

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Крижанівський Максим Сергійович

УДК 631.358.442

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення комплексу машин для виробництва
картоплі з модернізацією однорядного картоплекопача**

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
_____ Крижанівський М.С.

Керівник роботи

Дерев’янка Д.А.

доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Крижанівський Максим Сергійович. Удосконалення комплексу машин для виробництва картоплі з модернізацією однорядного картоплекопача. – 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 підвищення ефективності механізованого вирощування та збирання картоплі. Проаналізовано сучасний стан технологій виробництва картоплі, динаміку посівних площ в Україні та світі, а також рівень механізації основних технологічних операцій. Обґрунтовано доцільність застосування сучасного комплексу машин для умов Полісся Житомирської області з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей зони. Розроблено технологію вирощування картоплі на площі 75 га та складено технологічну карту виконання основних виробничих операцій. У роботі передбачено використання БПЛА для моніторингу стану посівів, агродронів для обприскування та роботизованих засобів для боротьби з бур'янами. У конструктивній частині запропоновано модернізацію однорядного картоплекопача, спрямовану на покращення роботи лемеша, ротора та привідного механізму. Запропоновані технічні рішення дають змогу зменшити пошкодження бульб, знизити енергетичні витрати, підвищити надійність машини та якість збирання врожаю. Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленого комплексу машин і модернізованого картоплекопача в сільськогосподарських підприємствах, що спеціалізуються на виробництві картоплі.

Ключові слова: картопля, комплекс машин, технологія вирощування, однорядний картоплекопач, БПЛА, роботизація.

ANNOTATION

Maksym Serhiyovych Kryzhanivskyi. Improvements to a set of machines for potato production, including the modernisation of a single-row potato harvester. – 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 ways of improving the efficiency of mechanised potato cultivation and harvesting. It analyses the current state of potato production technologies, trends in cultivated areas in Ukraine and worldwide, and the level of mechanisation of key production operations. The feasibility of using a modern range of machinery for the conditions of the Polissya region in Zhytomyr Oblast is justified, taking into account the soil and climatic characteristics of the area. A potato cultivation technique has been developed for an area of 75 hectares, and a flowchart detailing the main production operations has been drawn up. The study envisages the use of UAVs to monitor crop conditions, agricultural drones for spraying, and robotic equipment for weed control. The design section proposes the modernisation of a single-row potato harvester, aimed at improving the performance of the ploughshare, rotor and drive mechanism. The proposed technical solutions make it possible to reduce damage to tubers, lower energy consumption, and improve the machine's reliability and the quality of the harvest. The practical significance of this work lies in the potential for the developed machinery complex and the modernised potato harvester to be used on agricultural enterprises specialising in potato production.

Keywords: potatoes, machine complex, cultivation technology, single-row potato harvester, UAV, robotisation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ.....	8
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	17
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА.....	30
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Картопля є однією з найважливіших продовольчих культур в Україні та світі, оскільки широко використовується у харчуванні населення, переробній промисловості та кормовиробництві. В умовах сучасного аграрного виробництва підвищення ефективності вирощування картоплі значною мірою залежить від правильного добору комплексу машин, раціональної організації технологічних операцій, зменшення витрат праці, пального та часу на виконання польових робіт. Особливого значення це набуває для зони Полісся, де ґрунтово-кліматичні умови є сприятливими для вирощування картоплі, однак потребують якісного обробітку ґрунту, своєчасного садіння, догляду за посівами та обережного збирання врожаю.

Однією з найбільш трудомістких і відповідальних операцій у технології виробництва картоплі є збирання. Саме під час викопування виникає значна частка механічних пошкоджень бульб, втрат урожаю та додаткових витрат на ручне доочищення і підбирання продукції. У малих і середніх господарствах досить часто застосовують однорядні картоплекопачі, які відзначаються простотою конструкції, доступністю та можливістю агрегування з тракторами невеликого тягового класу. Проте існуючі конструкції таких машин не завжди забезпечують достатню якість підкопування, сепарації ґрунту та мінімальне пошкодження бульб, що зумовлює необхідність їх удосконалення.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення ефективності комплексу машин для виробництва картоплі шляхом модернізації однорядного картоплекопача та впровадження сучасних технічних засобів у технологічний процес. До таких засобів належать енергоощадні трактори, високопродуктивні ґрунтообробні та садильні агрегати, роботизовані системи для боротьби з бур'янами, а також безпілотні літальні апарати для моніторингу стану посівів і виконання обприскування. Використання елементів роботизації та штучного інтелекту дає змогу оперативно контролювати стан рослин, виявляти

проблемні ділянки поля, зменшувати хімічне навантаження на агроценоз і підвищувати точність виконання технологічних операцій.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення комплексу машин для виробництва картоплі в умовах Полісся Житомирської області з модернізацією однорядного картоплекопача для підвищення якості збирання, зменшення пошкодження бульб і поліпшення техніко-економічних показників технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань: проаналізувати існуючі технології вирощування картоплі в Україні та світі; оцінити рівень механізації основних операцій виробництва картоплі; визначити можливості застосування роботизованих засобів, БПЛА та штучного інтелекту в технології вирощування; розробити технологію вирощування картоплі для умов Полісся Житомирської області; скласти технологічну карту виробництва картоплі на площі 75 га; підібрати сучасний комплекс машин для виконання технологічних операцій; обґрунтувати конструктивне удосконалення однорядного картоплекопача; виконати розрахунки основних параметрів модернізованої машини.

Об'єктом дослідження є технологічний процес механізованого вирощування та збирання картоплі в умовах сільськогосподарського підприємства Полісся Житомирської області.

Предметом дослідження є комплекс машин для виробництва картоплі та конструктивно-технологічні параметри модернізованого однорядного картоплекопача.

У роботі **використано методи** аналізу існуючих технологій і технічних засобів, порівняльної оцінки машин, технологічного проєктування, інженерних розрахунків, графічного моделювання та узагальнення виробничого досвіду. Основну увагу приділено підбору раціонального машинно-тракторного парку, зменшенню енергоємності процесу збирання та підвищенню якості роботи картоплекопача.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Білецький В.Р., Шмагун М.О., Островський О.Ю., **Крижанівський М.С.**, Скок М.С. Перспективні способи внесення мінеральних добрив. 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/bileckyj_26-3.pdf (дата звернення 02.06.2026).

2. Дерев'янка Д.А., Гмир І.В., Крижанівський М.С., Хоменко С.М., Данилюк Н.О. Сучасні тенденції розвитку машинно-технологічних комплексів у рослинництві. 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. 113-115.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованої технології та модернізованого однорядного картоплекопача в господарствах, що займаються вирощуванням картоплі на невеликих і середніх площах. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення продуктивності праці, зниження експлуатаційних витрат, зменшення втрат урожаю та покращення якості зібраної продукції. Впровадження сучасних засобів моніторингу, роботизації та механізації дозволяє сформувати більш ефективну, ресурсозберігаючу та екологічно орієнтовану технологію виробництва картоплі.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 30 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінок комп'ютерного тексту, містить 16 рисунків, 15 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ

1.1. Значення картоплі та загальна характеристика технологій її виробництва

Картопля є однією з базових продовольчих культур, яка поєднує високу енергетичну цінність, короткий вегетаційний період і здатність формувати значний урожай з одиниці площі. За даними Міжнародного центру картоплі, понад один мільярд людей у світі регулярно споживають картоплю, а сама культура належить до найважливіших харчових культур за обсягами споживання [1]. Для України картопля має подвійне значення: вона є продуктом щоденного харчування населення і водночас культурою, яка може формувати додану вартість через промислове виробництво насіннєвого матеріалу, крохмалю, чипсів, заморожених напівфабрикатів та фасованої продукції.

Сучасна технологія вирощування картоплі охоплює систему взаємопов'язаних операцій: підбір сорту й насіннєвого матеріалу, підготовку ґрунту, садіння, формування гребенів, удобрення, захист від бур'янів, шкідників і хвороб, зрошення, моніторинг стану рослин, збирання, первинне очищення, сортування та закладання на зберігання. Кожна операція впливає на кінцеву врожайність, товарність і збереженість бульб. Особливе значення має збирання, адже саме на цій стадії виникає значна частка механічних пошкоджень і польових втрат, що знижує придатність картоплі до тривалого зберігання.

У практиці картоплярства застосовують кілька технологічних підходів. Традиційна технологія залишається поширеною у присадибному та дрібнотоварному виробництві. Інтенсивна технологія характерна для спеціалізованих підприємств, де використовують сертифіковане насіння, спеціалізовані саджалки, гребенеутворювачі, обприскувачі, комбайни, сховища з керованим мікрокліматом. Ресурсозберігаючі та точні технології спираються на GPS-навігацію, картування ґрунтів, контроль вологості, диференційоване внесення добрив і цифровий моніторинг посівів. Саме перехід від “площинної” моделі

виробництва до керованої технології є основою підвищення ефективності картоплярства.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика технологій вирощування картоплі

Технологія	Типові умови застосування	Переваги	Недоліки	Доцільні машини та цифрові рішення
Традиційна	Домогосподарства, невеликі ділянки	Низькі початкові витрати, гнучкість	Висока частка ручної праці, нестабільна якість	Мотоблоки, однорядні саджалки й копачі
Інтенсивна	Спеціалізовані господарства	Вища врожайність і товарність	Потребує інвестицій у техніку та сховища	Саджалки, гребенуєтворювачі, комбайни, сортувальні лінії
Ресурсозберігаюча	Поля з ризиком ерозії та дефіцитом вологи	Економія пального, води й добрив	Потребує точного дотримання агровимог	Мінімальний обробіток, краплинне зрошення, датчики вологості
Органічна	Господарства з сертифікованим виробництвом	Вища екологічна цінність продукції	Складний захист від фітофторозу та шкідників	Механічні прополювачі, біопрепарати, сівозміна
Точне землеробство	Промислові та інноваційні ферми	Контроль неоднорідності поля, менші втрати	Потребує даних і кваліфікованого персоналу	GPS, БПЛА, AI-аналітика, диференційне внесення

Залежно від рівня технічного забезпечення технологія може мати різну трудомісткість. Найбільш трудомісткими операціями залишаються ручний підбір бульб після копання, сортування, видалення домішок, локальний контроль бур'янів і візуальна оцінка стану рослин. Тому навіть часткова механізація збирання за допомогою модернізованого однорядного картоплекопача є важливою для малих і середніх виробників, які не можуть економічно обґрунтувати придбання дорогого комбайна, але потребують зменшення ручної праці та втрат урожаю.

1.2. Динаміка посівних площ картоплі в Україні та світі

Динаміка площ під картоплею в Україні показує стійке скорочення посівів порівняно з початком 2010-х років. За узагальненими статистичними даними, у 2010 році площа становила близько 1408 тис. га, у 2019 році – 1309 тис. га, у 2020 році – 1325,4 тис. га, а в 2022-2024 роках стабілізувалася біля 1,2 млн га [4; 5; 6].

Основна причина такого процесу полягає не лише у зміні структури землекористування, а й у тому, що значна частина виробництва зосереджена в домогосподарствах. Така модель забезпечує продовольчу самодостатність населення, але обмежує технологічну стандартизацію, механізацію, контроль якості та можливості промислової переробки.

Таблиця 1.2 – Динаміка площі, виробництва та урожайності картоплі в Україні, 2010-2024 рр. (округлено)

Рік	Площа, тис. га	Виробництво, млн т	Урожайність, т/га
2010	1408	18.70	13.3
2011	1439	24.25	16.9
2012	1440	23.25	16.1
2013	1388	22.26	16.0
2014	1348	23.69	17.6
2015	1291	20.84	16.1
2016	1312	21.75	16.6
2017	1323	22.21	16.8
2018	1319	22.50	17.1
2019	1309	20.27	15.5
2020	1325.4	20.86	15.7
2021	1283	21.36	16.6
2022	1208	20.90	17.3
2023	1210	21.36	17.7
2024	1210	21.13	17.5

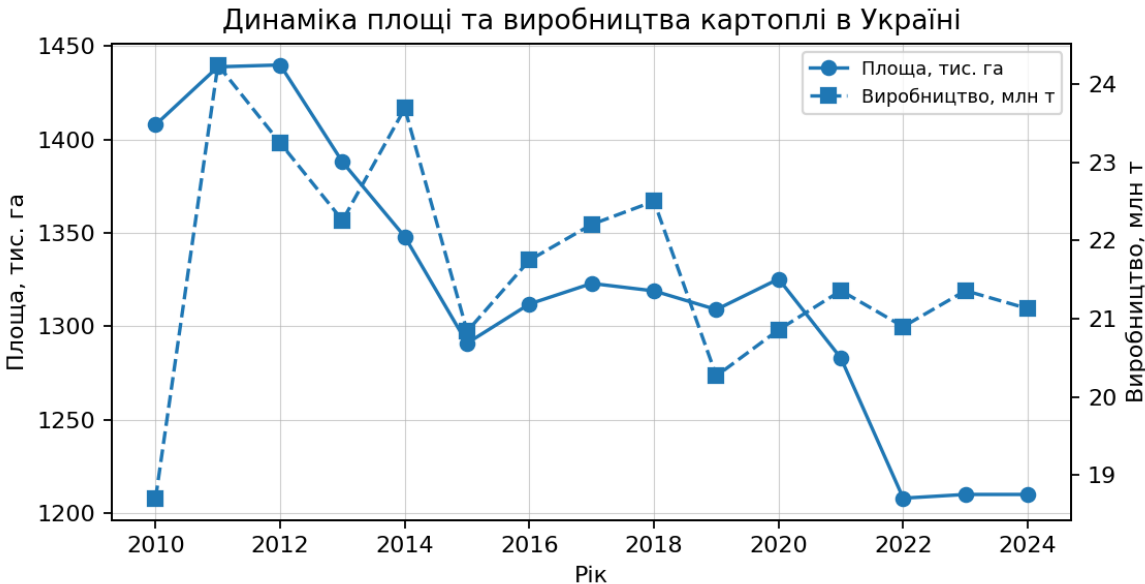


Рис. 1.1. Динаміка площі та виробництва картоплі в Україні.

Порівняння площі та виробництва свідчить, що зменшення площ не завжди супроводжується пропорційним скороченням валового збору. Це означає, що потенціал підвищення ефективності полягає у зростанні урожайності та товарності

продукції, а не у механічному розширенні посівів. Для України важливо скорочувати втрати у ланцюгу “поле - зберігання - реалізація”, підвищувати частку якісного насіннєвого матеріалу, збільшувати площі промислового картоплярства та впроваджувати сучасні засоби механізації.

У світовому масштабі площа збирання картоплі також не демонструє сталого швидкого зростання. За даними FAOSTAT, світова зібрана площа у 2024 році становила близько 17,08 млн га, а виробництво - 390,43 млн т; Азія забезпечила понад половину світового виробництва, Європа - близько чверті [2; 3]. Це підтверджує глобальну тенденцію: основне зростання виробництва забезпечується не розширенням площ, а підвищенням технологічності вирощування, кращою селекцією, точнішим управлінням живленням і водним режимом.

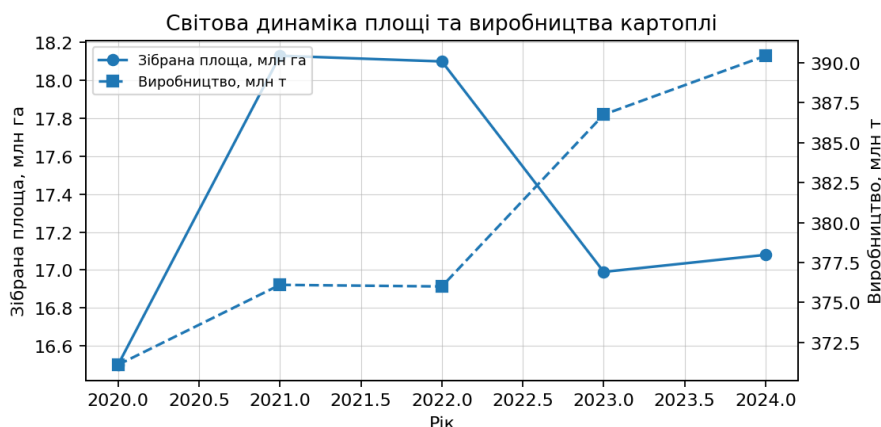


Рис. 1.2. Світова динаміка площі та виробництва картоплі.

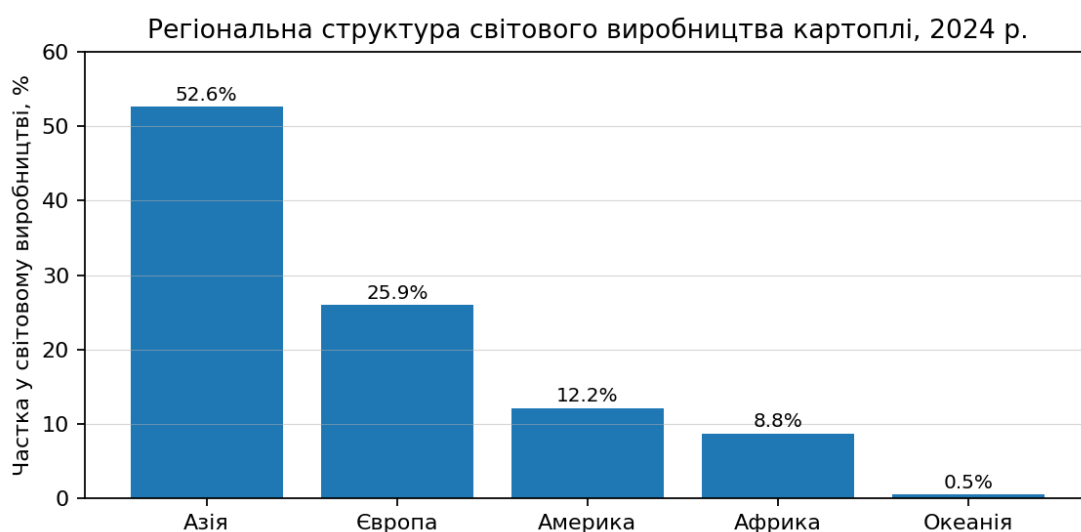


Рис. 1.3. Регіональна структура світового виробництва картоплі у 2024 році.

Для України ця тенденція є особливо важливою, оскільки країна залишається одним із найбільших виробників картоплі у світі, але середня урожайність істотно нижча за показники провідних промислових виробників. У наукових публікаціях зазначається, що низька середня урожайність пояснюється домінуванням домогосподарств, які мають менше можливостей для застосування сертифікованого насіння, зрошення, високопродуктивної техніки, сучасного зберігання та цифрового контролю посівів [6].

1.3. Рівень механізації процесів вирощування картоплі

Рівень механізації виробництва картоплі залежить від категорії господарства. У великих спеціалізованих підприємствах основні польові операції переважно механізовані: підготовка ґрунту виконується тракторами з ґрунтообробними агрегатами, садіння - картоплесаджалками, догляд - культиваторами, гребенеутворювачами й обприскувачами, збирання - копачами або комбайнами. Натомість у домогосподарствах і дрібнотоварному секторі частина операцій залишається ручною або напівмеханізованою, особливо підбір бульб, сортування та навантаження.

Структурна проблема українського картоплярства полягає у розриві між загальними площами та площами промислового виробництва. За даними досліджень, у 2020 році домогосподарства збирали картоплю на площах, що в десятки разів перевищували площі сільськогосподарських підприємств; площа підприємств становила лише близько 17,2 тис. га [6]. Це означає, що для значної частини виробників найдоцільнішими є не великі дорогі комбайни, а прості, надійні та енергоощадні машини малої і середньої продуктивності: однорядні саджалки, гребенеутворювачі, копачі, сортувальні столи, мобільні транспортери.

Таблиця 1.3 – Механізація та цифровізація основних операцій картоплярства

Операція	Типові технічні засоби	Рівень механізації	Можливості цифровізації
Підготовка ґрунту	дискування, оранка/глибоке розпушування, фрезерування	високий	GPS-навігація, контроль ущільнення ґрунту
Садіння	саджалки ложечкового, стрічкового або елеваторного типу	середній/високий	контроль пропусків, змінна норма садіння
Догляд за гребенями	культивування, підгортання, міжрядний обробіток	середній	камерне ведення агрегату, роботи-пропюльвачі
Захист рослин	штангові обприскувачі, локальне внесення	середній/високий	spot-spraying, карти бур'янів і хвороб
Моніторинг посівів	огляд поля, відбір проб	низький	БПЛА, мультиспектральні камери, AI-аналіз
Збирання	копачі, копачі-навантажувачі, комбайни	середній	контроль глибини, зменшення ударів і пошкоджень
Післязбиральна обробка	очищення, сортування, калібрування, зберігання	середній	машинний зір, автоматизоване сортування

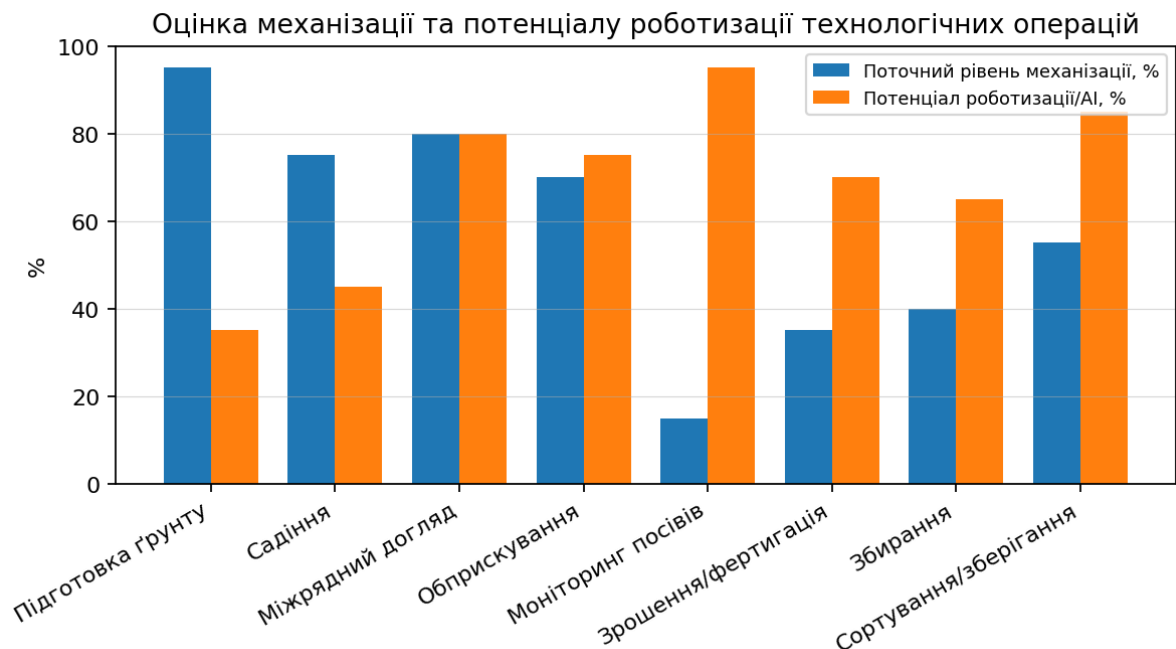


Рис. 1.4. Оціночний рівень механізації та потенціал роботизації технологічних операцій.

Найвищий рівень механізації характерний для енергонасичених операцій, які неможливо раціонально виконувати вручну: основний і передпосівний обробіток ґрунту, транспортування, внесення добрив. Найнижчий рівень механізації в малих господарствах спостерігається під час моніторингу посівів, ручного видалення домішок, підбору бульб після копання та сортування. Саме ці ділянки технологічного процесу мають найбільший резерв для впровадження роботизованих систем і штучного інтелекту.

1.4. Роботизація та штучний інтелект у технологіях виробництва картоплі

Роботизація картоплярства розвивається у двох основних напрямках: автоматизація польових операцій і цифрове прийняття рішень. До першого напрямку належать автономні або напівавтономні агрегати для міжрядного обробітку, локального знищення бур'янів, точного обприскування, збирання та сортування. До другого - системи збору даних із БПЛА, супутників, ґрунтових датчиків і метеостанцій з подальшим аналізом за допомогою алгоритмів машинного навчання. Огляд сучасних машин для збирання картоплі показує, що світові розробки дедалі більше орієнтуються на мехатроніку, інтелектуальні системи та IoT-рішення [8].

Для моніторингу полів доцільно застосовувати безпілотні літальні апарати з RGB, мультиспектральними або гіперспектральними камерами. Вони дозволяють визначати неоднорідність розвитку рослин, зони дефіциту вологи, пошкодження шкідниками, осередки хвороб, забур'яненість і порушення густоти стояння. На основі індексів рослинності та AI-класифікації можна формувати карти-завдання для диференційованого внесення добрив, локального обприскування або додаткового обстеження проблемних ділянок. Для картоплі це особливо актуально через ризик фітофторозу, альтернаріозу, колорадського жука та нерівномірного розвитку рослин у гребенях.

Штучний інтелект може виконувати функції раннього виявлення хвороб і шкідників за зображеннями листової поверхні або спектральними ознаками.

Наукові дослідження підтверджують перспективність використання БПЛА та гіперспектральних знімків для автоматизованого виявлення фітофторозу картоплі [9]. У виробничих умовах це дає змогу перейти від суцільного внесення пестицидів до локальної обробки зон ризику, зменшити витрати препаратів, знизити пестицидне навантаження і швидше реагувати на поширення хвороб.

Найбільш реалістичними для впровадження в українських умовах є не повністю автономні комплекси, а поетапна цифровізація: використання БПЛА для моніторингу, GPS-навігації для прямолінійності рядків, датчиків вологості для керування поливом, камер на агрегатах для ведення по рядку, а також автоматизованих сортувальних ліній після збирання. Такий підхід дає змогу підвищувати технологічний рівень без надмірного одноразового навантаження на господарство.

1.5. Проблеми існуючих технологій та напрями їх удосконалення

Аналіз існуючих технологій вирощування картоплі свідчить, що головні резерви підвищення ефективності пов'язані не з простим збільшенням площ, а з покращенням якості технологічних операцій. До основних проблем належать низька частка сертифікованого насіннєвого матеріалу, недостатній розвиток зрошення, застаріла техніка у дрібному секторі, висока трудомісткість збирання, нестача сучасних сховищ, слабка інтеграція даних про поле та невисока частка промислової переробки. У державній концепції розвитку промислового картоплярства підкреслено, що сертифікованої насіннєвої картоплі вистачало лише на невелику частку промислових площ, а промислове виробництво на зрошенні потребує суттєвого розширення [7].

Удосконалення технології вирощування картоплі доцільно здійснювати за такими напрямками: застосування районованих високопродуктивних сортів і якісного насіннєвого матеріалу; впровадження точного садіння із дотриманням глибини, густоти й прямолінійності рядків; оптимізація живлення на основі аналізу ґрунту; використання краплинного або дощувального зрошення; механізований та роботизований контроль бур'янів; цифровий моніторинг посівів; зменшення

механічних пошкоджень під час збирання; удосконалення післязбирального очищення, сортування й зберігання.

Для кваліфікаційної роботи, присвяченої модернізації однорядного картоплекопача, ключовим є напрям зменшення втрат і пошкоджень бульб під час збирання. Однорядний копач має бути простим, ремонтпридатним, агрегатуватися з тракторами малого тягового класу, забезпечувати регулювання глибини підкопування, ефективне руйнування бульбоносного шару та викладання картоплі на поверхню поля без надмірного травмування. Модернізація робочих органів, зокрема лемеша, сепаруючих і роторних елементів, дає змогу знизити тяговий опір, покращити відокремлення ґрунту і підвищити якість збирання.

Отже, перспективна технологія виробництва картоплі повинна поєднувати сучасні агротехнічні прийоми, доступну механізацію для малих і середніх господарств, цифровий моніторинг та елементи роботизації. Такий підхід дозволить підвищити урожайність, скоротити втрати, зменшити частку ручної праці й підготувати виробництво до переходу від переважно присадибної моделі до більш організованого, ринково орієнтованого та технологічно контрольованого картоплярства.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Метою технологічної частини є розроблення раціональної механізованої технології вирощування картоплі на площі 75 га для умов Полісся Житомирської області з урахуванням модернізованого однорядного картоплекопача, обґрунтованого в конструктивному розділі роботи. Проєктування виконано для господарства, яке орієнтується на виробництво продовольчої та насіннєвої картоплі з підвищеною часткою точного землеробства, роботизованого догляду та безпілотного моніторингу.

У технологічній схемі передбачено поєднання класичних агротехнічних прийомів Полісся з сучасними цифровими засобами: мультиспектральним БПЛА для моніторингу стану рослин, агродроном для локального внесення робочих розчинів, автономним роботом для механічного контролю бур'янів і модернізованим однорядним копачем для викопування бульб. Такий підхід дає змогу зменшити ущільнення ґрунту, скоротити витрати пального на окремих операціях, підвищити оперативність захисту рослин і знизити частку ручних робіт.

Розрахунки виконано для площі 75 га, ширини міжрядь 0,70-0,75 м, норми садіння 3,0 т/га та планової врожайності 28 т/га. За цих умов валовий збір бульб може становити близько 2100 т, а потреба в насіннєвому матеріалі - приблизно 225 т. Технологія враховує підвищену зволоженість окремих ділянок Полісся, ризик переущільнення легких дерново-підзолистих ґрунтів, високу чутливість картоплі до нестачі доступного калію та необхідність своєчасного захисту від фітофторозу.

2.1. Вихідні умови проєктування технології

Полісся Житомирської області характеризується поширенням дерново-підзолистих, супіщаних і легкосуглинкових ґрунтів, які швидко прогріваються навесні, але мають обмежену буферність щодо поживних речовин та вологи. Для картоплі це є перевагою на етапі раннього старту вегетації, однак потребує

системного внесення органічних добрив, калію, магнію та підтримання оптимальної структури гребеня. При надлишковому зволоженні необхідно уникати запізнення з обробітком, а при літніх посухах - оперативно оцінювати стрес рослин за допомогою дистанційного зондування.

Проектована технологія приймає за основу гребеневе вирощування з міжряддям 75 см. Така схема забезпечує достатній об'єм пухкого ґрунту для формування гнізда бульб, дає змогу використовувати стандартні саджалки, підгортачі та модернізований однорядний копач, а також полегшує рух робота в міжряддях. Для зменшення ризику ерозії на легких ґрунтах і втрати вологи застосовується мінімальна кількість проходів важких агрегатів після садіння, а основні операції догляду частково передаються роботизованим та безпілотним системам.

Таблиця 2.1 – Вихідні умови проектування технології вирощування картоплі

Показник	Прийняте значення	Вплив на технологію	Проектне рішення
Площа вирощування	75 га	визначає склад МТП і тривалість робіт	один основний трактор + допоміжна техніка + БПЛА
Міжряддя	0,70-0,75 м	повинно відповідати саджалці, роботу і копачу	гребенева технологія з точним водінням
Норма садіння	3,0 т/га	потреба в насінні 225 т	контроль калібрування і якості насіння
Планова врожайність	28 т/га	очікуваний валовий збір 2100 т	своєчасний захист, сортування, зберігання
Ґрунтові умови	легкі і середні ґрунти Полісся	ризик ущільнення та нестачі калію	органіка, NPK, мінімізація проходів
Основний засіб догляду від бур'янів	автономний робот	зниження гербіцидного навантаження	2 проходи FarmDroid FD20 + міжрядний контроль
Моніторинг і захист	БПЛА + AI-аналіз	швидке виявлення стресу, хвороб, зрідженості	Mavic 3M + Agras T50 для карт-завдань

2.2. Обґрунтування технологічної схеми вирощування

Для умов Полісся доцільно застосувати інтенсивну гребеневу технологію, у якій найбільша увага приділяється якості підготовки ґрунту, стабільності форми гребеня та своєчасному догляду. Основний обробіток виконується восени, щоб

накопичити вологу, зруйнувати плужну підшову та створити умови для весняного кришення. Навесні важливо не пересушити верхній шар, тому кількість операцій обмежується боронуванням, внесенням добрив, передсадильною культивацією і формуванням гребенів.

Садіння проводиться у першій декаді травня, коли температура ґрунту на глибині залягання бульб досягає стійких значень, придатних для проростання. Для одержання дружних сходів насіннєві бульби повинні бути вирівняні за фракцією, прогріті та оброблені проти збудників хвороб. Після садіння головним завданням є збереження гребеня, недопущення конкуренції бур'янів і раннє виявлення зон стресу.

Цифровий блок технології побудований за принципом: БПЛА виконує зйомку, програмне забезпечення формує карти неоднорідності, агроном приймає рішення, а агродрон або робот реалізує локальну дію. Для контролю бур'янів застосовується робот із механічними робочими органами, що працює у міжряддях та може обробляти поле з мінімальною участю оператора. Для обприскування використовується агродрон, що особливо доцільно на перезволожених ділянках, де вхід самохідного або причіпного обприскувача створює ризик утворення колії.



Рис. 2.1. Проєктована схема технологічного процесу вирощування картоплі.

2.3. Підбір сучасного парку машин для площі 75 га

Комплекс машин сформовано з урахуванням того, що господарство обробляє відносно невелику спеціалізовану площу картоплі, тому надмірно потужна і дорога

самохідна техніка не завжди економічно виправдана. Основний енергозасіб повинен мати достатній запас тяги для оранки, передсадильної підготовки та роботи з саджалкою. Допоміжний трактор середнього класу використовується на легших операціях, підгортанні, внесенні добрив і транспортних роботах.

Окремим елементом машинного парку є модернізований однорядний роторний копач. Згідно з параметрами конструктивного розділу його продуктивність за годину основного часу становить не менше 0,35 га, робоча швидкість - 6,0-6,5 км/год, а робоча ширина може відповідати міжряддям 0,6-0,9 м. У технологічній карті копач прийнято як спеціалізовану машину для викопування бульб на площі 75 га з подальшим підбиранням та завантаженням продукції в контейнери.

Таблиця 2.2 – Рекомендований склад машинно-тракторного парку для технологічної карти

Марка/тип	Клас машини	Основне призначення	Кількість
John Deere 6R 155 або аналог	трактор 150-170 к.с.	оранка, підготовка, садіння, транспорт	1
Fendt 313 Vario або аналог	трактор 120-135 к.с.	добрива, гребені, підгортання, бадилля	1
Трактор класу 0,6	компактний трактор 25-35 к.с.	агрегаткування однорядного копача	1
Lemken Rubin 10	дискова борона	лушення стерні, заробка решток	1
Lemken Juwel 8	оборотний плуг	основний обробіток ґрунту	1
Lemken Zirkon + коток	передсадильний агрегат	вирівнювання та кришення ґрунту	1
Grimme GF 400	гребенеутворювач	формування гребенів	1
Grimme GL 32B	2-рядна картоплесаджалка	садіння картоплі	1
FarmDroid FD20	автономний робот	механічне пропонування міжрядь	1
DJI Mavic 3M	мультиспектральний БПЛА	моніторинг сходів, NDVI/NDRE	1
DJI Agras T50	агродрон-обприскувач	локальне обприскування та підживлення	1
Модернізований однорядний копач	роторний картоплекопач	викопування бульб	1
JCB 531-70 або аналог	телескопічний навантажувач	контейнери, завантаження, сховище	1
Причепи Fliegl/Wielton	транспортні причепи 10-14 т	перевезення до сортувальної лінії	2-3



Рис. 2.2. Автономний робот FarmDroid FD20 для механічного прополювання міжрядь.

Роботизоване прополювання передбачено як один із ключових напрямів зниження залежності технології від гербіцидів. Робот рухається за RTK-навігацією, працює з малим питомим тиском на ґрунт і дає можливість проводити багаторазовий догляд без залучення трактора. Для картоплі він використовується насамперед у міжряддях, у період до змикання бадилля, коли бур'яни найбільш чутливі до механічного знищення.

2.4. Використання БПЛА, штучного інтелекту та роботизованого догляду

Безпілотні системи в технології картоплі виконують дві різні функції: інформаційну та виконавчу. Інформаційна функція реалізується мультиспектральним БПЛА, який проводить регулярні обльоти поля та формує ортофотоплани, карти індексів вегетації, карти зрідженості, перезволоження або локального стресу. Виконавча функція реалізується агродроном, який вносить засоби захисту рослин і мікродобрива локально, без руху важкої техніки полем.

Штучний інтелект доцільно використовувати для класифікації ділянок за станом рослин. Алгоритм порівнює значення NDVI, NDRE, температуру поверхні, зміну забарвлення листків, густоту стояння і формує пріоритетні зони огляду. На

основі цих даних агроном може прийняти рішення про точкове внесення фунгіциду, інсектициду, позакореневого підживлення або про необхідність додаткового механічного догляду.

З огляду на ризик фітофторозу у вологі роки Полісся, обльоти БПЛА плануються не епізодично, а як регламентна операція: після появи сходів, перед змиканням рядків, у фазу бутонізації, після стресових погодних явищ та перед підготовкою до збирання. Це дає змогу перейти від календарного підходу до захисту рослин до діагностичного, коли обробка виконується у потрібний час і в потрібному місці.

Таблиця 2.3 – Цифрові та роботизовані засоби в проєктованій технології

Система	Технічна ознака	Функція технології	Режим використання
DJI Mavic 3M	RGB + 4 мультиспектральні канали	NDVI/NDRE, густота сходів, стрес, карти завдань	5-7 обльотів за сезон
DJI Agras T50	агродрон-обприскувач	фунгіцидні та інсектицидні обробки, мікродобрива	5 обробок з коригуванням норм
FarmDroid FD20	автономний робот	міжрядне механічне прополювання	2 проходи до змикання рядків
AI-платформа аналізу	хмарне або локальне ПЗ	класифікація зон ризику, підготовка карт-завдань	після кожного обльоту

2.5. Технологічна карта вирощування картоплі на площі 75 га

Технологічна карта складена для повного циклу робіт від агрохімічного обстеження поля до післязбирального сортування. Вона відображає строки виконання операцій, обсяг робіт, рекомендований агрегат, продуктивність, потребу в машинному часі, кількість працівників та орієнтовну витрату пального. Для роботизованих і безпілотних операцій у графі пального зазначено нульову витрату дизельного палива, оскільки вони використовують електроенергію, акумулятори або змінні батареї.

Таблиця 2.4 – Технологічна карта вирощування картоплі на площі 75 га (початок)

№	Операція	Строк виконання	Обсяг	Агрегат	Продуктивність	Годин	Праці в.	Паливо, кг	Примітка
1	Агрохімічне обстеження, відбір проб ґрунту	I декада березня	75	оператор БПЛА + БПЛА + ручний бур	35.00	2.1	1.0	0.0	формування карти рН, гумусу, NPK
2	Осіньне дискування після попередника	вересень попер. року	75	John Deere 6R 155 + Lemken Rubin 10	4.00	18.8	1.0	525.0	на 10-12 см, заробка решток
3	Основний обробіток ґрунту	жовтень попер. року	75	John Deere 6R 155 + Lemken Juwel 8	1.25	60.0	1.0	1500.0	оранка 25-27 см
4	Ранньовесняне боронування	II декада квітня	75	John Deere 6R 155 + Horsch Joker/борона	5.00	15.0	1.0	300.0	закриття вологи
5	Внесення органічних добрив	II декада квітня	75	John Deere 6R 155 + Samson Flex 16	2.00	37.5	1.0	900.0	30 т/га гною або компосту
6	Внесення мінеральних добрив	III декада квітня	75	Fendt 313 Vario + Amazone ZA-TS	12.00	6.3	1.0	150.0	N90P90K120, диференційовано
7	Пересадильна підготовка ґрунту	III декада квітня	75	John Deere 6R 155 + Lemken Zirkon + коток	2.50	30.0	1.0	600.0	кришення, вирівнювання
8	Нарізування гребенів	III декада квітня	75	Fendt 313 Vario + Grimme GF 400	1.20	62.5	1.0	525.0	гребені 75 см
9	Садіння картоплі	I декада травня	75	John Deere 6R 155 + Grimme GL 32B	0.65	115.4	2.0	750.0	норма садіння 3,0 т/га
10	Досходове боронування гребенів	II декада травня	75	Fendt 313 Vario + сітчаста борона	3.00	25.0	1.0	225.0	руйнування кірки
11	Роботизоване міжрядне пропонування 1	III декада травня	75	автономний робот + FarmDroid FD20	0.35	214.3	0.25	0.0	електроживлення, RTK-навігація
12	Моніторинг сходів та стресу	травень-червень	75	оператор БПЛА + DJI Mavic 3M	25.00	3.0	1.0	0.0	NDVI/NDRE, карта густоти
13	Перше підгортання	I декада червня	75	Fendt 313 Vario + Grimme GH 4	1.30	57.7	1.0	450.0	формування гребеня
14	Оприскування БПЛА 1-2	червень	150	оператор БПЛА + DJI Agras T50	8.00	18.8	1.0	0.0	фітофтороз, шкідники, рідкі добрива
15	Роботизоване міжрядне пропонування 2	II декада червня	75	автономний робот + FarmDroid FD20	0.35	214.3	0.25	0.0	зниження гербіцидного навантаження
16	Друге підгортання	III декада червня	75	Fendt 313 Vario + Grimme GH 4	1.30	57.7	1.0	450.0	остаточне формування гребенів
17	Моніторинг БПЛА та AI-аналіз	червень-липень	150	оператор БПЛА + DJI Mavic 3M	25.00	6.0	1.0	0.0	оцінка неоднорідності посівів
18	Оприскування БПЛА 3-5	липень-серпень	225	оператор БПЛА + DJI Agras T50	8.00	28.1	1.0	0.0	локальні карти-завдання
19	Скошування/подрібнення бадилля	III декада серпня	75	Fendt 313 Vario + Grimme KS 75-4	1.50	50.0	1.0	450.0	за 10-14 діб до збирання
20	Викопування модернізованим однорядним копачем	вересень	75	трактор класу 0,6 + однорядний роторний копач	0.35	214.3	1.0	337.5	розроблений у конструктивному розділі
21	Підбирання та завантаження бульб	вересень	2100	навантажувач JCB + мобільні транспортери + контейнери	80.00	26.3	4.0	2.5	за врожайності 28 т/га
22	Транспортування до сховища	вересень	2100	John Deere 6R + трактори + причеви Wielton/Fliegl	70.00	30.0	2.0	3.1	плече перевезення до 5 км
23	Післязбиральне сортування	вересень-жовтень	2100	електропривід + Grimme RH/сортувальна лінія	60.00	35.0	3.0	0.0	видалення домішок, калібрування

Особливістю карти є включення модернізованого однорядного картоплекопача. Його використання робить процес збирання менш енергоємним порівняно з важкими комбайнами, але створює найбільше сезонне навантаження за тривалістю робіт. Тому в організації збирання передбачено раннє скошування бадилля, роботу у подовжену зміну та достатню кількість тари, транспорту і робітників для підбирання бульб після копача.

За даними технологічної карти сумарна потреба в машинному часі становить близько 1328 машино-год, з яких найбільшу частку формують роботизоване прополювання (429 год, але з мінімальною участю оператора) та викопування модернізованим однорядним копачем (214 год основного часу). Орієнтовна витрата дизельного палива на тракторні, транспортні та збиральні операції становить 7168 кг, а загальна потреба в трудових витратах - близько 1301 люд.-год. При плановій урожайності 28 т/га очікуваний валовий збір дорівнює 2100 т, потреба в насіннєвих бульбах – 225 т.

Таблиця 2.5 – Основні розрахункові показники технології

Показник	Формула/прийом	Розрахунок	Результат
Валовий збір	$Q = F * Y$	75 га * 28 т/га	2100 т
Потреба насіння	$Q_n = F * q_n$	75 га * 3,0 т/га	225 т
Основний час копача	$T = F / W$	75 / 0,35	214,3 год
Реальна тривалість збирання	$D = T / (K_{зм} * t_{зм})$	214,3/(0,75*10)	28-29 роб. днів
Питома витрата палива	$G_{пит} = G / F$	7168/75	95,6 кг/га

2.6. Графіки та діаграми завантаження машин

Графік завантаження машин показує, що основне сезонне навантаження припадає на травень-вересень. У травні завантажуються агрегати для садіння та досходового догляду, у червні-липні - робот, підгортач і БПЛА, у серпні-вересні - машина для скошування бадилля, модернізований копач, транспорт і сортувальна лінія. Технологія потребує особливо ретельного планування збирання, оскільки продуктивність однорядного копача нижча, ніж продуктивність спеціалізованих картоплезбиральних комбайнів.

Для зменшення ризику затягування збирання доцільно організувати роботу копача у подовжену світлову зміну, забезпечити запас змінних пальців ротора та ножів лемеша, а також підготувати не менше двох транспортних агрегатів. У період догляду слабким місцем може бути завантаження робота, але його автономність дозволяє працювати тривалими циклами і компенсувати невисоку годинну продуктивність.

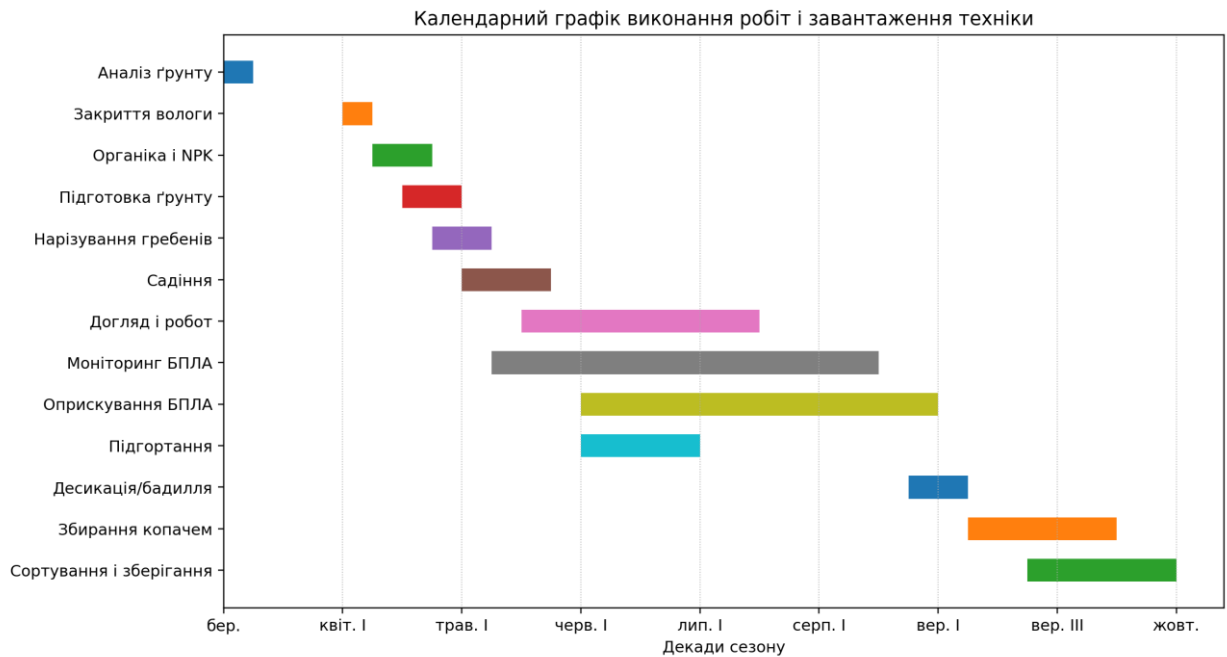


Рис. 2.3. Календарний графік виконання технологічних операцій.

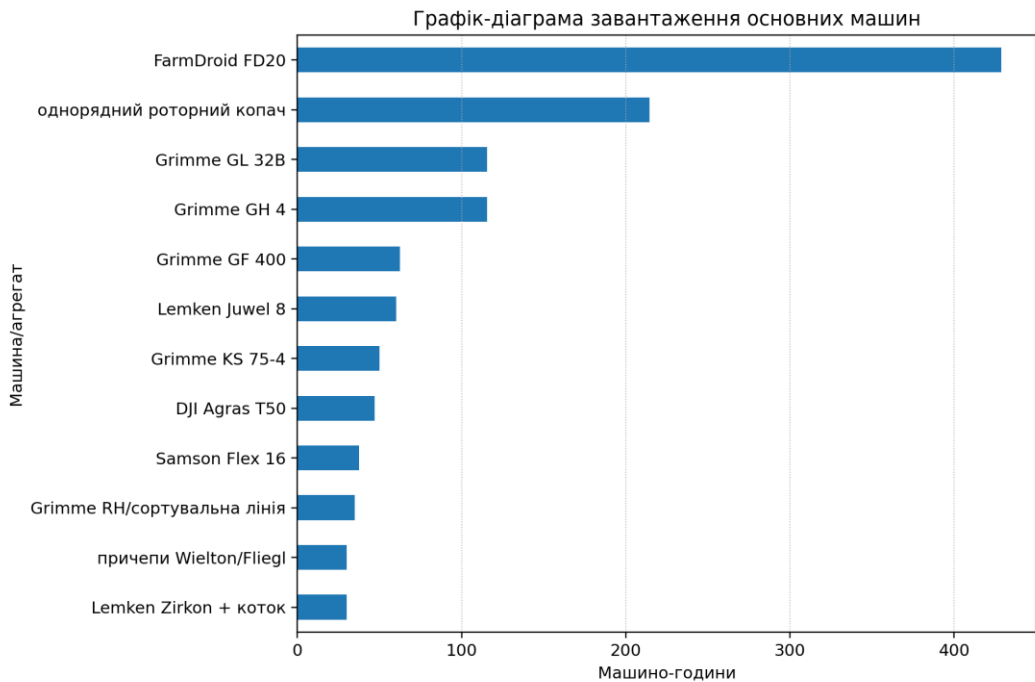


Рис. 2.4. Діаграма завантаження основних машин та агрегатів.



Рис. 2.5. Структура машинного часу у проєктованій технології

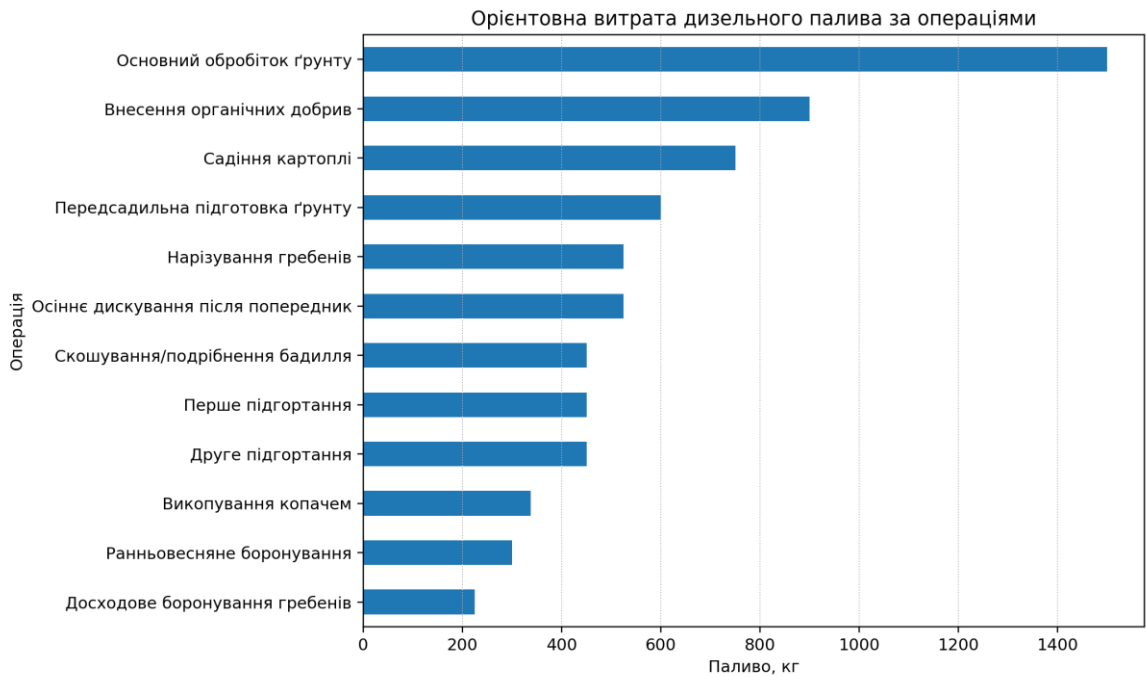


Рис. 2.6. Орієнтовний розподіл витрат дизельного палива за основними операціями.

2.7. Організація робіт і напрями вдосконалення технології

Проєктована технологія передбачає перехід від суто механізованого вирощування до комбінованої системи, у якій тракторні агрегати виконують

енергоємні операції, робот бере на себе повторюваний догляд у міжряддях, а БПЛА забезпечують інформаційну підтримку та точне внесення робочих розчинів. Це особливо важливо для Полісся, де в періоди надмірного зволоження прохід важкої техніки може погіршувати структуру ґрунту та створювати колію.

Для забезпечення якості садіння потрібно використовувати сертифікований насіннєвий матеріал вирівняної фракції, контролювати глибину загортання, рівномірність кроку садіння і форму гребенів. Нерівномірність гребеня призводить до неоднакового прогрівання ґрунту, погіршення роботи робота в міжряддях і збільшення втрат під час викопування. Тому передсадильна підготовка і гребенеутворення є критичними операціями технології.

Модернізований однорядний копач доцільно використовувати в господарствах, де пріоритетом є простота конструкції, невисока вартість, робота з малими енергозасобами і можливість обслуговування машини власними силами. Його перевагами є низька маса, простота агрегування з трактором класу 0,6 і зменшення пошкодження бульб завдяки прогумованим пальцям ротора. Водночас технологічним обмеженням залишається невелика продуктивність, тому для площі 75 га необхідне чітке календарне планування збирання.

Роботизоване прополювання вимагає точності попередніх операцій. Якщо садіння виконано з відхиленням від рядка або гребені мають значну нерівномірність, робот повинен працювати з більшим захисним інтервалом, що знижує якість знищення бур'янів біля рослин. Тому в технології передбачено РТК-навігацію на етапі садіння і формування єдиної цифрової карти рядків для БПЛА, робота та агрономічного аналізу.

Застосування агродрона доцільне не як повна заміна традиційного обприскувача, а як інструмент оперативного реагування. Він дає найбільший ефект при локальних осередках хвороб, ураження шкідниками, потребі в позакореновому підживленні або роботі після опадів, коли вхід колісної

техніки неможливий. За рахунок карти-завдання норма робочого розчину може змінюватися по ділянках поля, що зменшує перевитрати препаратів.

Подальше вдосконалення технології вирощування картоплі в умовах Полісся варто спрямувати на впровадження диференційованого внесення добрив, локальне зрошення у посушливі роки, автоматизований облік урожайності під час збирання, використання датчиків температури і вологості в гребені, а також адаптацію однорядного копача до роботи з контейнерним підбирачем.

Таблиця 2.6 – Напрями вдосконалення технології вирощування картоплі

Елемент технології	Проблема	Запропоноване рішення	Очікуваний ефект
Якість ґрунтової підготовки	нерівні гребені, ущільнення	RTK-відстеження проходів, контроль глибини, коткування	стабільність роботи сажалки, робота і копача
Боротьба з бур'янами	ручна праця або гербіциди	FarmDroid FD20, 2 проходи, механічні лапи	менше хімічне навантаження, менше ущільнення
Захист рослин	запізнення з обробками після дощу	Mavic 3M + Agras T50, карти-завдання	оперативність і локальність внесення
Збирання	низька продуктивність однорядного копача	подовжена зміна, запас транспорту, контейнерна логістика	скорочення простоїв і втрат
Зберігання	травмування бульб, домішки	м'які транспортери, сортування, вентиляція	підвищення товарності

Висновки до розділу 2

Для площі 75 га в умовах Полісся Житомирської області обґрунтовано гребеневу технологію вирощування картоплі з міжряддям 0,70-0,75 м, нормою садіння 3,0 т/га та плановою урожайністю 28 т/га. Очікуваний валовий збір становить близько 2100 т, що потребує завчасної підготовки насіннєвого матеріалу, тари, транспорту і сортувальної лінії.

Підібрано сучасний парк машин, який включає два трактори, комплект ґрунтообробної та картоплярської техніки, автономний робот FarmDroid FD20, БПЛА DJI Mavic 3M для моніторингу, агродрон DJI Agras T50 для

обприскування та модернізований однорядний картоплекопач для викопування бульб. Така структура МТП забезпечує поєднання класичної механізації з елементами роботизації і точного землеробства.

Розроблена технологічна карта показала, що найтривалішими операціями є роботизоване прополювання та викопування модернізованим однорядним копачем. Для зменшення ризику затягування строків збирання необхідно працювати у подовжену зміну, мінімізувати простої на транспортуванні та забезпечити оперативне технічне обслуговування копача.

Використання БПЛА та AI-моніторингу дозволяє раніше виявляти зрідженість сходів, прояви хвороб, ділянки стресу та неоднорідність живлення. Агродрон доцільно застосовувати для локального захисту рослин, особливо у періоди, коли пересування колісної техніки по полю небажане через надмірну вологість ґрунту.

Основними напрямками подальшого вдосконалення технології є підвищення продуктивності збирання, адаптація копача до контейнерної логістики, диференційоване внесення добрив, впровадження датчиків вологості гребенів і створення єдиної цифрової карти поля для всіх механізованих та роботизованих операцій.

параметри модернізованого однорядного картоплекопача.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

3.1. Вихідні вимоги та загальна характеристика модернізованого картоплекопача

У складі комплексу машин для виробництва картоплі важливе місце займає машина для викопування бульб, оскільки саме на цьому етапі формується рівень втрат, пошкоджень і подальша придатність продукції до зберігання. Для невеликих і середніх площ доцільним є застосування начіпного однорядного картоплекопача роторного типу. Така машина має просту конструкцію, агрегатується з трактором малого тягового класу, не потребує складного обслуговування і забезпечує укладання викопаної маси на поверхню поля для наступного ручного або механізованого підбирання.

У роботі за базову схему прийнято однорядний роторний копач типу КТН-1,0. Модернізація спрямована не на повну зміну принципу дії, а на усунення найбільш суттєвих недоліків серійної конструкції: підвищений тяговий опір лемеша, травмування бульб сталевими пальцями ротора, зайву масу привода та потребу в постійному контролі мастила в редукторі. Тому основними об'єктами конструктивного вдосконалення є підкопувальний леміш, робочі пальці ротора та передавальний механізм привода.

Модернізований картоплекопач повинен працювати у виробничих умовах вирощування картоплі на різних типах ґрунтів за умови, що вологість, твердість, засміченість камінням і глибина залягання бульб не перевищують допустимих меж. Переведення з транспортного положення у робоче та зворотно має здійснюватися навісною системою трактора, а регулювання глибини ходу лемеша повинно бути доступним без розбирання основних вузлів.

Основні технічні вимоги до модернізованого картоплекопача узагальнено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні вимоги до однорядного картоплекопача

Показник	Прийняте або допустиме значення
Тип машини	начіпний однорядний роторний картоплекопач
Призначення	підкопування рядка, часткове руйнування ґрунтового шару, відокремлення бульб і викидання їх убік на поверхню поля
Агрегаткування	трактор тягового класу 0,6
Продуктивність за годину основного часу	не менше 0,35 га/год
Робоча швидкість	6,0–6,5 км/год
Транспортна швидкість	до 20 км/год
Робоча ширина захвату	0,6; 0,7 або 0,9 м залежно від міжряддя
Глибина підкопування	до 25 см
Ширина підкопування лемешем	не менше 0,40 м
Мінімальна ширина міжрядь	0,60 м
Конструктивна маса	до 180 кг

Надійність роботи копача залежить від відповідності конструкції польовим умовам. Для розрахунку та компонування машини приймаються такі граничні агротехнічні умови:

- твердість ґрунту в зоні підкопування - не більше 1,4 МПа;
- вологість ґрунту - у межах 8–30 %;
- допустима засміченість камінням розміром до 50 мм - не більше 8 т/га;
- глибина розміщення нижніх бульб - до 20 см;
- поперечний схил поля - до 6 %;
- можливість роботи як після попереднього видалення бадилля, так і за наявності відмерлої або частково незібраної рослинної маси.

Конструктивно машина складається з несучої рами, підкопувального органа коритоподібного профілю, копіювального колеса з гвинтовим регулюванням, ротора з кидальними гребінками, карданного вала із запобіжною муфтою та ланцюгової передачі. Рама сприймає навантаження від усіх робочих і допоміжних вузлів. Підкопувальний орган зрізує шар ґрунту разом із гніздом картоплі і спрямовує його до ротора. Копіювальне колесо задає стабільну глибину ходу, а ротор руйнує підкопаний пласт, відокремлює частину ґрунту та переміщує бульби у бік викопаного рядка.

Ротор має барабан, на якому закріплено вісім гребінок. Кожна гребінка містить чотири пружні сталеві пальці. У зоні приєднання до барабана пальці виконані з витком навколо труби, завдяки чому під час зустрічі з твердими включеннями вони можуть відхилитися назад і зменшувати ударне навантаження. Для зниження пошкодження картоплі кінці пальців доцільно виконати з гумовими накладками або прогумованими наконечниками.

У приводі серійного копача замість масивного редуктора пропонується використати закриту ланцюгову передачу. Таке рішення спрощує обслуговування, зменшує масу, усуває ризик витікання оливи з корпусу редуктора та полегшує контроль технічного стану привода. Запобіжна муфта на карданному валу зберігається, оскільки вона захищає механізм при заклинюванні ротора ґрунтом, камінням або рослинними рештками.

3.2. Обґрунтування прийнятих напрямів модернізації

Якість збирання картоплі роторним копачем визначається взаємодією трьох елементів: лемеша, ротора і привода. Леміш формує потік бульбоносної маси, ротор забезпечує її руйнування та вивантаження, а привод повинен передавати необхідну потужність без перевантажень і втрат. Якщо хоча б один із цих вузлів працює нераціонально, зростають витрати енергії, збільшуються втрати бульб або погіршується надійність машини.

Підкопувальний леміш працює в найбільш навантаженій зоні. Він контактує з ґрунтом по всій ширині рядка і фактично задає величину тягового опору копача. Прямолінійна робоча поверхня з постійним кутом різання піднімає пласт різко, тому ґрунт ущільнюється перед лемешем, збільшується сила опору, а до ротора надходить погано розпушена маса. Для модернізованої машини доцільно застосувати коритоподібний леміш із плавною криволінійною поздовжньою поверхнею. Така форма поєднує підрізання, поступове піднімання та попереднє кришення ґрунтового пласта.

Робочі пальці ротора виконують інтенсивну механічну дію на ґрунт і бульби. Сталевий палець добре руйнує пласт, але при прямому ударі по картоплині створює локальне навантаження, що призводить до вм'ятин,

порізів або тріщин. Тому пропонується залишити пружну сталеву основу пальця, а його кінцеву робочу частину оснастити гумовою накладкою. Металева частина забезпечує міцність і ресурс, а еластичний шар зменшує контактну жорсткість і травмування бульб.

Третім напрямом удосконалення є заміна редукторного привода на ланцюговий. Умови роботи картоплекопача супроводжуються запиленістю, налипанням ґрунту та значними ударними навантаженнями. Ланцюгова передача простіша за редуктор, дешевша у виготовленні, допускає швидку заміну елементів і не потребує герметичного масляного корпусу. Для захисту від забруднення передачу слід розміщувати під кожухом, а її натяг регулювати переміщенням однієї зі зірочок або натяжним пристроєм.

Порівняльну характеристику вузлів базового і модернізованого виконання наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Сутність конструктивних змін у модернізованому картоплекопачі

Вузол	Базове виконання	Модернізоване виконання	Очікуваний ефект
Леміш	підкопування з відносно різким підніманням пласта	криволінійна коритоподібна поверхня зі змінним кутом підйому	менший тяговий опір, плавніша подача маси до ротора
Пальці ротора	сталеві пружні пальці	сталеві пальці з гумовими наконечниками в зоні контакту з бульбами	зниження механічного пошкодження картоплі
Передача привода	редукторна схема з мастилом у корпусі	закрита ланцюгова передача з передаточним числом 3	менша маса, простіше технічне обслуговування, відсутність ризику витоку оливи
Захист від перевантажень	карданний вал із запобіжною муфтою	збереження муфти у приводі модернізованого ротора	запобігання поломкам при заклинюванні робочих органів

3.3. Розрахунок і вибір параметрів підкопувального лемеша

Леміш картоплекопача повинен зрізати ґрунтовий пласт нижче зони залягання бульб, не залишати непідкопаних картоплин і водночас не захоплювати зайвий об'єм ґрунту. Надмірна ширина або глибина підкопування збільшує навантаження на трактор і ротор, а недостатні

розміри робочого органа призводять до втрат. Тому його геометрія приймається з урахуванням форми куща, можливого відхилення рядка від осі машини та умов проходження рослинних решток.

Основою підкопувального органа є двогранний клин. У найпростішому варіанті такий клин має сталий кут різання α . Проте при сталому куті пласт швидко піднімається і надалі рухається майже без додаткового кришення. Щоб процес руйнування ґрунту відбувався поступово, робочу поверхню лемеша доцільно виконати криволінійною. У цьому випадку кут підйому змінюється вздовж довжини органа: на початку він малий, що зменшує опір входження в ґрунт, а ближче до заднього обрізу зростає, забезпечуючи піднімання маси на потрібну висоту.

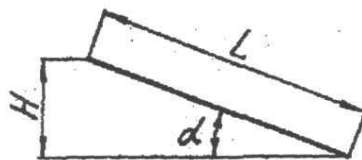


Рис. 3.1. Схема лемеша з постійним кутом різання.

Схема з постійним кутом різання є конструктивно простою, але вона не створює умов для безперервного розпушування пласта. Для поліпшення процесу використовується криволінійна поверхня, яку можна розглядати як послідовність коротких клинів із наростаючим кутом. Такий підхід зменшує ударну дію на пласт і забезпечує стабільнішу подачу ґрунту до пальців ротора.

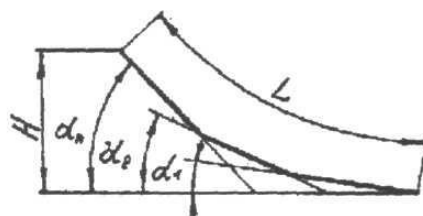


Рис. 3.2. Схема лемеша зі змінним кутом піднімання пласта.

З конструктивних міркувань і з урахуванням габаритів базового копача приймаємо довжину лемеша $L = 280$ мм, а висоту заднього обрізу $H = 55$ мм. Для поздовжнього профілю доцільно прийняти плавну криву, близьку до

ділянки параболи, за якою початковий кут входження в ґрунт становить приблизно 5° , середній - близько 12° , а в зоні виходу пласта - до 18° .

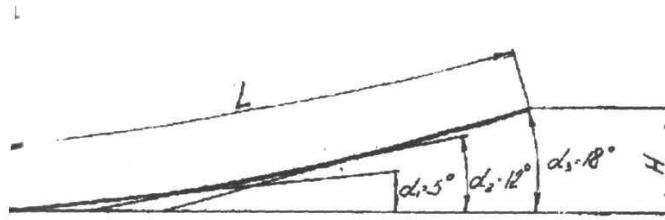


Рис. 3.3. Прийнята форма поздовжнього профілю лемеша.

Ширину коритоподібного лемеша визначаємо за найбільшою шириною розміщення бульб у кущі та можливим зміщенням осі рядка відносно середини лемеша. Розрахунок виконуємо за залежністю:

$$B = b + 2\delta, \quad (3.1)$$

де B – повна ширина підкопування, мм; b – максимальна ширина розміщення бульб у кущі, мм; δ – запас на відхилення рядка від осі лемеша, мм.

За вихідними даними максимальна ширина бульбового гнізда може досягати 320 мм. Зміщення осі рядка, яке виникає через непрямолінійність посадки та неточність ведення агрегату, приймаємо $\delta = 110$ мм. Тоді:

$$B = 320 + 2 \cdot 110 = 540 \text{ мм.}$$

Отже, приймаємо робочу ширину лемеша $B = 540$ мм. Такий розмір забезпечує захоплення всього бульбового гнізда навіть за відхилення рядка, але не призводить до надмірного збільшення об'єму ґрунту, що надходить до ротора.

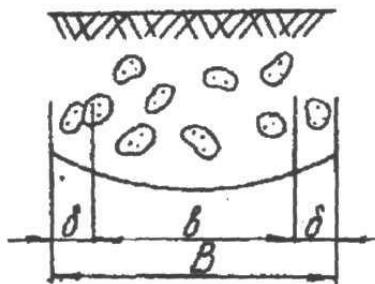


Рис. 3.4. Схема визначення ширини коритоподібного лемеша.

Під час руху по лемешу ґрунтовий пласт містить корені, залишки бадилля та грудки. Щоб рослинні рештки не затримувалися на бокових гранях і не викликали забивання, кут сходу γ приймають залежно від кута тертя рослинних стебел і кореневищ по лезу. Для цього використовують співвідношення:

$$\gamma = \pi/2 - \varphi, \quad (3.2)$$

де γ – кут сходу лемеша; φ - кут тертя рослинних решток по лезу. Для кореневищ по металевій поверхні приймаємо $\varphi = 45^\circ$. Тоді:

$$\gamma = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ.$$

Для пасивних підкопувальних органів картоплезбиральних машин рекомендований кут сходу перебуває в межах $40\text{--}50^\circ$, тому прийняте значення $\gamma = 45^\circ$ є раціональним і відповідає умовам роботи модернізованого копача.

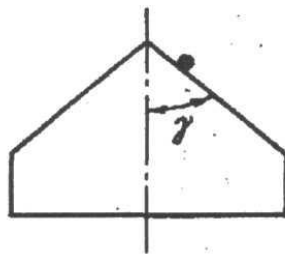


Рис. 3.5. Схема до визначення кута сходу лемеша

Підсумкові розміри лемеша наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Прийняті параметри підкопувального лемеша

Параметр	Позначення	Значення
Довжина робочої поверхні	L	280 мм
Висота заднього обрізу	H	55 мм
Максимальна ширина бульбового гнізда	b	320 мм
Запас на зміщення рядка	δ	110 мм
Робоча ширина лемеша	B	540 мм
Кут сходу	γ	45°
Рекомендований діапазон кутів сходу	$\gamma_{\text{рек}}$	$40\text{--}50^\circ$

3.4. Визначення параметрів ротора та потужності його привода

Ротор модернізованого картоплекопача виконує дві взаємопов'язані операції: руйнує бульбоносний шар і переміщує картоплю з ґрунтом убік від рядка. Надто мала частота обертання не забезпечить достатнього

прочісування пласта і спричинить втрати, а надто велика - підвищить інтенсивність ударів по бульбах. Тому частота обертання визначається з умови своєчасного входження гребінок у шар ґрунту, що рухається з робочою швидкістю агрегату.

Для розрахунку приймаємо максимальну робочу швидкість $v_m = 6,5$ км/год, що відповідає приблизно 1,8 м/с. Довжина ділянки, на якій гребінка повинна увійти в підкопану масу, становить $A = 0,186$ м. Час проходження цієї ділянки:

$$t = A / v_m = 0,186 / 1,8 \approx 0,10 \text{ с.}$$

Ротор має вісім гребінок, розміщених з кутовим кроком 45° . Тому за час 0,10 с наступна гребінка повинна повернутися на 45° . Кутову швидкість визначаємо за формулою:

$$\omega = 45^\circ / 0,10 = 0,7853 / 0,10 = 7,853 \text{ рад/с.}$$

Відповідна частота обертання:

$$n_p = (\omega \cdot 30) / \pi = (7,853 \cdot 30) / 3,14 \approx 75 \text{ об/хв.}$$

Для підвищення стабільності технологічного процесу приймаємо запас 1,2. Тоді розрахункова частота обертання ротора становитиме:

$$n = 1,2 \cdot 75 = 90 \text{ об/хв.}$$

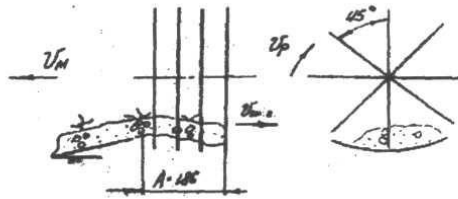


Рис. 3.6. Схема до розрахунку частоти обертання ротора.

Робоча частина пальця, яка контактує з картоплею, виконується прогумованою. Прогумування всієї довжини пальця недоцільне, оскільки це підвищує витрати матеріалу і не впливає на міцність основи. Достатньо оснастити еластичною накладкою частину довжиною близько 250 мм, що безпосередньо проходить у бульбоносному шарі.

Потужність на привод ротора витрачається на деформацію підкопаного ґрунту пальцями та на відкидання суміші ґрунту і бульб. Загальна потужність визначається як сума двох складових:

$$N = N_d + N_v, \quad (3.3)$$

де N_d – потужність на деформацію ґрунту, кВт; N_v – потужність на відкидання маси, кВт.

Потужність на деформацію визначаємо за залежністю:

$$N_d = 10^{-4} \cdot k \cdot c \cdot h \cdot z \cdot n \cdot a / 6, \quad (3.4)$$

де k – питомий опір деформації ґрунту, МПа; $c = 55 \text{ см}^2$ – площа перерізу ґрунту, що руйнується одним пальцем; $h = 25 \text{ см}$ – висота шару; $z = 32$ – загальна кількість пальців; $n = 90 \text{ об/хв}$ – частота обертання ротора; $a = 0,7$ – коефіцієнт, що враховує попереднє підрізання і часткове розпушення пласта на лемеші.

Для легких, середніх і важких ґрунтів отримуємо відповідно:

$$N_{d1} = 0,942 \text{ кВт}; \quad N_{d2} = 2,260 \text{ кВт}; \quad N_{d3} = 3,620 \text{ кВт}.$$

Потужність на відкидання бульб і ґрунту визначаємо за формулою:

$$N_v = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \delta \cdot Q_p \cdot V_p^2, \quad (3.5)$$

де $\delta = 0,5$ – коефіцієнт відкидання, що залежить від форми робочого органа; Q_p – маса суміші, яка відкидається за одну секунду, кг/с; $V_p = 4,23 \text{ м/с}$ – колова швидкість ротора.

Для різних ґрунтових умов приймаємо $Q_p = 45,02 \text{ кг/с}$ для легких ґрунтів, $Q_p = 54,82 \text{ кг/с}$ для середніх і $Q_p = 61,82 \text{ кг/с}$ для важких. Тоді:

$$N_{v1} = 0,201 \text{ кВт}; \quad N_{v2} = 0,245 \text{ кВт}; \quad N_{v3} = 0,274 \text{ кВт}.$$

Сумарні витрати потужності на ротор становлять:

$$N_1 = 1,143 \text{ кВт}; \quad N_2 = 2,505 \text{ кВт}; \quad N_3 = 3,896 \text{ кВт}.$$

Для подальшого розрахунку приймаємо найбільше значення $N = 3,89 \text{ кВт}$. Необхідну потужність на валу відбору потужності трактора визначаємо з урахуванням втрат у ланцюговій передачі та запобіжній муфті:

$$N_{ввп} = N / (\eta_{л}^2 \cdot \eta_{м}), \quad (3.6)$$

де $\eta_{\text{л}} = 0,96$ – ККД однієї ланцюгової передачі; $\eta_{\text{м}} = 0,98$ – ККД запобіжної муфти. Тоді:

$$N_{\text{ВВП}} = 3,89 / (0,96^2 \cdot 0,98) = 4,30 \text{ кВт.}$$

Отже, для роботи модернізованого ротора достатньо потужності ВВП 4,30 кВт, що відповідає можливостям трактора тягового класу 0,6.

Результати розрахунку потужності зведено в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахункова потужність привода ротора

Тип ґрунту	$N_{\text{д}}$, кВт	$N_{\text{в}}$, кВт	N , кВт
Легкий	0,942	0,201	1,143
Середній	2,260	0,245	2,505
Важкий	3,620	0,274	3,896
Прийнято для розрахунку	-	-	3,89

3.5. Розрахунок ланцюгової передачі привода ротора

Ланцюгова передача модернізованого копача повинна зменшити частоту обертання від приводного вала до ротора та одночасно передати необхідний крутний момент. Передача працює в умовах пилу, змінного навантаження і можливих ударів, тому її параметри вибираються з перевіркою за питомим тиском у шарнірах, запасом міцності та допустимою частотою ударів ланки по зубах зірочок.

Вихідні дані для розрахунку: кутова швидкість вала ведучої зірочки $\omega_1 = 56,52$ рад/с; потужність на валу ведучої зірочки $N_1 = 4,22$ кВт; передаточне число $U = 3$. Кількість зубів ведучої зірочки приймаємо $Z_1 = 15$, тоді для веденої зірочки:

$$Z_2 = Z_1 \cdot U = 15 \cdot 3 = 45.$$

Основним параметром роликового ланцюга є крок t . Його визначаємо за розрахунковим навантаженням передачі:

$$t = 280 \cdot \sqrt[3]{(N_1 \cdot K_e / (Z_1 \cdot \omega_1 \cdot [p] \cdot m_p))}, \quad (3.7)$$

де K_e - коефіцієнт експлуатації; $[p] = 24$ МПа – допустимий питомий тиск у шарнірах; m_p - коефіцієнт рядності. Для умов роботи копача приймаємо $K_e = 1,25$. За підстановкою вихідних даних отримуємо:

$$t = 17,85 \text{ мм.}$$

За стандартним рядом приймаємо роликовий ланцюг ПР-19,05-3180 з кроком $t = 19,05$ мм. Його основні параметри: ширина між внутрішніми пластинами $b_1 = 12,7$ мм; діаметр ролика $d_1 = 11,91$ мм; поперечний крок $P_1 = 22,78$ мм; ширина $b_4 = 26,9$ мм; погонна маса $q = 1,9$ кг/м; руйнівне навантаження $Q = 31,8$ кН.

Міжосьову відстань попередньо приймаємо в кроках $a_1 = 21,35$. Тоді:

$$a = a_1 \cdot t = 21,35 \cdot 19,05 = 406,71 \text{ мм.}$$

Довжину ланцюга в кроках визначаємо за залежністю:

$$L_1 = 2a_1 + a_p + b/a_1, \quad (3.8)$$

де $a_p = (Z_1 + Z_2)/2 = (15 + 45)/2 = 30$; $b = ((Z_2 - Z_1)/(2\pi))^2 = 22,82$. Тоді:

$$L_1 = 2 \cdot 21,35 + 30 + 22,82/21,35 = 73,77.$$

Приймаємо довжину ланцюга $L_1 = 74$ кроки. Після уточнення міжосьова відстань дорівнює приблизно 408,97 мм. Для забезпечення нормального провисання її зменшуємо на 0,003а, тобто на 1,22 мм, і остаточно приймаємо:

$$a = 408,97 - 1,22 = 407,75 \text{ мм.}$$

Перевіряємо частоту ударів ланки об зуби зірочки:

$$v = 2 \cdot Z_1 \cdot \omega_1 / (\pi \cdot L_1) = 2 \cdot 15 \cdot 56,52 / (3,14 \cdot 74) = 7,29 < 35.$$

Отже, за цим показником передача працюватиме в допустимому режимі.

Швидкість руху ланцюга:

$$V = Z_1 \cdot t \cdot \omega_1 / (2000\pi) = 15 \cdot 19,05 \cdot 56,52 / (2000 \cdot 3,14) = 2,57 \text{ м/с.}$$

Колова сила в передачі:

$$F_t = 1000 \cdot N_1 / V = 1000 \cdot 4,22 / 2,57 = 1642,02 \text{ Н.}$$

Сила натягу від провисання ланцюга:

$$F_q = K_f \cdot q \cdot a \cdot g = 6,0 \cdot 1,9 \cdot 0,407 \cdot 9,8 = 45,47 \text{ Н.}$$

Сила натягу від відцентрових сил:

$$F_v = q \cdot V^2 = 1,9 \cdot 2,57^2 = 12,54 \text{ Н.}$$

Сумарне зусилля у ведучій вітці становить $F_{\max 1} = 2110,53 \text{ Н}$, у веденій - $F_{\max 2} = 58,01 \text{ Н}$. Навантаження, що діє на вали зірочок, становить $F_v = 2143,46 \text{ Н}$.

Перевірка за питомим тиском у шарнірах:

$$p = F_t \cdot K_e / (S \cdot m_p \cdot 10^2) = 1642,02 \cdot 1,25 / (1,05 \cdot 1,0 \cdot 10^2) = 19,54 \text{ МПа} < 24 \text{ МПа.}$$

Запас міцності ланцюга:

$$n = Q / F_{\max 1} = 31800 / 2110,53 = 15,06 > 9,3.$$

Отже, вибраний ланцюг задовольняє вимоги міцності та довговічності.

Основні параметри ланцюгової передачі наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку ланцюгової передачі

Показник	Позначення	Значення
Потужність на ведучій зірочці	N_1	4,22 кВт
Передаточне число	U	3
Кількість зубів ведучої зірочки	Z_1	15
Кількість зубів веденої зірочки	Z_2	45
Розрахунковий крок	$t_{\text{розр}}$	17,85 мм
Прийнятий крок ланцюга	t	19,05 мм
Довжина ланцюга	L_1	74 кроки
Остаточна міжосьова відстань	a	407,75 мм
Швидкість ланцюга	V	2,57 м/с
Колова сила	F_t	1642,02 Н
Навантаження на вали	F_v	2143,46 Н
Питомий тиск у шарнірах	p	19,54 МПа
Запас міцності	n	15,06

Діаметри ділільних окружностей зірочок визначаються за формулою:

$$d_o = t / \sin(180^\circ/Z). \quad (3.9)$$

Для ведучої зірочки при $Z_1 = 15$ отримуємо $d_{o1} = 91,62 \text{ мм}$. Для веденої зірочки при $Z_2 = 45$ отримуємо $d_{o2} = 273,09 \text{ мм}$. Інші конструктивні параметри зірочок визначено за стандартними залежностями для роликів ланцюгів і наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Геометричні параметри зірочок ланцюгової передачі

Параметр	Ведуча зірочка	Ведена зірочка
Кількість зубів	15	45
Діаметр ділильної окружності, мм	91,62	273,09
Діаметр зовнішньої окружності, мм	97,50–103,52	279,04–296,90
Радіус впадини, мм	6,01–6,17	6,01–6,17
Діаметр окружності впадин, мм	79,26–79,60	260,75–261,07
Радіус спряження, мм	24,29–38,58	67,17–210,99
Кут спряження	114–134°	118–138°
Радіус заокруглення зуба, мм	17,86	17,86
Ширина зуба, мм	11,81	11,81

Орієнтовні діаметри отворів під вали встановлюються за крутним моментом на відповідних зірочках. Для ведучої зірочки при $T = 76,66 \text{ Н}\cdot\text{м}$ розрахунковий діаметр становить 26,52 мм, тому конструктивно приймаємо $d_v = 25 \text{ мм}$. Для веденої зірочки при $T = 241,96 \text{ Н}\cdot\text{м}$ розрахунковий діаметр становить 37,73 мм, тому приймаємо $d_v = 40 \text{ мм}$.

Діаметри маточин приймаємо з умови $d_{ст} = (1,8\text{--}2,0)d_v$: для ведучої зірочки $d_{ст} = 45 \text{ мм}$, для веденої – $d_{ст} = 72 \text{ мм}$. Довжину маточини ведучої зірочки приймаємо $L_{ст} = 50 \text{ мм}$. У диску веденої зірочки доцільно виконати технологічні отвори діаметром 30 мм, розміщені по колу діаметром приблизно 130 мм. Це зменшує масу деталі без погіршення її працездатності.

Висновки до конструктивної частини

У конструктивній частині обґрунтовано модернізацію однорядного роторного картоплекопача, призначеного для роботи у складі комплексу машин для виробництва картоплі. Основна ідея модернізації полягає у зменшенні енергоємності процесу підкопування, підвищенні якості відокремлення бульб від ґрунту та зниженні пошкодження продукції під час взаємодії з ротором.

Для підкопувального органа прийнято коритоподібний леміш із плавним криволінійним поздовжнім профілем. За результатами розрахунку його довжина становить 280 мм, висота заднього обрізу – 55 мм, робоча ширина – 540 мм, кут сходу – 45° . Така форма забезпечує поступове піднімання і попереднє кришення бульбоносного шару.

Для ротора прийнято частоту обертання 90 об/хв, що гарантує своєчасне входження гребінок у підкопаний пласт за робочої швидкості 6,5 км/год. Запропоновано прогумувати кінцеві ділянки пальців довжиною близько 250 мм, завдяки чому зменшується ударна дія на бульби. Максимальна потужність на привод ротора за важких умов становить 3,89 кВт, а необхідна потужність на ВВП трактора - 4,30 кВт.

Для привода ротора вибрано ланцюгову передачу з передаточним числом 3, зірочками $Z_1 = 15$ і $Z_2 = 45$ та роликовим ланцюгом кроком 19,05 мм. Перевірка показала, що питомий тиск у шарнірах становить 19,54 МПа при допустимих 24 МПа, а запас міцності дорівнює 15,06, що перевищує допустиме значення 9,3. Отже, прийнята передача є працездатною і може бути використана в модернізованій конструкції картоплекопача.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто комплекс питань, пов'язаних із підвищенням ефективності механізованого виробництва картоплі в умовах Полісся Житомирської області. Встановлено, що картопля є однією з найважливіших сільськогосподарських культур, а її виробництво потребує застосування раціонально підбраного комплексу машин, який забезпечує своєчасне та якісне виконання всіх технологічних операцій — від підготовки ґрунту до збирання врожаю.

У першому розділі було проаналізовано існуючі технології вирощування картоплі, динаміку посівних площ в Україні та світі, а також сучасний стан механізації виробничих процесів. Визначено, що ефективність картоплярства значною мірою залежить від рівня технічного забезпечення господарств, застосування енергоощадних машин, точного землеробства, роботизованих засобів догляду за посівами та цифрових систем моніторингу. Особливу увагу приділено перспективам використання безпілотних літальних апаратів і штучного інтелекту для контролю стану рослин, виявлення проблемних ділянок поля, оцінювання розвитку посівів і своєчасного прийняття агротехнічних рішень.

У другому розділі розроблено технологію вирощування картоплі для умов Полісся Житомирської області на площі 75 га. Складено технологічну карту, у якій передбачено виконання основних операцій сучасними машинно-тракторними агрегатами. Для підготовки ґрунту, садіння, догляду за рослинами, захисту посівів і збирання врожаю підбрано сучасний парк машин, що відповідає умовам господарства та забезпечує раціональне використання техніки протягом сезону. У технологічній карті враховано використання модернізованого однорядного картоплекопача, розробленого в конструктивній частині роботи. Також передбачено застосування робота для боротьби з бур'янами, БПЛА для моніторингу посівів та агродрона для обприскування, що дозволяє підвищити точність виконання операцій,

зменшити витрати робочої сили та знизити хімічне навантаження на агроценоз.

У конструктивній частині роботи обґрунтовано модернізацію однорядного картоплекопача, спрямовану на підвищення якості викопування картоплі та зменшення пошкодження бульб. Удосконалення робочих органів картоплекопача передбачає покращення форми лемеша, застосування прогумованих елементів на пальцях ротора та використання більш раціонального привідного механізму. Такі конструктивні рішення дають змогу зменшити опір під час руху машини в ґрунті, поліпшити процес підкопування і сепарації бульбоносного шару, знизити втрати врожаю та підвищити надійність роботи агрегату. Розрахунки основних параметрів лемеша, ротора та ланцюгової передачі підтвердили працездатність і доцільність запропонованої модернізації.

За результатами виконаної роботи можна зробити висновок, що впровадження удосконаленого комплексу машин для виробництва картоплі є доцільним для господарств Полісся, які вирощують картоплю на малих і середніх площах. Поєднання сучасної ґрунтообробної, садильної, доглядової та збиральної техніки з елементами роботизації й цифрового моніторингу дозволяє сформувати більш продуктивну, ресурсозберігаючу та екологічно орієнтовану технологію. Запропонований модернізований однорядний картоплекопач може бути використаний як доступний і ефективний технічний засіб для збирання картоплі, особливо в умовах господарств, де застосування складних і дорогих картоплезбиральних комбайнів є економічно недоцільним.

Отже, поставлену мету роботи досягнуто: проаналізовано сучасні технології вирощування картоплі, розроблено технологічну карту для площі 75 га, підібрано комплекс машин, обґрунтовано застосування БПЛА, роботизованих засобів і штучного інтелекту, а також запропоновано модернізацію однорядного картоплекопача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
2. Інститут картоплярства НААН України. Технологія вирощування картоплі. URL: <https://www.ikar.org.ua/pro-kartoplyu/технологія-вирощування-картоплі> (дата звернення: 26.06.2026).
3. Інститут картоплярства НААН України : офіційний сайт. URL: <https://www.ikar.org.ua/> (дата звернення: 26.06.2026).
4. Технологія вирощування і зберігання картоплі : силабус навчальної дисципліни. Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2021. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/8666/tehnologiyavyroshchuvannyaiizberigannyakartopli.pdf> (дата звернення: 26.06.2026).
5. Картоплярство : навчальний посібник. Київ : НУБіП України. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/items/5202e436-aca0-432a-9254-af335c6b9e49> (дата звернення: 26.06.2026).
6. Козаченко Б. О. Механізація виробництва картоплі : довідник. Київ : Урожай, 1991. 176 с.
7. Заєць М. Л. Розрахунок транспортуючих пристроїв картоплезбиральних машин. Наукові читання–2021: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 39-42.
8. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

9. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
10. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
11. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
12. 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.
13. Нагірний Ю. П. Обґрунтування інженерних рішень. Київ : Урожай, 1994. 216 с.
14. Механізація вирощування картоплі. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya/mekhanizatsiya-vyroshchuvannya-kartopli> (дата звернення: 26.06.2026).
15. Картоплярство: особливості техніки і технології. Агробізнес сьогодні. 2019. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/12646-kartopliarstvo-osoblyvosti-tekhniky-i-tekhnologii.html> (дата звернення: 26.06.2026).
16. Державна служба статистики України. Статистична інформація. Сільське господарство. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 26.06.2026).
17. FAOSTAT. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/> (дата звернення: 26.06.2026).

18. FAO. International Day of Potato. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/international-potato-day/en> (дата звернення: 26.06.2026).
19. Potato production in Ukraine. Agroberichten Buitenland. 2025. URL: <https://www.agroberichtenbuitenland.nl/actueel/nieuws/2025/07/29/potato-production-in-ukraine> (дата звернення: 26.06.2026).
20. GRIMME. Potato Technology. URL: <https://products.grimme.com/en/o/kartoffeltechnik> (дата звернення: 26.06.2026).
21. GRIMME. Products: potato, beet and vegetable technology. URL: <https://products.grimme.com/en> (дата звернення: 26.06.2026).
22. FarmDroid. Advanced Agricultural Robots for Modern Farming. URL: <https://farmdroid.com/> (дата звернення: 26.06.2026).
23. FarmDroid FD20 Robot. FarmDroid UK. URL: <https://www.farmdroid.co.uk/fd20-robot/> (дата звернення: 26.06.2026).
24. DJI AGRAS T50. Technical specifications. DJI Agriculture. URL: <https://ag.dji.com/t50/specs> (дата звернення: 26.06.2026).
25. DJI AGRAS T50. Ready, Steady, Go. DJI Agriculture. URL: <https://ag.dji.com/t50> (дата звернення: 26.06.2026).
26. DJI Mavic 3 Multispectral Edition. Specifications. DJI Agriculture. URL: <https://ag.dji.com/mavic-3-m/specs> (дата звернення: 26.06.2026).
27. DJI Mavic 3 Multispectral Edition. See More, Work Smarter. DJI Agriculture. URL: <https://ag.dji.com/mavic-3-m> (дата звернення: 26.06.2026).
28. Duckett T., Pearson S., Blackmore S., Grieve B., Chen W.-H., Cielniak G., Cleaversmith J., Dai J., Davis S., Fox C., From P., Georgilas I., Gill R., Gould I., Hanheide M., Iida F., Neumann G., Paoletti P., Pridmore T., Ross D., Smith M., Stoelen M., Swainson M., Wane S., Wilson P., Wright I., Yang G.-Z. Agricultural Robotics: The Future of Robotic Agriculture. arXiv. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1806.06762> (дата звернення: 26.06.2026).

29. Kotaniemi J., Käsäkoski N., Heikkilä T. A Weeding Robot for Seedling Removal. arXiv. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2405.12596> (дата звернення: 26.06.2026).

30. Blok P. M., Magistri F., Stachniss C., Wang H., BurrIDGE J., Guo W. High-throughput 3D shape completion of potato tubers on a harvester. arXiv. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2407.21341> (дата звернення: 26.06.2026).