стану поля, поширення хвороб і зростання потреби у точному дотриманні агротехнічних строків.

За даними FAOSTAT, опублікованими через платформу Our World in Data, статистика щодо соняшнику охоплює показники площі, урожайності та валового виробництва. Динаміка останніх років свідчить, що світовий сегмент соняшнику зберігає тенденцію до розширення, хоча темпи змін залежать від цін на рослинні олії, погодних умов, логістики та воєнних ризиків у Чорноморському регіоні. Україна залишається однією з ключових країн у ланцюгу виробництва насіння соняшнику та соняшникової олії, однак після 2022 року площі культури стали більш залежними від безпекових умов, доступності ресурсів і структури експорту.

Таблиця 1.1 – Динаміка площі соняшнику в Україні.

Рік	Площа, млн га	Характеристика тенденції
2015	4,96	розширення посівів після стабілізації ринку олійних культур
2016	5,76	різке нарощування площ за рахунок високої рентабельності
2017	5,78	закріплення площ на рівні понад 5,7 млн га
2018	5,92	поступове зростання попиту на насіння та олію
2019	5,76	незначне коригування структури посівів

Продовження таблиці 1.1.

2020	6,01	наближення до довоєнного максимуму
2021	6,00	висока концентрація культури у структурі технічних культур
2022	4,89	скорочення через війну, окупацію частини територій і логістику
2023	5,42	часткове відновлення площ
2024	5,30	попередня оцінка з незначним зменшенням
2025	5,17	прогнозована/заявлена площа посіву



Рис. 1.1. Зміна площі соняшнику в Україні у 2015–2025 рр.

Наведена динаміка показує, що до 2021 року площі соняшнику в Україні утримувалися біля рівня 6 млн га. Падіння 2022 року було наслідком не технологічних, а переважно зовнішніх чинників: мінування та окупації частини земель, ускладнення логістики, зростання вартості матеріально-технічних ресурсів і зміни структури експорту. Часткове відновлення у 2023–2025 роках пояснюється тим, що соняшник має порівняно нижчу масу врожаю для перевезення у розрахунку на вартість продукції, розвинену внутрішню переробку та стабільний попит на олію.

Таблиця 1.2 – Динаміка світової зібраної площі соняшнику

Маркетинговий рік	Світова зібрана площа, млн га	Коментар
2020/21	28,05	база для порівняння після періоду пандемійних обмежень
2021/22	29,88	істотне розширення площ
2022/23	29,98	утримання високого рівня попри ринкові ризики
2023/24	29,82	стабілізація світової площі
2024/25	30,40	помірне зростання
2025/26*	33,02	прогнозне розширення; *попередня оцінка

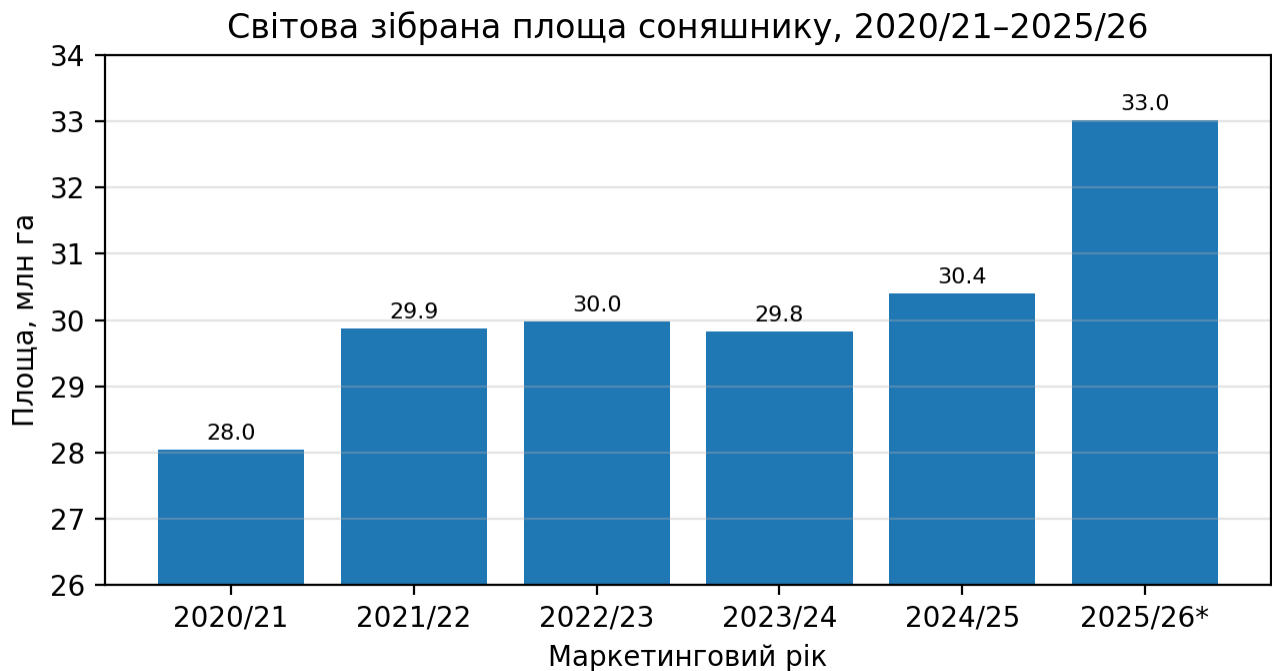


Рис. 1.2. Світова зібрана площа соняшнику у 2020/21–2025/26 маркетингових роках

Світова динаміка є більш павною, ніж українська, оскільки втрати або скорочення в окремих країнах частково компенсуються розширенням виробництва в інших регіонах. Проте залежність світового ринку від країн Чорноморського басейну залишається значною. Для України це означає необхідність не лише збільшувати площі, а насамперед підвищувати технологічну стійкість виробництва, зменшувати витрати на гектар і скорочувати втрати під час виконання польових та транспортно-логістичних операцій.

1.2. Характеристика існуючих технологій вирощування соняшнику

У виробництві соняшнику застосовують кілька технологічних підходів: традиційну інтенсивну технологію з основним обробітком ґрунту, мінімальний обробіток, strip-till, no-till, а також технології точного землеробства з диференційованим внесенням ресурсів. Вибір конкретної схеми залежить від ґрунтово-кліматичних умов, попередника, забезпеченості вологою, засміченості поля, наявності техніки та економічних можливостей господарства.

Класична інтенсивна технологія передбачає лущення стерні попередника, основний обробіток, передпосівну культивуацію, точну сівбу просапною сівалкою, внесення мінеральних добрив, систему хімічного й механічного захисту посівів, збирання комбайном із соняшnikовою жаткою та подальше транспортування насіння. Її перевагою є висока керованість технологічного процесу, а недоліком – значні витрати пального, ущільнення ґрунту та потреба у великій кількості проходів техніки.

Мінімальний обробіток і strip-till зменшують енергетичні витрати та зберігають вологу, однак потребують точнішого налаштування машин, якісного контролю бур'янів і стабільного супутникового водіння. No-till може бути ефективним у зонах дефіциту води, проте для соняшнику він висуває підвищені вимоги до сівалки, стану рослинних решток і системи захисту рослин. За умов України найбільш перспективною є комбінована модель: елементи ресурсозбереження поєднуються з точним висівом, GPS-навігацією, картами продуктивності та післязбиральною механізацією роботи з рослинними рештками.

Таблиця 1.3 – Основні етапи існуючих технологій вирощування соняшнику

Етап технології	Типові машини та агрегати	Основні вимоги до виконання операції
Підготовка поля	дискові борони, глибокорозпушувачі, культиватори, strip-till агрегати	вирівняне поле, збереження води, руйнування ущільнених шарів
Сівба	точні просапні сівалки з контролем висіву, трактор з GPS-навігацією	рівномірна глибина, задана густина, мінімальні пропуски та двійники

Продовження таблиці 1.3

Живлення	розкидачі добрив, аплікатори, системи змінної норми	внесення за картами забезпечення ґрунту й потенціалу врожайності
Захист посівів	штангові обприскувачі, міжрядні культиватори, роботизовані прополовачі	своєчасність, точність покриття, зменшення перевитрати препаратів
Моніторинг	БПЛА, супутникові знімки, датчики, польові додатки	виявлення стресу, бур'янів, шкідників, нерівномірності сходів
Збирання	комбайн із соняшnikовою жаткою, транспортні причеми	мінімальні втрати насіння, своєчасне вивезення врожаю
Робота з рештками	подрібнювачі, валкоутворювачі, самонавантажувальний копновіз	очищення поля, транспортування біомаси, підготовка до наступної культури

1.3. Рівень механізації технологічного процесу

Вирощування соняшнику належить до високорівнево механізованих процесів. Найкраще механізовані операції основного та передпосівного обробітку ґрунту, сівби, внесення добрив, обприскування й збирання. Для великих господарств типовими є потужні трактори, широкозахватні агрегати, самохідні обприскувачі, зернозбиральні комбайни з адаптерами для соняшнику та причіпний транспорт. Водночас у технології зберігаються слабкі місця: нерівномірне виконання міжрядного догляду, недостатній оперативний контроль стану посівів, обмежена автоматизація прийняття рішень і значна залежність післязбиральної логістики від кількості тракторів, причепів та навантажувачів.

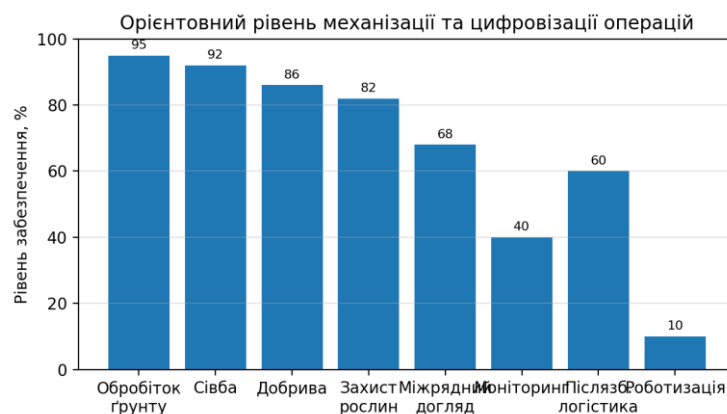


Рис. 1.3. Орієнтовна оцінка рівня механізації та цифровізації окремих операцій

Діаграма свідчить, що механізація традиційних польових операцій наближається до високого рівня, але цифровізація та роботизація ще мають значний резерв. Особливо це стосується моніторингу посівів, локального внесення засобів захисту, автономного міжрядного догляду і післязбирального переміщення об'ємної рослинної маси. Саме остання група операцій пов'язана з доцільністю розробки самонавантажувального копновозу, який може скорочувати кількість допоміжних операцій і підвищувати продуктивність машинного комплексу.

Удосконалення комплексу машин має здійснюватися не лише за рахунок заміни окремого агрегату на потужніший. Більш ефективним є системний підхід, за якого машини взаємно узгоджені за продуктивністю, шириною захвату, вантажомісткістю, витратою палива та технологічними строками. Для соняшнику це особливо важливо під час сівби та збирання, оскільки затримка польових робіт призводить до нерівномірності сходів, втрати вологи, збільшення забур'яненості та втрат насіння при перестої кошиків у полі.

1.4. Можливості роботизації та застосування штучного інтелекту

Роботизація у технології вирощування соняшнику найбільш доцільна там, де потрібні точність, повторюваність і мінімальне ущільнення ґрунту: точна сівба, механічне або локальне знищення бур'янів, моніторинг стану рослин і диференційоване внесення ресурсів. Автономні роботи та системи комп'ютерного зору можуть працювати у міжряддях без суцільного застосування гербіцидів.

Штучний інтелект може поєднувати супутникові знімки Sentinel-2, дані БПЛА, метеостанцій і карт урожайності. На їх основі визначають індекси NDVI/NDRE, зони зрідження, дефіциту вологи або живлення, а також формують карти-завдання для обприскувачів, розкидачів добрив і міжрядних агрегатів.

Таблиця 1.4 – Можливості роботизації та ШІ у технології вирощування соняшнику

Напрямок цифровізації	Практичне застосування у соняшнику	Очікуваний ефект
Супутниковий моніторинг	контроль стану посівів, зонування поля за індексами NDVI/NDRE	раннє виявлення проблемних ділянок
БПЛА з RGB/мультиспектральною камерою	оцінка густоти стояння, забур'яненості, пошкоджень шкідниками	оперативне прийняття рішень у межах поля
Машинне навчання	класифікація зон продуктивності, прогноз врожайності, карти-завдання	диференційоване внесення ресурсів
Роботизоване прополювання	механічне видалення бур'янів у міжряддях і рядку	зменшення гербіцидного навантаження
Автономне водіння	паралельне водіння тракторів і самохідних агрегатів	менше перекриттів, економія пального та часу
Самонавантажувальний копновіз	підбирання і транспортування об'ємної рослинної маси після збирання	зменшення потреби у навантажувачах і ручній праці

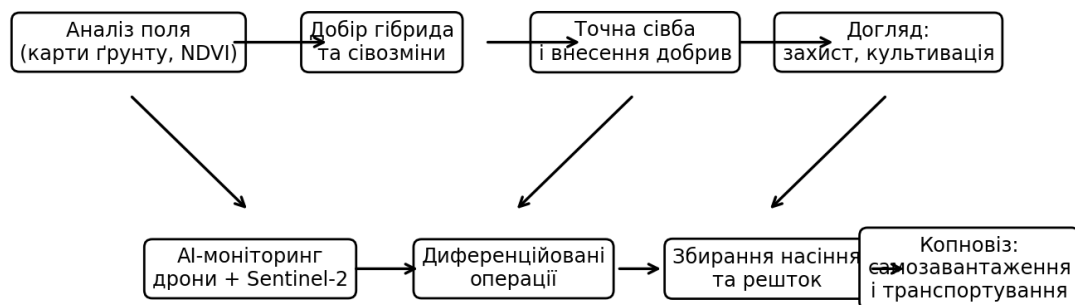


Рис. 1.4. Схема інтеграції цифрового моніторингу, механізації та самонавантажувального копновозу

Для українських господарств практичний інтерес становить не повна заміна тракторів автономними роботами, а поетапна інтеграція цифрових модулів у наявний машинно-тракторний парк. Першим етапом є GPS-навігація, автопілот, контроль секцій сівалки та обприскувача. Другим етапом є створення карт-завдань і диференційоване внесення добрив та засобів захисту. Третім етапом може бути роботизоване міжрядне прополювання, точкове обприскування й автономне

транспортування допоміжних вантажів. У цьому ланцюгу самонавантажувальний копновіз розглядається як технічне рішення для підвищення ефективності післязбиральних операцій та швидкого звільнення поля.

1.5. Напрямки вдосконалення технології вирощування соняшнику

Проведений аналіз дає змогу визначити основні напрями вдосконалення технологій вирощування соняшнику. Першим напрямом є оптимізація сівозміни. Повернення соняшнику на одне поле через короткий період підвищує ризик накопичення збудників хвороб і знижує ефективність використання вологи. Тому комплекс машин повинен забезпечувати не максимальне розширення площ під культурою, а якісне виконання операцій у межах науково обґрунтованої структури посівів.

Другим напрямом є ресурсозбереження. Воно передбачає зменшення кількості проходів техніки, застосування мінімального або смугового обробітку ґрунту, точне внесення добрив, контроль перекриттів, використання широкозахватних агрегатів і збалансоване завантаження тракторів. Ресурсозберігаюча технологія має поєднувати економію палива з агротехнічною якістю, оскільки надмірне спрощення обробітку без контролю бур'янів і ущільнення ґрунту може знижувати врожайність.

Третім напрямом є цифровий моніторинг посівів. Він повинен включати супутниковий контроль стану рослин, обстеження БПЛА у критичні фази розвитку, накопичення історії врожайності та формування карт продуктивності. На основі таких даних господарство може переходити від однакових норм внесення по всьому полю до диференційованих технологічних рішень.

Четвертим напрямом є роботизація найбільш трудомістких і повторюваних операцій. У соняшнику найбільший потенціал мають автономне або напіваавтономне міжрядне прополювання, точкове внесення препаратів, автоматизований облік сходів і контроль якості сівби. Такі рішення знижують

залежність від дефіциту робочої сили та допомагають зменшити хімічне навантаження на агроєкосистему.

П'ятим напрямом є удосконалення післязбиральної логістики. Після збирання соняшнику на полі залишається значна кількість стеблової маси, кошиків та інших рослинних решток, які можуть подрібнюватися і зароблятися в ґрунт, використовуватися для мульчування, компостування або енергетичних потреб. Якщо рештки формуються у валки чи копи, потрібна машина, здатна самостійно захопити об'ємну масу, підняти її, транспортувати й розвантажити без залучення окремого навантажувача. Самонавантажувальний копновіз відповідає цій вимозі та може бути включений до комплексу машин як спеціалізований засіб для роботи з великогабаритною рослинною масою.

Таблиця 1.5 – Напрями вдосконалення технології вирощування соняшнику

Проблема існуючої технології	Запропонований напрям удосконалення	Очікуваний результат
висока залежність урожайності від строків сівби	точна сівба, автопілот, контроль висіву	рівномірні сходи та краща реалізація потенціалу гібрида
перевитрата добрив і ЗЗР	карти-завдання, контроль секцій, диференційоване внесення	зменшення витрат і екологічного навантаження
ускладнений моніторинг великих площ	Sentinel-2, БПЛА, AI-аналітика	раннє виявлення стресових зон
трудомісткий міжрядний догляд	роботизоване або високоточне механічне прополювання	менше ручної праці та гербіцидів
повільне звільнення поля після збирання	самонавантажувальний копновіз для біомаси та копиць	скорочення часу післязбиральних операцій
низька узгодженість машин за продуктивністю	комплексне планування машинного парку	менше простоїв, стабільні технологічні строки

Отже, існуючі технології вирощування соняшнику в Україні мають достатньо високий рівень механізації базових операцій, але потребують удосконалення в частині цифрового моніторингу, роботизованого догляду, ресурсозбереження та післязбиральної логістики. Розробка самонавантажувального копновозу є логічним елементом такого вдосконалення, оскільки вона спрямована на скорочення допоміжних операцій, підвищення продуктивності транспортно-навантажувальних робіт і забезпечення швидшої підготовки поля до наступного технологічного циклу.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Вихідні умови та агротехнічні передумови проектування

Соняшник у господарствах Лісостепу Житомирської області розглядається як високорентабельна технічна культура, однак його стабільна врожайність можлива лише за умови дотримання науково обґрунтованої сівозміни, якісної підготовки ґрунту, точного висіву, своєчасного догляду за посівами та раціональної організації збирання. Для проектування прийнято виробничу площу 200 га, що дає змогу застосувати високопродуктивні енергетичні засоби, широкозахватні агрегати, системи точного землеробства, БПЛА-моніторинг та роботизовані засоби боротьби з бур'янами.

Природно-кліматичні умови Лісостепу характеризуються достатньою сумою активних температур для формування повноцінного врожаю соняшнику, але нестійким зволоженням у другій половині вегетації. Тому технологія повинна бути спрямована на збереження вологи, створення вирівняного посівного ложа, зменшення ущільнення ґрунту та оперативне виявлення стресових зон на полі. В умовах змін клімату важливого значення набуває не лише механізація окремих операцій, а й інформаційне супроводження кожного етапу вирощування.

Попередником у проектованій технології доцільно прийняти озиму пшеницю або зернобобові культури, після яких поле рано звільняється, залишається достатньо часу для луцення стерні, внесення добрив і глибокого розпушування. Повертати соняшник на попереднє місце варто не раніше ніж через 5-7 років, оскільки коротка ротація збільшує ризик поширення хвороб, вовчка соняшникового та знижує ефективність використання вологи.

Проектна врожайність прийнята на рівні 3,0 т/га, що для площі 200 га забезпечує одержання близько 600 т насіння. Такий рівень урожайності

передбачає застосування гібридів інтенсивного типу, точного висіву з міжряддям 70 см, підтримання оптимальної густоти рослин 55-60 тис. шт./га, збалансованого мінерального живлення та мінімізації технологічних втрат під час збирання.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування технології вирощування соняшнику

Показник	Прийняте значення
Зона вирощування	Лісостеп Житомирської області
Площа проектного поля	200 га
Попередник	озима пшениця або зернобобові культури
Тип технології	ресурсозберігаюча з елементами точного землеробства
Міжряддя	70 см
Густота рослин перед збиранням	55-60 тис. рослин/га
Проектна врожайність	3,0 т/га
Очікуваний валовий збір	близько 600 т насіння
Система моніторингу	БПЛА з мультиспектральною камерою та AI-аналізом
Система механічного догляду	роботизований міжрядний обробіток
Післязбиральна логістика решток	самонавантажувальний копновіз

На основі наведених вихідних даних технологічний процес побудовано як послідовність механізованих і цифрово керованих операцій. Основним принципом є поєднання високої продуктивності широкозахватної техніки з точністю виконання польових робіт, що забезпечується РТК-навігацією, секційним контролем, диференційованим внесенням матеріалів і оперативним аналізом стану посівів.

Схема проектованої технології вирощування соняшнику на площі 200 га



Рис. 2.1. Схема проектованої технології вирощування соняшнику на площі 200 га

2.2. Обґрунтування сучасного комплексу машин

Комплекс машин для площі 200 га повинен забезпечувати виконання польових робіт у стислі агротехнічні строки. При цьому важливо уникнути надмірного збільшення кількості агрегатів, оскільки це підвищує капітальні витрати та ускладнює організацію сервісу. Тому у проекті прийнято комбінований підхід: енергонасичені трактори використовуються на важких ґрунтообробних операціях, універсальний трактор середнього класу - на передпосівній підготовці та допоміжних роботах, а для моніторингу й боротьби з бур'янами залучено цифрові автономні засоби.

Для точного висіву обрано сучасну високошвидкісну просапну сівалку типу Väderstad Tempo L. Такий агрегат забезпечує стабільне розміщення насіння за глибиною і кроком, працює з високою швидкістю та підтримує секційне відключення висівних апаратів, що знижує перевитрату насіння на клинах і розворотних смугах. Використання РТК-автоводіння з повторюваністю проходів особливо важливе для подальшого роботизованого міжрядного догляду.

Для збирання доцільно застосувати високопродуктивний зернозбиральний комбайн із соняшnikовою жаткою. У проекті прийнято комбайн класу CLAAS LEXION 8800 або аналогічний за продуктивністю агрегат з жаткою Capello Helianthus. Така машина має запас пропускної здатності, що дозволяє прибрати 200 га у стислі строки та знизити втрати від обсіпання насіння і ламання кошиків.

Післязбиральна частина технології пов'язана з використанням самонавантажувального копновозу. Його введення у комплекс машин дозволяє механізувати підбирання сформованих копиць стеблової маси, транспортування їх до місця складування або подальшого використання як біомаси, підстилки чи органічного матеріалу. Це безпосередньо пов'язує технологічний розділ із конструктивною частиною кваліфікаційної роботи.

Таблиця 2.2 – Прийнятий сучасний комплекс машин для вирощування соняшнику на 200 га

Група машин	Рекомендована сучасна модель	Призначення в технології
Енергозасіб для важких робіт	John Deere 8R 410 або аналог 300-420 к.с.	основний обробіток, дискування, тяга широкозахватних агрегатів
Універсальний трактор	John Deere 6R 250 або Fendt 724 Vario	передпосівна культивация, коткування, допоміжні операції
Дискова борона	Horsch Joker RT 8	лушення стерні, післязбиральне подрібнення решток
Глибокорозпушувач	Horsch Tiger 6 MT	основний обробіток на 25-28 см
Культиватор передпосівний	Bednar Swifter SO 6000 або Lemken Korund	створення посівного ложа
Розкидач добрив	Amazone ZA-TS 4200 ProfisPro	диференційоване внесення мінеральних добрив
Сівалка точного висіву	Väderstad Tempo L 16/24	висів соняшнику з RTK-навігацією і секційним контролем

Продовження таблиці 2.2

Обприскувач	Amazone Pantera 4504 або John Deere R4150i	локальний захист і позакореневе підживлення
БПЛА для моніторингу	DJI Mavic 3 Multispectral або аналог	мультиспектральне картування, NDVI/NDRE, AI-аналіз
Робот для бур'янів	FarmDroid FD20 або аналогічна RTK-платформа	механічний міжрядний догляд та зменшення гербіцидного навантаження
Зернозбиральний комбайн	CLAAS LEXION 8800 + соняшникова жатка	збирання насіння з мінімальними втратами
Транспорт і післязбиральна логістика	перевантажувальний бункер, вантажні автомобілі, самонавантажувальний копновіз	перевезення насіння та стеблової маси

2.3. Використання БПЛА зі штучним інтелектом для моніторингу посівів

У проєктованій технології БПЛА не розглядається як допоміжний засіб фотографування поля. Його основна функція полягає у створенні цифрової інформаційної основи для прийняття технологічних рішень. Мультиспектральна камера дає можливість отримувати карти NDVI, NDRE та інші індекси, які відображають неоднорідність розвитку рослин, дефіцит живлення, наслідки переущільнення, пошкодження шкідниками або локальні проблеми із вологозабезпеченням.

AI-платформа обробляє ортофотоплани, порівнює зони поля між собою та формує карти-завдання для обприскувача або робота. Такий підхід дозволяє не виконувати суцільну обробку там, де проблема відсутня, а спрямовувати техніку лише на ділянки, де виявлено бур'яни, зріджені сходи або ознаки стресу. Для площі 200 га достатньо трьох-чотирьох планових обстежень за сезон: після появи сходів, перед змиканням міжрядь, у фазі активного росту та перед збиранням.

Практична цінність цифрового моніторингу полягає у своєчасності. Наприклад, виявлення зріджених сходів у травні дає змогу оцінити якість висіву та уточнити норму доглядових операцій. Виявлення бур'янів у міжряддях допомагає спланувати маршрут робота. Перед збиранням БПЛА використовується для оцінки рівномірності досягання та визначення черговості обмолоту окремих ділянок поля.

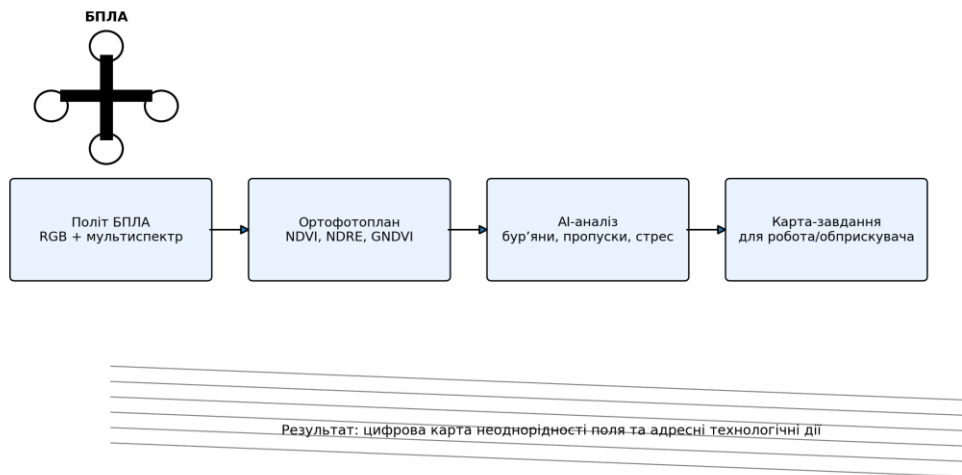


Рис. 2.2. Схема використання БПЛА та штучного інтелекту для прийняття технологічних рішень.

2.4. Роботизована боротьба з бур'янами у міжряддях соняшнику

Найбільш перспективним напрямом роботизації у технології вирощування соняшнику є боротьба з бур'янами в міжряддях. Соняшник висівається широкорядним способом, тому поле має чітку геометрію рядків, що полегшує використання RTK-навігації та камерного розпізнавання рослин. Робот може працювати з невеликою швидкістю, але з високою точністю, повторюючи рядки, сформовані сівалкою точного висіву.

У проекті прийнято використання групи з чотирьох роботизованих платформ типу FarmDroid FD20 або аналогічних машин. Принцип роботи полягає у поєднанні супутникової навігації, даних про розміщення рядків та механічних

робочих органів, які знищують бур'яни в міжряддях і частково у захисній зоні рядка. Для площі 200 га застосування одного робота було б недостатнім через обмежену добову продуктивність, тому доцільно використовувати парк роботів або залучати роботизовану послугу на період пікового навантаження.

Роботизований догляд дає змогу зменшити гербіцидне навантаження, знизити ризик фітотоксичності та підвищити екологічність технології. Крім того, механічне руйнування ґрунтової кірки поліпшує аерацію верхнього шару ґрунту та зменшує втрати вологи через капілярне випаровування. Обмеженням є потреба у точному висіві, достатній прохідності міжрядь, стабільному зв'язку і підготовленому персоналі для контролю роботи автономних машин.

2.5. Розробка технологічної карти вирощування соняшнику на площі 200 га

Технологічна карта є основним організаційним документом, який визначає склад операцій, строки їх виконання, агрегати, продуктивність, потребу в машинному часі та орієнтовні витрати пального. Розрахунок виконано для площі 200 га. Продуктивність машин прийнята за середніми експлуатаційними значеннями з урахуванням розворотів, заправок, переїздів у межах поля і коефіцієнта використання змінного часу.

Для визначення потреби в машинному часі використано співвідношення: $T = F / W$, де T - тривалість роботи агрегату, год; F - площа, га; W - експлуатаційна продуктивність, га/год. Кількість змін визначали як відношення машинного часу до тривалості зміни 10 год. Потребу в пальному орієнтовно визначали за питомою витратою на 1 га з урахуванням типу операції.

У карті передбачено, що цифрові операції не замінюють традиційні агротехнічні заходи, а роблять їх більш адресними. БПЛА формує карту стану посівів, робот виконує механічне знищення бур'янів, а обприскувач і розкидач добрив працюють за картами-завданнями. Це дозволяє поєднати високу продуктивність машинного комплексу з точністю агрономічних рішень.

Таблиця 2.3 – Технологічна карта вирощування соняшнику на площі 200 га

№	Операція	Строк виконання	Агрегат / технічний засіб	Основні агротехнічні вимоги	Продуктивність, га/год	Машино-години	Пальне, л
1	Агрохімічне обстеження, GPS-контур поля, відбір проб ґрунту	вересень	ATV/пікап + GPS-приймач + пробовідбірник	сітка 5-10 га, формування електронної карти поля	60.0	3.3	80
2	Лущення стерні попередника	вересень	John Deere 8R 410 + Horsch Joker RT 8	глибина 6-8 см, рівномірне перемішування решток	9.5	21.1	1700
3	Внесення основних мінеральних добрив за картою-завданням	вересень-жовтень	Fendt 936 Vario + Amazone ZA-TS 4200 ProfisPro	диференційоване внесення P,K; покриття секцій GPS	28.0	7.1	360
4	Глибоке розпушування/основний обробіток	жовтень	John Deere 8R 410 + Horsch Tiger 6 MT	глибина 25-28 см без вивертання малородючого шару	4.8	41.7	3700
5	Вирівнювання поверхні поля за потреби	жовтень	John Deere 6R 250 + Bednar Swifter SO 6000	вирівняне ложе для весняної підготовки	10.0	20.0	1000
6	Закриття вологи навесні	березень	John Deere 6R 250 + важка штригельна борона 12 м	мінімальна втрата вологи, руйнування ґрунтової кірки	18.0	11.1	560
7	Передпосівна культивация	квітень I декада	John Deere 6R 250 + Bednar Swifter SO 6000	глибина 5-6 см, рівномірна дрібногрудкувата структура	10.0	20.0	1000
8	Точний висів соняшнику з локальним внесенням стартового добрива	квітень II декада	Fendt 936 Vario + Väderstad Tempo L 16/24	міжряддя 70 см, 55-60 тис. насінин/га, RTK-автоводіння	11.5	17.4	920
9	Післяпосівне коткування у разі сухої весни	квітень	John Deere 6R 250 + Cambridge roller 12 м	ущільнення посівного ложа без утворення кірки	15.0	13.3	400
10	Перше БПЛА-обстеження сходів і густоти стояння	травень I декада	DJI Mavic 3 Multispectral + AI-платформа аналізу	карта NDVI/NDRE, виявлення пропусків і зон пригнічення	80.0	2.5	0
11	Роботизований міжрядний обробіток проти бур'янів, прохід 1	травень II декада	4 роботи FarmDroid FD20 / аналог RTK-платформи	міжрядне розпушування, контроль бур'янів без пошкодження рядка	4.2	47.6	60
12	Страхове локальне внесення ЗЗР за потреби	травень-червень	Amazone Pantera 4504 + система секційного контролю	обробка лише проблемних ділянок, норма за картою-завданням	38.0	5.3	300
13	Друге БПЛА-обстеження: бур'яни, шкідники, дефіцит живлення	червень	DJI Mavic 3 Multispectral + нейромережеве розпізнавання	карти неоднорідності, рекомендації щодо догляду	80.0	2.5	0
14	Роботизований міжрядний обробіток проти бур'янів, прохід 2	червень II декада	4 роботи FarmDroid FD20 / аналог RTK-платформи	руйнування ґрунтової кірки, підрізання повторної хвилі бур'янів	4.0	50.0	60
15	Позакореневе підживлення та захист від хвороб за даними моніторингу	червень-липень	Amazone Pantera 4504 / John Deere R4150i	диференційоване внесення, контроль покриттів	38.0	5.3	300
16	Третє БПЛА-обстеження: стрес, волога, прогноз урожайності	липень	DJI Mavic 3 Multispectral + AI-аналітика	карта продуктивності посіву, контроль посухи й шкідників	80.0	2.5	0
17	Передзбиральний контроль стиглості; десикація лише за необхідності	серпень-вересень	БПЛА + Amazone Pantera 4504	рішення на основі вологості кошиків і карти поля	38.0	5.3	240
18	Збирання врожаю соняшнику	вересень	CLAAS LEXION 8800 + Capello Helianthus 9400	вологість насіння 8-12 %, мінімізація втрат за жаткою	8.5	23.5	2500
19	Перевезення насіння від комбайна до току/елеватора	вересень	MAN TGS/КрАЗ-армовоз + перевантажувальний бункер Kinze 1051	безперервне розвантаження комбайна, зважування партій	25.0	8.0	700
20	Збирання і транспортування копиць стеблової маси самонавантажувальним копновозом	вересень-жовтень	Трактор класу 30 кН + самонавантажувальний копновіз	підбирання сформованих копиць без значного забруднення ґрунтом	6.0	33.3	1400
21	Післязбиральне дискування та підготовка поля до наступної культури	жовтень	John Deere 8R 410 + Horsch Joker RT 8	подрібнення решток, провокація падалиці й бур'янів	9.5	21.1	1700

Загальна потреба у машинному часі за технологічною картою становить приблизно 361.9 машино-год. Орієнтовна сумарна витрата дизельного пального з урахуванням усіх польових механізованих операцій становить близько 16980 л, або 84.9 л/га. Електричні витрати на БПЛА та роботизовані платформи в розрахунку відображено умовно, оскільки вони не формують основної частки енергоспоживання, але потребують організації заряджання, сервісу та контролю програмного забезпечення.

2.6. Графік завантаження техніки та організація виконання робіт

Графік завантаження техніки показує, що найбільші піки робіт припадають на квітень, травень-червень і вересень-жовтень. У квітні потрібно вчасно завершити передпосівну культивуацію, висів і коткування. У травні та червні основне навантаження переходить на БПЛА, роботизовані платформи та обприскувач. У вересні ключовими стають комбайн, транспорт для насіння та самонавантажувальний копновіз для роботи зі стебловою масою.

Для зменшення простоїв доцільно організувати роботу за принципом потоковості: сівалка рухається за підготовленим культиватором полем, БПЛА виконує обстеження одразу після появи сходів, а робот отримує готовий маршрут і карту бур'янів. Під час збирання комбайн має працювати без зупинок на очікування транспорту, тому доцільно використовувати перевантажувальний бункер і попередньо сплановані маршрути руху автомобілів.

Самонавантажувальний копновіз у технологічному процесі використовується після основного збирання, коли сформовані копиці або валки стеблової маси потрібно вивезти з поля. Це скорочує час звільнення поля, зменшує потребу в ручній праці та створює умови для швидкого післязбирального дискування. За рахунок цього поле раніше переходить у наступний технологічний цикл.

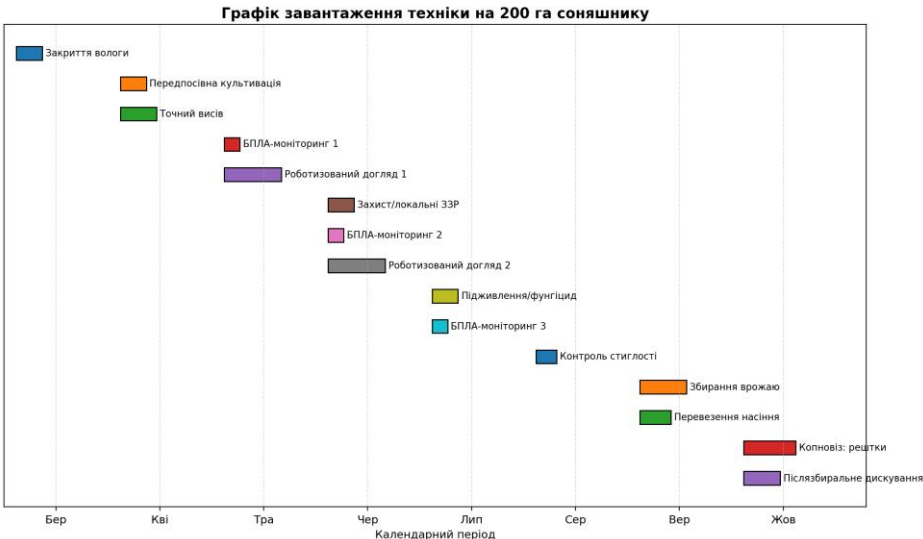


Рис. 2.3. Графік завантаження техніки під час вирощування соняшнику на 200 га.

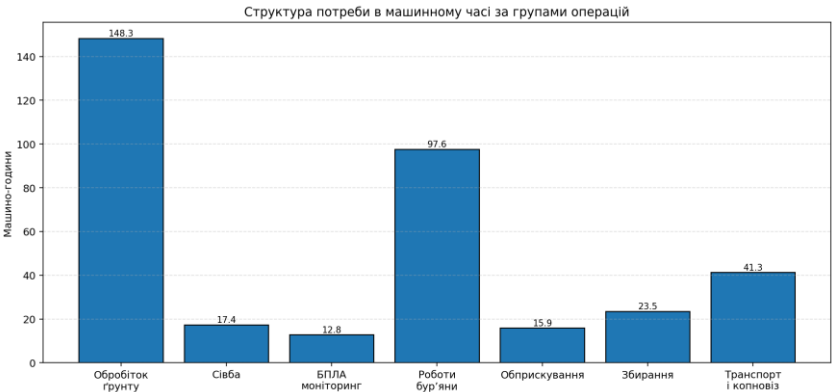


Рис. 2.5. Розподіл потреби в машинному часі за групами технологічних операцій.

Таблиця 2.4 – Зведене завантаження основних груп техніки

Група техніки	Потреба, маш.-год	Період пікового навантаження	Організаційний висновок
Трактори високої потужності	104-110	вересень-жовтень	лущення, глибоке розпушування, післязбиральне дискування
Універсальні трактори	60-65	березень-квітень	закриття волог, культивування, коткування
Сівалка точного висіву	17-18	квітень	висів потрібно виконати за 2 робочі дні
БПЛА з AI-аналітикою	10-13	травень-липень	швидке картування та підтримка рішень
Роботизовані платформи	95-100	травень-червень	потрібен парк роботів або сервісна послуга
Обприскувач	15-16	червень-серпень	локальні обробки за картами-завданнями
Комбайн	23-24	вересень	збирання бажано завершити за 3-4 дні
Копновіз і транспорт	40-45	вересень-жовтень	логістика насіння і стеблової маси

2.7. Напрями вдосконалення технології вирощування соняшнику

Проектована технологія відрізняється від традиційної тим, що вона не обмежується заміною застарілих машин на нові. Її головна особливість - інтеграція механізованих операцій у єдину цифрову систему. Дані про поле збираються ще до основного обробітку, уточнюються під час вегетації та використовуються для коригування дій агрегатів. Завдяки цьому технологія стає адаптивною, тобто реагує на фактичний стан посівів, а не лише на календарний план.

Найважливішим напрямом удосконалення є підвищення точності висіву. Вирівняна густота рослин зменшує конкуренцію в рядку, забезпечує більш однорідне досягання кошиків і полегшує роботу жатки. Другим напрямом є зниження хімічного навантаження через використання роботизованого міжрядного догляду та локальних обробок. Третім напрямом є вдосконалення післязбиральної логістики, зокрема механізоване збирання стеблової маси самонавантажувальним копновозом.

Запропонована технологія може бути впроваджена поетапно. На першому етапі достатньо перейти на точний висів, RTK-навігацію та БПЛА-моніторинг. На другому етапі доцільно залучити роботизовану боротьбу з бур'янами на найбільш проблемних полях. На третьому етапі впроваджується повна цифрова карта операцій, що охоплює добрива, засоби захисту, врожайність і логістику рослинних решток.

Отже, для умов Лісостепу Житомирської області на площі 200 га доцільно застосувати комплексну механізовано-цифрову технологію вирощування соняшнику. Її основу становлять сучасні широкозахватні ґрунтообробні агрегати, сівалка точного висіву, БПЛА зі штучним інтелектом, роботизовані засоби міжрядного догляду, високопродуктивний комбайн і самонавантажувальний копновіз. Такий підхід забезпечує своєчасність виконання робіт, скорочення витрат ресурсів, підвищення екологічності технології та створює технічне обґрунтування для подальшої детальної розробки конструкції самонавантажувального копновозу.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Передумови удосконалення комплексу машин для вирощування соняшнику

Ефективність механізованої технології вирощування соняшнику визначається не лише якістю обробітку ґрунту, сівби, догляду за посівами та збирання насіння, а й здатністю господарства швидко завершувати післязбиральні операції. Після проходу зернозбирального комбайна на полі залишається значна маса стебел, листя, кошиків та інших рослинних решток. Частина цієї маси може подрібнюватися й рівномірно розподілятися по поверхні поля, однак у низці виробничих ситуацій виникає потреба у її збиранні, переміщенні на край поля, формуванні копиць або вивезенні до місця тимчасового зберігання.

Для господарств, які використовують грубі рослинні рештки як підстилковий матеріал, сировину для компостування, енергетичну біомасу або елемент протиерозійного захисту, важливо зменшити ручну працю під час навантаження та перевезення копиць. Традиційне переміщення волокушами, фронтальними навантажувачами або декількома окремими транспортними засобами ускладнює організацію робіт, потребує додаткових тракторів і збільшує ущільнення ґрунту.

Удосконалення комплексу машин для вирощування соняшнику доцільно виконувати за рахунок введення самонавантажувального копновозу. Така машина поєднує операції підбирання, захвату, піднімання, транспортування та розвантаження копиці, завдяки чому скорочується кількість допоміжних агрегатів і зменшується тривалість звільнення поля після збирання.

Конструктивне опрацювання копновозу повинне враховувати специфіку соняшникової маси: вона має більшу жорсткість порівняно із соломою зернових, утворює менш однорідні копиці, може містити фрагменти

товстих стебел і важче ущільнюється. Тому захватний механізм, вантажонесучі пальці та елементи рами повинні забезпечувати достатню міцність, стійке утримання копиці та можливість роботи на полі з нерівною поверхнею.

Основні вимоги до технологічного процесу збирання та транспортування рослинної маси соняшнику можна сформулювати так:

- 1) забезпечення повного підбирання сформованої копиці без її руйнування та значного розсипання;
- 2) мінімальне забруднення рослинної маси ґрунтом під час навантаження і перевезення;
- 3) можливість роботи агрегату на краю поля та всередині загінки за різних схем розміщення копиць;
- 4) зменшення кількості проходів техніки полем і збереження структури ґрунту;
- 5) зручне розвантаження в місці складування, компостування або подальшого подрібнення біомаси;
- 6) простота конструкції, ремонтпридатність і можливість агрегування з тракторами, наявними у господарстві.

3.2. Аналіз технологічних схем поводження з рослинними рештками соняшнику

У виробничій практиці застосовують декілька підходів до післязбирального поводження з рослинною масою соняшнику. Вибір схеми залежить від призначення решток, технічної оснащеності підприємства, відстані перевезення, стану поля та потреби у швидкому виконанні наступних агротехнічних операцій. Порівняльну характеристику основних схем наведено в таблиці 3.1.

Найбільш придатною для умов господарства є схема, за якої рослинна маса після збирання соняшнику формується у копиці, а потім вивозиться самонавантажувальним копновозом. Її перевага полягає в тому, що комбайн

не очікує транспортних засобів, а операцію переміщення копиць можна виконувати у більш зручний час, не обмежуючи темп збирання насіння.

Таблиця 3.1 – Порівняння технологічних схем поводження з рослинною масою соняшнику

Технологічна схема	Комплекс машин та операцій	Оцінка доцільності застосування
Подрібнення і розкидання по полю	Комбайн із подрібнювачем, подальше дискування або мульчування	Найпростіша схема для повернення органічної маси у ґрунт. Недолік — висока жорсткість стебел може ускладнювати наступний обробіток.
Формування валків і подальше підбирання	Комбайн або подрібнювач-валкоутворювач, підбирач, причіп або транспортний засіб	Доцільна за потреби використання біомаси. Вимагає злагодженої роботи підбиральної та транспортної ланок.
Збирання у копиці з подальшим вивезенням	Копноутворювач, самонавантажувальний копновіз, місце складування	Дозволяє розділити процес збирання насіння та вивезення решток у часі, зменшити простої комбайна і скоротити кількість допоміжних машин.
Вивезення фронтальним навантажувачем	Трактор із навантажувачем, причіп, додатковий трактор для перевезення	Застосовується за відсутності спеціальної машини, однак має більші затрати праці й часу, особливо за значної кількості копиць.

Великі копиці доцільно розміщувати рядами на краю поля або в межах загінки з таким інтервалом, щоб копновіз міг зайти заднім ходом, розвести захвати та повністю охопити масу в межах П-подібної рами. За вузьких загінок або нерівномірного розміщення копиць їх бажано формувати у шаховому порядку. Це зменшує ризик пошкодження сусідньої копиці відкритими захватами і полегшує маневрування агрегату.

На відміну від волокуші, самонавантажувальний копновіз не тягне масу по поверхні поля, а піднімає її вантажонесучими пальцями. Завдяки цьому зменшується забруднення землею, обмежуються втрати рослинної маси і

підвищується якість матеріалу, який може бути використаний для компостування, підстилки або енергетичних потреб.

3.3. Обґрунтування конструкції самонавантажувального копновозу

Самонавантажувальний копновіз пропонується як причіпна машина до трактора тягового класу 30 кН. Його призначення полягає у підбиранні копиць рослинної маси соняшнику, їх утриманні під час руху, транспортуванні до місця складування та контрольованому розвантаженні. Конструктивно машина повинна мати достатньо великий внутрішній простір для розміщення копиці, але водночас залишатися маневровою під час роботи на полі.

Базовим елементом є П-подібна несуча рама, яка утворює відкритий контур для заїзду на копицю заднім ходом. Така схема дає змогу не використовувати окремий навантажувач: копиця потрапляє всередину рами, після чого захвати заводять вантажонесучі пальці під її основу, а ходова система піднімає машину на транспортне положення.

Для підвищення придатності машини до роботи з соняшниковою масою запропоновано змінити геометрію вильчастих захватів. Один бік захвата доцільно виконати дещо коротшим, а інший — подовженим. Асиметрична форма полегшує захід у копицю, зменшує пошкодження сусідніх копиць під час роботи в рядку та сприяє щільнішому укладанню матеріалу в місці складування.

Важливою умовою стабільної роботи є синхронність переміщення правого і лівого захватів. Для цього в гідролінії менш навантаженої сторони передбачено регулювальний дросель, який вирівнює швидкість повороту важелів. Таке рішення запобігає перекосу копиці, знижує навантаження на кронштейни та підвищує безпеку агрегаткування.



Рис. 3.1. Узагальнена схема самонавантажувального копновозу для транспортування копиць рослинної маси

Основні вузли машини подано в таблиці 3.2. Їх функції визначаються послідовністю технологічного процесу: під'їзд до копиці, захват, піднімання, перевезення, розвантаження і повернення в робоче положення.

Таблиця 3.2 – Основні складові самонавантажувального копновозу

№	Конструктивний елемент	Функціональне призначення
1	П-подібна рама	Сприймає основні навантаження, формує вантажний контур і забезпечує заїзд на копицю.
2	Задні опорні колеса	Підтримують машину під час транспортування та забезпечують стійкість агрегату.
3	Передні самоорієнтовні колеса	Полегшують маневрування та компенсують нерівності поверхні поля.
4	Поворотні балки вильчастих захватів	Розкриваються перед заїздом на копицю і змикаються для її утримання.
5	Вантажонесучі пальці	Підхоплюють копицю знизу та не допускають її випадання під час руху.
6	Передній щит	Обмежує зміщення маси вперед під час транспортування.
7	Бокові стінки	Утримують копицю в межах кузова та зменшують розсипання матеріалу.
8	Задні самовідкривні стулки	Забезпечують захід на копицю та контрольоване розвантаження.
9	Гідроциліндри	Керують захватами, положенням ходової системи та висотою піднімання рами.

3.4. Принцип роботи модернізованого копновозу

Підготовка до захвату. Тракторист підводить агрегат до копиці таким чином, щоб задня відкрита частина машини була спрямована до торця копиці. Перед заїздом копновіз переводять у нижнє положення, задні стулки відкривають, а вильчасті захвати розводять у сторони.

Заїзд на копицю. Агрегат рухається заднім ходом до повного входження копиці в контур П-подібної рами. Швидкість руху повинна бути мінімальною, оскільки різке зіткнення з масою може порушити форму копиці або створити ударне навантаження на раму.

Захват і піднімання. Після зупинки вильчасті захвати зводять до робочого положення. Вантажонесучі пальці заходять під нижню частину копиці, а бокові стінки обмежують її поперечне зміщення. Далі гідросистема піднімає копновіз у транспортне положення.

Транспортування. Копиця переміщується до місця складування, компостування або подальшого використання. Під час руху передній щит, бокові стінки і задні стулки утримують масу в межах кузова.

Розвантаження. У місці вивантаження машина опускається, стулки відкриваються, захвати розводяться, після чого агрегат повільно виїжджає вперед, залишаючи копицю на майданчику. За потреби копиці ущільнюють або укладають у штабель іншою технікою.

Раціональна організація роботи передбачає попереднє планування місць розташування копиць. Коли довжина гону значна, допускається формування проміжних рядів усередині поля, однак відстані між ними повинні забезпечувати безпечний розворот трактора з копновозом. У випадку роботи на краю поля копиці слід розташовувати так, щоб навантаження виконувалося без зайвих маневрів.

Оскільки соняшникові стебла мають підвищену жорсткість, гідропривід захватів повинен працювати плавно. Надмірно швидке змикання може спричинити руйнування копиці, а надто повільне — знизити

продуктивність агрегату. Тому дроселювання потоку робочої рідини є виправданим конструктивним заходом.

3.5. Конструктивні переваги запропонованої модернізації

- Поєднання функцій навантажувача і транспортного засобу в одній машині зменшує потребу у додаткових агрегатах.
- Піднімання копиці над поверхнею поля знижує забруднення рослинної маси ґрунтом.
- Асиметричні вильчасті захвати полегшують роботу в рядках копиць і зменшують ризик руйнування сусідніх копиць.
- П-подібна рама спрощує захід на копицю та забезпечує достатній внутрішній простір для рослинної маси.
- Гідравлічне керування основними механізмами дає можливість виконувати цикл навантаження без ручної праці.
- Використання самонавантажувального копновозу прискорює звільнення поля і дає змогу раніше розпочати післязбиральний обробіток ґрунту.

Орієнтовні організаційно-технологічні параметри роботи агрегату наведено в таблиці 3.3. Вони можуть уточнюватися залежно від урожайності соняшнику, вологості рослинної маси, розміру копиць, рельєфу поля та відстані перевезення.

Таблиця 3.3 – Організаційні параметри використання самонавантажувального копновозу

Показник	Рекомендоване або розрахункове значення	Примітка
Агрегаткування	трактор тягового класу 30 кН	Можливе використання трактора аналогічної потужності.
Розміщення копиць	у ряд або шаховим порядком	Вибір залежить від ширини заїмки та можливості маневрування.

Робочий цикл	під'їзд – захват – піднімання – перевезення – розвантаження	Усі основні операції виконуються механізовано.
Тип захватів	вильчасті, асиметрично подовжені	Підвищують зручність захвату і щільність укладання копиць.
Керування робочими органами	гідравлічне	Дросель забезпечує вирівнювання швидкості руху захватів.
Напрямок руху під час навантаження	заднім ходом	Копиця входить у контур П- подібної рами.

3.6. Розрахунок міцності зварного шва кронштейна

Найбільш навантаженими деталями захватного механізму є кронштейни, за допомогою яких поворотні балки та гідроциліндри з'єднуються з рамою. Під час захвату копиці вони сприймають зусилля від маси рослинного матеріалу, реакції вантажонесучих пальців і динамічні навантаження, що виникають під час руху нерівним полем. Тому перевірка зварного шва кронштейна є обов'язковою частиною конструктивного розрахунку.

Кронштейн приварюється до швелера накладним кутовим швом. Для розрахунку приймаємо, що незалежно від просторового розташування шва його небезпечним перерізом є бісекторний переріз кутового шва. Розрахунок виконуємо за умовою зрізу.

Вихідні дані для розрахунку:

- довжина зварного шва $L = 100 \text{ мм} = 0,10 \text{ м}$;
- катет шва $k = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$;
- розтягувальне зусилля у з'єднанні $Q = 8 \text{ кН} = 8000 \text{ Н}$;
- тип зварювання – ручне дугове електродом типу Е50;
- матеріал деталей – сталь Ст3 або близька за механічними властивостями конструкційна сталь;
- допустиме напруження при розтягу $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

Розрахункова площа небезпечного перерізу кутового шва визначається за формулою:

$$S_{\text{ш}} = 0,7 \cdot k \cdot L, \quad (3.1)$$

де k – катет шва, м; L – довжина шва, м; $0,7 \cdot k$ – умовна висота бісекторного перерізу кутового шва.

Підставляючи вихідні дані, отримаємо:

$$S_{\text{ш}} = 0,7 \cdot 0,005 \cdot 0,10 = 0,00035 \text{ м}^2.$$

Напруження зрізу в шві визначаємо за залежністю:

$$\tau = Q / S_{\text{ш}} = Q / (0,7 \cdot k \cdot L). \quad (3.2)$$

Тоді фактичне напруження становитиме:

$$\tau = 8000 / 0,00035 = 22,86 \cdot 10^6 \text{ Па} = 22,86 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження зрізу для зварного шва приймаємо як частку від допустимого напруження при розтягу:

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] = 0,6 \cdot 160 = 96 \text{ МПа}. \quad (3.3)$$

Умова міцності має вигляд:

$$\tau \leq [\tau].$$

Оскільки $22,86 \text{ МПа} < 96 \text{ МПа}$, зварний шов кронштейна витримає задане навантаження. Коефіцієнт запасу міцності за напруженнями дорівнює:

$$n = [\tau] / \tau = 96 / 22,86 = 4,20.$$

Отримане значення коефіцієнта запасу свідчить, що прийняті розміри шва є достатніми для роботи кронштейна в заданих умовах. Разом із тим під час виготовлення машини необхідно забезпечити суцільність шва, відсутність підрізів, непроварів і пор, оскільки дефекти зварювання різко знижують фактичну несучу здатність з'єднання.

Висновки до конструктивного розділу

У конструктивному розділі обґрунтовано доцільність застосування самонавантажувального копновозу в комплексі машин для вирощування соняшнику. Машина призначена для механізованого підбирання,

транспортування та розвантаження копиць рослинної маси, що утворюється після збирання культури.

Запропонована конструкція базується на П-подібній рамі, вильчастих захватах, вантажонесучих пальцях, гідрокерованій ходовій системі та задніх самовідкривних стулках. Така компоновка дозволяє виконувати навантаження без окремого фронтального навантажувача і зменшує кількість допоміжних операцій.

Для адаптації машини до умов роботи з соняшnikовою масою запропоновано асиметричне виконання вильчастих захватів і встановлення дроселя у гідролінії для синхронізації їх переміщення. Це покращує захват копиці, зменшує пошкодження сусідніх копиць та підвищує стабільність роботи агрегату.

Розрахунок зварного шва кронштейна показав, що фактичне напруження зрізу становить 22,86 МПа за допустимого 96 МПа. Коефіцієнт запасу міцності дорівнює 4,20, тому прийнята конструкція зварного з'єднання може вважатися працездатною за заданих навантажень.

Впровадження самонавантажувального копновозу сприятиме скороченню строків післязбирального очищення поля, зменшенню ручної праці, обмеженню забруднення рослинної маси ґрунтом і підвищенню загальної ефективності комплексу машин для вирощування соняшнику.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто комплекс питань, пов'язаних із підвищенням ефективності механізованого виробництва соняшнику в умовах Лісостепу Житомирської області. Актуальність роботи зумовлена важливим значенням соняшнику для аграрного сектору України, значними площами його вирощування, високим попитом на насіння та необхідністю зниження виробничих витрат шляхом раціонального використання сучасної техніки.

У першому розділі було проаналізовано існуючі технології вирощування соняшнику в Україні та світі, розглянуто динаміку посівних площ, рівень механізації основних технологічних операцій і сучасні напрями розвитку машинних технологій. Встановлено, що базові операції вирощування соняшнику, зокрема обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист рослин і збирання врожаю, мають високий рівень механізації, проте значний резерв підвищення ефективності полягає у впровадженні цифрового моніторингу, роботизованих агрегатів і точного землеробства. Особливо перспективним є використання безпілотних літальних апаратів зі штучним інтелектом, які дають змогу оперативно оцінювати стан посівів, виявляти бур'яни, пошкодження, нестачу вологи, нерівномірність розвитку рослин і приймати обґрунтовані управлінські рішення.

У другому розділі розроблено технологію вирощування соняшнику на площі 200 га для умов Лісостепу Житомирської області. Складено технологічну карту, у якій передбачено виконання всіх основних операцій: лущення стерні, основний і передпосівний обробіток ґрунту, внесення мінеральних добрив, сівбу, догляд за посівами, моніторинг, боротьбу з бур'янами, захист рослин, збирання врожаю та післязбиральні транспортно-навантажувальні роботи. Для виконання технологічних операцій підібрано сучасні енергонасичені трактори, високопродуктивні ґрунтообробні агрегати, точні сівалки, самохідні обприскувачі, зернозбиральні комбайни, БПЛА для моніторингу та роботизований засіб для механічної боротьби з бур'янами.

Розроблений графік завантаження техніки показав можливість своєчасного виконання робіт у встановлені агротехнічні строки та раціонального використання машинно-тракторного парку.

Важливим напрямом удосконалення технології вирощування соняшнику визначено поєднання традиційної механізації з елементами цифровізації та роботизації. Використання БПЛА зі штучним інтелектом дозволяє підвищити точність контролю за станом посівів, зменшити витрати на обстеження полів і своєчасно виявляти проблемні ділянки. Застосування робота для боротьби з бур'янами дає змогу зменшити хімічне навантаження на ґрунт, скоротити витрати гербіцидів і підвищити екологічність виробництва. Такі рішення відповідають сучасним вимогам ресурсозбереження, сталого землеробства та підвищення конкурентоспроможності аграрного підприємства.

У конструктивній частині роботи обґрунтовано необхідність розробки самонавантажувального копновозу як спеціалізованого засобу для виконання транспортно-навантажувальних операцій. Запропонована конструкція дозволяє поєднати підбирання, захват, піднімання, транспортування та розвантаження копиць або рослинних решток без залучення додаткового навантажувача. Це сприяє зменшенню кількості проходів техніки полем, скороченню затрат праці, підвищенню продуктивності робіт і швидшому звільненню поля після збирання врожаю. Використання самонавантажувального копновозу є доцільним елементом удосконаленого комплексу машин, оскільки він підвищує організованість післязбиральних робіт і покращує логістику переміщення рослинної маси.

Отже, у роботі запропоновано технічно й технологічно обґрунтований комплекс машин для вирощування соняшнику, який поєднує сучасні механізовані агрегати, цифровий моніторинг, роботизований догляд за посівами та спеціалізований самонавантажувальний транспортний засіб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рослинництво : підручник / В. В. Лихочвор, В. Ф. Петриченко, П. В. Іващук, О. В. Корнійчук. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
2. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України / за ред. М. В. Зубця. Київ : Аграрна наука, 2010. 980 с.
3. Технологія виробництва продукції рослинництва : підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко. Київ : Аграрна освіта, 2001. 591 с.
4. Барабаш Г. І., Бойко А. І., Кравчук В. І. Машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. Київ : Урожай, 2002. 328 с.
5. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилюк, В. М. Барановський та ін. Київ : Каравела, 2015. 552 с.
6. Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В. Оптимізація комплексів машин і структури машинно-тракторного парку та планування технічного сервісу. Київ : НАУ, 2004. 85 с.
7. Борак К.В., Савченко В.М., Корнійчук Ю.М. Робототехнічні засоби в рослинництві. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–18 жовтня 2025 року). Київ. НУБІП України. С. 589-601.
8. ДСТУ 4694:2006. Соняшник. Олійна сировина. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 12 с.
9. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 20 с.
10. Сільське господарство України : статистичний збірник. Київ : Державна служба статистики України, 2024. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 25.06.2026).

11. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Офіційний вебсайт. URL: <https://minagro.gov.ua> (дата звернення: 25.06.2026).
12. Заєць М. Л. Проектування машинних агрегатів і технологічної лінії збирання та післязбиральної обробки врожаю соняшника / М. Л. Заєць, Д. О. Баранівський // «Передові технології виробництва і переробки сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою й електричною енергією. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся»: зб. тез VI Всеукр. наук.-практ. Конф., 24 лист. 2016 р. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – С. 88-94.
13. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
14. Сидякіна О. В. Соняшник: сучасний стан, проблеми та перспективи вирощування. Таврійський науковий вісник. 2024. № 136. С. 126–134.
15. FAOSTAT. Crops and livestock products: sunflower seed area, yield and production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (date of access: 25.06.2026).
16. USDA Foreign Agricultural Service. Oilseeds: World Markets and Trade. Washington : USDA FAS, 2026. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf> (date of access: 25.06.2026).
17. OECD-FAO Agricultural Outlook 2024–2033. Paris : OECD Publishing ; Rome : FAO, 2024. URL: <https://www.oecd.org/agriculture/oecd-fao-agricultural-outlook/> (date of access: 25.06.2026).
18. Schneiter A. A. Sunflower Technology and Production. Madison : American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1997. 834 p.

19. Connor D. J., Hall A. J. Sunflower physiology. Sunflower Technology and Production / ed. by A. A. Schneiter. Madison : ASA, CSSA, SSSA, 1997. P. 113–182.
20. Seiler G. J., Gulya T. J. Sunflower: overview. Encyclopedia of Food Grains. 2nd ed. Oxford : Academic Press, 2016. P. 247–253.
21. Slaughter D. C., Giles D. K., Downey D. Autonomous robotic weed control systems: a review. Computers and Electronics in Agriculture. 2008. Vol. 61, № 1. P. 63–78.
22. Zhang C., Kovacs J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precision Agriculture. 2012. Vol. 13. P. 693–712.
23. Mogili U. R., Deepak B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture. Procedia Computer Science. 2018. Vol. 133. P. 502–509.
24. Barbedo J. G. A. A review on the use of unmanned aerial vehicles and imaging sensors for monitoring and assessing plant stresses. Drones. 2019. Vol. 3, № 2. Article 40.
25. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M. J. Big Data in Smart Farming — A review. Agricultural Systems. 2017. Vol. 153. P. 69–80.
26. DJI Agriculture. DJI Mavic 3 Multispectral. URL: <https://ag.dji.com/mavic-3-m> (date of access: 25.06.2026).
27. FarmDroid. FarmDroid FD20: autonomous seeding and weeding robot. URL: <https://farmdroid.com> (date of access: 25.06.2026).
28. Väderstad. Tempo precision seed drills. URL: <https://www.vaderstad.com> (date of access: 25.06.2026).
29. CLAAS. LEXION combine harvesters. URL: <https://www.claas.com> (date of access: 25.06.2026).
30. John Deere. Agricultural tractors and precision agriculture technologies. URL: <https://www.deere.com> (date of access: 25.06.2026).

31. National Sunflower Association. Sunflower production guide. URL: <https://www.sunflowernsa.com> (date of access: 25.06.2026).