МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Скалозуб Олег Валентинович

631.3:635.21

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення комплексу машин для вирощування картоплі з модернізацією секції робочих органів комбайна

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 _____ Скалозуб О.В.

Керівник роботи
Білецький В.Р.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Скалозуб Олег Валентинович. Удосконалення комплексу машин для вирощування картоплі з модернізацією секції робочих органів комбайна. – *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 картоплі з модернізацією секції робочих органів картоплезбирального комбайна. У першому розділі проаналізовано сучасний стан картоплярства у світі та Україні, розглянуто основні технології вирощування картоплі, їх переваги, недоліки та напрями подальшого розвитку. Встановлено, що підвищення ефективності виробництва картоплі можливе за рахунок використання високопродуктивної техніки, точного землеробства, автоматизованого контролю технологічних операцій і зменшення втрат під час збирання. У другому розділі спроєктовано технологію вирощування картоплі для умов Полісся Житомирської області з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей зони, строків виконання робіт і потреби в сучасному машинно-тракторному комплексі. Складено технологічну карту вирощування картоплі, графік завантаження техніки, підібрано сучасні трактори, ґрунтообробні, садильні, доглядові та збиральні машини, а також передбачено використання робота для боротьби з бур’янами і агродрона зі штучним інтелектом для обприскування. У третьому розділі виконано аналіз конструкцій картоплезбиральних комбайнів, агротехнічних вимог до збирання картоплі та особливостей роботи викопуючої секції комбайна. Запропоновано модернізацію секції робочих органів за рахунок використання сферичного диска, обґрунтовано його основні конструктивно-кінематичні параметри та виконано розрахунок елементів на міцність. Практичне значення роботи полягає у підвищенні якості викопування картоплі, зменшенні пошкодження бульб, покращенні сепарації ґрунту та підвищенні ефективності механізованого вирощування і збирання картоплі в умовах Полісся.

Ключові слова: картопля, технологія вирощування, комплекс машин, картоплезбиральний комбайн, викопуюча секція, роботизація.

ANNOTATION

Oleg Valentynovych Skalozub. Improvements to a range of potato-growing machinery, including the modernisation of the harvester's working parts section. – *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 potato-growing machinery, with a focus on modernising the working parts of a potato harvester. The first chapter analyses the current state of potato farming worldwide and in Ukraine, and examines the main potato-growing technologies, their advantages, disadvantages and areas for further development. It has been established that improving the efficiency of potato production is possible through the use of high-performance machinery, precision farming, automated control of operational processes and the reduction of losses during harvesting. The second chapter outlines a potato cultivation technology tailored to the conditions of the Polissya region in Zhytomyr Oblast, taking into account the area's soil and climatic characteristics, the timing of operations and the need for a modern fleet of machinery and tractors. A potato cultivation flowchart and a machinery utilisation schedule have been drawn up; modern tractors, tillage, planting, cultivation and harvesting machines have been selected; and provision has been made for the use of a robot for weed control and an agricultural drone equipped with artificial intelligence for spraying. The third chapter analyses the designs of potato harvesters, the agrotechnical requirements for potato harvesting, and the operational characteristics of the harvester's digging section. A modernisation of the working parts section is proposed through the use of a spherical disc; its main design and kinematic parameters are substantiated, and strength calculations for the components have been carried out. The practical significance of this work lies in improving the quality of potato harvesting, reducing damage to tubers, enhancing soil separation, and increasing the efficiency of mechanised potato cultivation and harvesting in the Polissia region.

Keywords: potato, cultivation technology, machinery complex, potato harvester, digging section, robotisation.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ……...……..8
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ ДЛЯ УМОВ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ…….……13
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СЕКЦІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА…….……...25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….……41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……...…..44

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Картопля є однією з найважливіших продовольчих культур у світі та Україні, оскільки вона має високу харчову цінність, широко використовується у харчовій промисловості, тваринництві та переробній галузі. Для України картопля традиційно є стратегічною сільськогосподарською культурою, яка займає важливе місце у забезпеченні продовольчої безпеки населення. Особливо актуальним її вирощування є для зони Полісся, зокрема Житомирської області, де ґрунтово-кліматичні умови є достатньо сприятливими для формування високих урожаїв за умови дотримання науково обґрунтованої технології виробництва.

Сучасне картоплярство потребує впровадження високопродуктивних машин, енергоощадних технологій, засобів точного землеробства, автоматизованих систем керування та роботизованих технічних рішень. Значна частина витрат у технології вирощування картоплі припадає на обробіток ґрунту, садіння, догляд за посівами, захист рослин і збирання врожаю. Найбільш трудомісткою та відповідальною операцією є збирання картоплі, оскільки саме на цьому етапі можливі значні втрати врожаю, механічні пошкодження бульб, погіршення їх товарної якості та зниження придатності до тривалого зберігання.

Ефективність роботи картоплезбиральних комбайнів значною мірою залежить від конструкції їх викопуючих та сепаруючих робочих органів. Під час збирання машина повинна якісно підкопувати гребені, відокремлювати бульби від ґрунту, рослинних решток і домішок, забезпечувати мінімальне пошкодження картоплі та стабільну роботу в різних ґрунтово-кліматичних умовах. У зоні Полісся, де ґрунти часто мають підвищену вологість, неоднорідну структуру та можуть утворювати грудки, особливого значення набуває удосконалення саме секції робочих органів комбайна.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення ефективності механізованого вирощування і збирання картоплі

шляхом удосконалення комплексу машин та модернізації викопуючої секції картоплезбирального комбайна. Запропоновані технічні рішення мають бути спрямовані на покращення якості підкопування гребенів, зменшення втрат і пошкодження бульб, підвищення продуктивності агрегату та адаптацію машини до умов Полісся Житомирської області.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення комплексу машин для вирощування картоплі з модернізацією секції робочих органів картоплезбирального комбайна з метою підвищення якості виконання технологічного процесу збирання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати сучасний стан картоплярства у світі та Україні;

– розглянути сучасні технології вирощування картоплі та перспективні напрями їх розвитку;

– обґрунтувати технологію вирощування картоплі для умов Полісся Житомирської області;

– скласти технологічну карту вирощування картоплі та підібрати сучасний комплекс машин;

– розглянути можливість застосування роботизованих засобів для боротьби з бур’янами та агродронів для обприскування;

– проаналізувати конструкції картоплезбиральних комбайнів і вимоги до їх роботи;

– запропонувати модернізацію секції робочих органів комбайна;

– виконати розрахунок основних конструктивно-кінематичних параметрів модернізованого робочого органа.

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

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування картоплі та конструктивно-технологічні параметри модернізованої секції робочих органів картоплезбирального комбайна.

У роботі використано методи аналізу науково-технічної інформації, порівняння існуючих технологій і машин, технологічного проєктування, розрахунку машинно-тракторних агрегатів, конструктивного аналізу робочих органів та інженерних розрахунків елементів модернізованої секції.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. . Білецький В.Р., **Скалозуб О.Д,** Павлюк В.О., Сорока Б.А. Перспективні способи збирання картоплі. 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. 126.-128

2. Білецький Віктор, **Скалозуб Олег,** Островський Олександр. Прогнозування залишкового ресурсу вузлів комбайнів за допомогою нейронних мереж. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2026 року. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2026.С.12-15.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованого комплексу машин і модернізованої викопуючої секції комбайна для підвищення ефективності виробництва картоплі. Реалізація запропонованих рішень дає змогу покращити якість підкопування бульб, зменшити їх механічне пошкодження, підвищити продуктивність збирального агрегату, скоротити втрати врожаю та забезпечити більш раціональне використання техніки протягом виробничого сезону.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 32 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 47 сторінок комп’ютерного тексту, містить 10 рисунків, 9 таблиць та 2 додатки

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ

1.1. Стан галузі картоплярства у світі та Україні

Картопля є однією з провідних продовольчих культур світу, оскільки поєднує високу врожайність, поживну цінність і широку придатність до переробки. Вона використовується як харчовий продукт, сировина для крохмальної та переробної промисловості, а також як кормова культура. Сучасне картоплярство розвивається в умовах зростання вимог до якості продукції, стабільності врожаю, економії води, енергії та засобів захисту рослин.

За даними FAOSTAT, у 2024 році світове виробництво картоплі становило близько 390,4 млн т за зібраної площі приблизно 17,1 млн га. Основними виробниками залишаються Китай, Індія, Україна, Росія, США, Німеччина та Франція. Водночас зростає не стільки площа вирощування, скільки середня врожайність, що пояснюється застосуванням якісного насіння, зрошення, точного землеробства і високопродуктивних машин.

Україна традиційно належить до найбільших виробників картоплі в Європі. Культура вирощується майже в усіх регіонах, однак найсприятливішими є Полісся та Лісостеп. Особливістю вітчизняної галузі є значна частка виробництва в господарствах населення, що ускладнює формування однорідної товарної партії, розвиток переробки та довготривалого зберігання. Для промислового картоплярства актуальними залишаються сертифіковане насіння, сучасні сховища, зрошення і комплексна механізація.

1.2. Сучасні технології вирощування картоплі

Технологія вирощування картоплі включає вибір попередника, основний і передпосівний обробіток ґрунту, підготовку насіннєвого матеріалу, садіння, формування гребенів, догляд за посадками, захист рослин, зрошення, видалення бадилля, збирання, сортування та зберігання. Усі операції повинні бути

узгоджені між собою, адже помилка на ранньому етапі ускладнює роботу машин під час догляду й особливо під час збирання.

Таблиця 1.1 – Характерні риси розвитку картоплярства

Напрям оцінювання	Світове виробництво	Виробництво в Україні
Роль культури	Базова продовольча культура та сировина для переробки	Традиційна культура продовольчої безпеки
Головна тенденція	Підвищення врожайності й технологічності	Перехід до товарного виробництва та стандартизації
Основні проблеми	Кліматичні ризики, дефіцит води, вимоги ринку	Роздрібненість, нестача сховищ, висока частка ручної праці
Технічний пріоритет	Точне землеробство, автоматизація, бережне збирання	Сучасний комплекс машин і зменшення втрат під час збирання

Найпоширенішою для товарного виробництва є гребенева технологія. Вона передбачає розміщення бульб у сформованому гребені, який швидше прогрівається, краще аерується і створює сприятливі умови для розвитку столонів. Для цієї технології важливими є рівномірна структура ґрунту, правильна геометрія гребеня, точна глибина садіння та прямолінійність рядків. Саме ці показники визначають якість подальшого механізованого обробітку і роботу картоплезбирального комбайна.

Сучасні господарства використовують комбіновані агрегати, які за один прохід подрібнюють ґрунт, вирівнюють поверхню, формують гребінь і створюють якісне посівне ложе. Саджалки забезпечують точне укладання бульб, одночасне внесення добрив і контроль пропусків. У догляді застосовують міжрядні культиватори, гребенеутворювачі, обприскувачі з секційним контролем, а також системи моніторингу вологості й фітосанітарного стану поля.

1.3. Комплекс машин для вирощування та збирання картоплі

Раціональний комплекс машин повинен відповідати площі вирощування, ґрунтовим умовам, ширині міжрядь, сорту картоплі та способу реалізації продукції. До нього входять машини для основного обробітку ґрунту,

передпосівної підготовки, садіння, формування гребенів, догляду, захисту, видалення бадилля, збирання, транспортування і післязбиральної доробки. Важливо, щоб ширина захвату, колія трактора і параметри робочих органів були узгоджені між собою.

На етапі обробітку ґрунту використовують плуги, глибокорозпушувачі, дискові борони, культиватори та фрезерні гребенеутворювачі. Їхнє завдання - створити пухкий, дрібногрудочкуватий шар без переущільнення. Для садіння застосовують картоплесаджалки з ложечковими або стрічковими висаджувальними апаратами, бункерами для добрив і системами контролю норми висаджування. Під час догляду важливими є агрегати, які не руйнують гребінь і не пошкоджують рослини.

Найбільш складною операцією є збирання, оскільки комбайн повинен підкопати гребінь, відокремити бульби від ґрунту, бадилля, грудок і каміння та передати їх у бункер або транспортний засіб. Робота викопуючої секції визначає рівномірність подачі вороху на сепаруючі органи, тяговий опір і рівень пошкодження бульб. Тому модернізація робочих органів комбайна є важливим резервом підвищення продуктивності та якості збирання.

Таблиця 1.2 – Основні операції та машини у технології вирощування картоплі

Операція	Машини та обладнання	Технологічне призначення
Підготовка ґрунту	Плуг, глибокорозпушувач, дискова борона, фреза	Створення пухкого шару та вирівнювання поля
Садіння	Картоплесаджалка, гребенеутворювач	Рівномірне розміщення бульб і формування гребеня
Догляд	Культиватор, обприскувач, машина для механічного знищення бур’янів	Збереження структури гребеня, захист і живлення рослин
Збирання	Бадилляподрібнювач, картоплезбиральний комбайн	Підкопування, сепарація вороху, мінімізація втрат і пошкоджень
Післязбиральна доробка	Сортувальний пункт, транспортери, сховище	Очищення, калібрування та збереження якості продукції

1.4. Перспективні напрями вдосконалення технології

Перспективний розвиток картоплярства пов’язаний із підвищенням ресурсної ефективності. Основними напрямами є використання

сертифікованого насіння, адаптованих сортів, точного внесення добрив, інтегрованого захисту рослин, раціонального зрошення та якісного зберігання. Важливо не лише отримати високий урожай, а й забезпечити товарність, лежкість і придатність бульб до переробки.

Важливим резервом є точне землеробство. GPS-навігація забезпечує прямолінійне садіння і точну роботу міжрядних агрегатів. Датчики вологості допомагають планувати поливи, а супутникові та дронові знімки дають змогу виявляти неоднорідність розвитку рослин. Карти-завдання можуть використовуватися для диференційованого внесення добрив і засобів захисту. Це знижує витрати ресурсів і підвищує стабільність урожаю.

Для теми роботи особливе значення має зменшення механічного пошкодження бульб під час збирання. Перспективними є обгумовані транспортери, плавне регулювання швидкості елеваторів, автоматичне підтримання глибини підкопування, удосконалення форми лемешів і дисків, а також рівномірний розподіл вороху по ширині сепаруючих органів. Такі рішення дозволяють підвищити чистоту продукції та зменшити втрати.

1.5. Можливість роботизації технологічних процесів

Роботизація картоплярства є перспективною, оскільки культура потребує точного виконання повторюваних операцій і постійного моніторингу поля. Найдоступнішими для впровадження є системи автоматичного водіння, RTK-навігація, контроль секцій обприскувача, електронне дозування під час садіння, датчики вологості та цифровий облік технологічних операцій.

У догляді за посадками все більшого значення набувають камери та алгоритми штучного інтелекту, які розпізнають бур’яни і культурні рослини. На цій основі можливе механічне знищення бур’янів або точкове внесення мікродоз гербіциду. У Європі вже випробовуються системи високоточного обприскування картоплі та падалиці картоплі, які працюють за принципом обробки окремої рослини. Це дає можливість зменшити витрати препаратів і екологічне навантаження.

Повністю автономне збирання картоплі поки що залишається складним завданням через неоднорідність ґрунту, наявність грудок, каміння і ризик пошкодження бульб. Проте окремі елементи автоматизації вже можуть бути впроваджені у комбайнах: контроль глибини підкопування, датчики навантаження елеваторів, регулювання швидкості транспортерів, відеоконтроль потоку вороху та автоматичне налаштування робочих органів. Для України доцільним є поетапне впровадження таких рішень: від навігації та датчиків до роботизованого догляду й автоматизованого керування збиранням.

Висновки по розділу

Картоплярство є важливою складовою продовольчої безпеки та має значний потенціал розвитку завдяки підвищенню врожайності, механізації, цифровізації й покращенню якості зберігання. Для України актуальними залишаються професіоналізація виробництва, використання якісного насіннєвого матеріалу, розвиток сховищ і впровадження сучасного комплексу машин.

Аналіз технологій показує, що найбільш відповідальною операцією є збирання, під час якого формуються основні втрати та механічні пошкодження бульб. Тому подальше удосконалення комплексу машин доцільно спрямувати на модернізацію секції робочих органів картоплезбирального комбайна, покращення підкопування гребеня, рівномірну подачу вороху і підвищення якості сепарації.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ ДЛЯ УМОВ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Вихідні умови проєктування технології

Полісся Житомирської області належить до зон, де картопля традиційно займає важливе місце у структурі рослинницького виробництва. Для цієї території характерні дерново-підзолисті та супіщані ґрунти, достатнє природне зволоження, відносно помірний температурний режим і підвищений ризик перезволоження окремих площ у весняний та осінній періоди. Такі умови загалом сприятливі для формування високого врожаю бульб, але потребують правильної системи обробітку ґрунту, якісного гребенеутворення, своєчасного захисту від фітофторозу та зменшення механічного пошкодження продукції під час збирання.

У кваліфікаційній роботі технологію проєктовано для умовного спеціалізованого господарства, яке вирощує картоплю на площі 100 га. Розрахункова врожайність товарної картоплі прийнята на рівні 30 т/га, що відповідає інтенсивній технології з використанням сертифікованого садивного матеріалу, локального внесення добрив, системи моніторингу посівів і сучасного комплексу машин. Загальний валовий збір за таких умов становить близько 3000 т бульб.

Головною метою проєктування є формування такого комплексу машин, який забезпечує високу якість підготовки ґрунту, точне садіння, мінімізацію ручної праці, скорочення витрат пального і хімічних засобів захисту рослин, а також зниження втрат під час комбайнового збирання. Особливу увагу приділено операціям догляду за посівами і збирання, оскільки саме вони найбільше впливають на чистоту вороху, пошкоджуваність бульб та економічний результат виробництва.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проєктування технології

Показник	Прийняте значення	Обґрунтування
Площа вирощування картоплі	100 га	площа, достатня для використання спеціалізованої техніки
Зона вирощування	Полісся Житомирської області	легкі та середні ґрунти, достатнє зволоження
Спосіб садіння	гребеневий, міжряддя 70-75 см	краща аерація ґрунту і зручність механізованого збирання
Розрахункова врожайність	30 т/га	інтенсивна технологія та якісний садивний матеріал
Валовий збір	3000 т	потреба у комбайні з високою сепарувальною здатністю
Основний напрям удосконалення	модернізація секції робочих органів комбайна	зниження втрат і пошкоджень під час викопування

2.2. Обґрунтування сучасної технологічної схеми вирощування

Для умов Полісся доцільно застосовувати інтенсивну гребеневу технологію вирощування картоплі. Вона передбачає осіннє накопичення вологи, глибоке розпушування орного шару, весняне створення пухкого гребеня, точне розміщення бульб у рядку, механізований догляд за міжряддями, диференційований захист рослин і потокове збирання з подальшим сортуванням та закладанням продукції на зберігання.

Сівозміна повинна забезпечувати повернення картоплі на те саме поле не раніше ніж через 3-4 роки. Кращими попередниками є озимі зернові, зернобобові, багаторічні трави, сидеральні культури та кукурудза на силос. Не рекомендується розміщувати картоплю після томатів, перцю та інших пасльонових культур, оскільки це підвищує ризик накопичення спільних хвороб і шкідників.

У системі удобрення поєднують органічні добрива, мінеральне живлення та локальне внесення стартових доз під час садіння. На легких ґрунтах Полісся важливо уникати надмірних разових доз азоту, оскільки частина елементів живлення може вимиватися за межі кореневмісного шару. Тому перевагу

надають дробному живленню, використанню картограм агрохімічного стану поля та точному внесенню добрив.

Система захисту рослин має базуватися на принципах інтегрованого захисту. У ранні фази розвитку культури найбільшу роль відіграє контроль бур'янів, а у другій половині вегетації - своєчасне попередження фітофторозу та альтернаріозу. Застосування робота для механічного прополювання і агродрона для диференційованого обприскування дозволяє зменшити загальне хімічне навантаження на поле та краще працювати у вікнах сприятливої погоди.

Схема потокової технології вирощування картоплі для умов Полісся

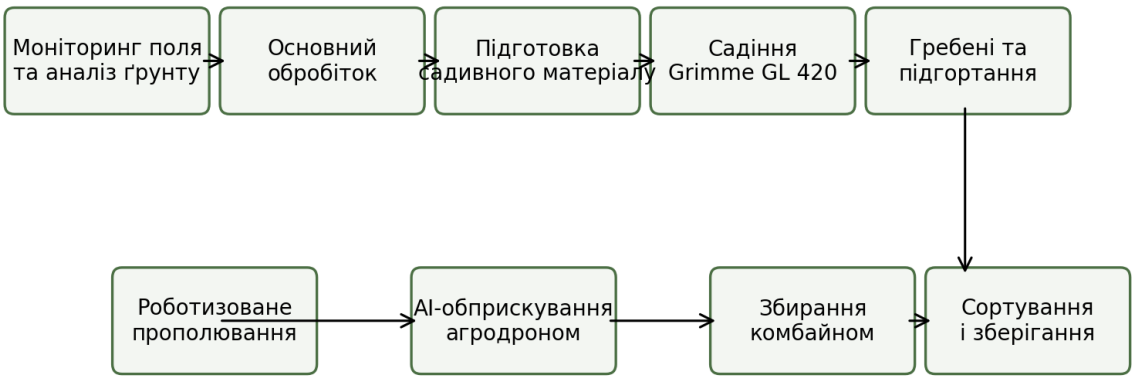


Рис. 2.1. Загальна схема потокової технології вирощування картоплі

2.3. Підбір сучасного комплексу машин

Комплекс машин підібрано за принципом технологічної сумісності, високої продуктивності та придатності до роботи на легких і середніх ґрунтах Полісся. Для енергонасичених операцій основного обробітку та збирання доцільно використовувати трактор John Deere 8R 410 або аналогічний трактор класу понад 300 кВт. Для садіння, гребенеутворення, підгортання, скошування бадилля і транспортних робіт доцільний універсальний трактор Fendt 724 Vario. Для точного садіння вибрано чотирирядну саджалку Grimme GL 420 Exacta, а

для збирання - дворядний бункерний комбайн Grimme EVO 280 або модернізований картоплезбиральний комбайн з удосконаленою викопувальною секцією.

Вибір роботизованих засобів обґрунтовується потребою зменшити залежність господарства від сезонної ручної праці. FarmDroid FD20 є сонячним автономним польовим роботом, який використовує RTK-навігацію, виконує механічне прополювання і може працювати у міжряддях. За офіційними технічними даними, робоча ширина платформи становить 3,5 м, кількість активних рядків - до 12, а точність RTK-навігації декларується на рівні 8 мм [1]. У проєктній технології робот використовується не для садіння картоплі, а для догляду за міжряддями після формування гребенів, коли рядки вже задані RTK-картою поля.

Для обприскування прийнято агродрон DJI Agras T50. Його застосування доцільне для обробки невеликих і середніх полів, крайових ділянок, вологих зон, де небажане ущільнення ґрунту важкою технікою, а також для оперативного внесення фунгіцидів за картами ризику. Офіційні матеріали DJI зазначають корисне навантаження 40 кг для обприскування, 50 кг для розкидання, максимальний потік рідини до 16 л/хв у базовій конфігурації, фазовані радари та бінокулярну систему бачення [2]. У розділі поняття штучного інтелекту розглядається як поєднання автоматичного планування маршруту, виявлення перешкод, обробки карт-завдань та прийняття рішень за даними моніторингу.

Таблиця 2.2 – Склад комплексу машин для проєктної технології

Група робіт	Запропонована машина	Основні переваги	Примітка
Енергонасичені операції	John Deere 8R 410	висока потужність, точне землеробство, ISOBUS	основний обробіток, збирання
Передпосівний обробіток	Fendt 724 Vario + Grimme GF 400	плавне регулювання швидкості, якісне формування гребенів	працює з картопляною технікою

Продовження таблиці 2.2.

Садіння	Grimme GL 420 Exacta	4 садильні апарати, точне укладання бульб	локальне удобрення, RTK
Боротьба з бур’янами	FarmDroid FD20	автономність, механічне прополювання, RTK	зменшення гербіцидного навантаження
Захист рослин	DJI Agras T50	точкове обприскування, датчики, карти-завдання	особливо корисний на перезволожених ділянках
Збирання	Grimme EVO 280 / модернізований КПК-3	дбайливе викопування, сепарація, бункер	орієнтир для модернізації робочої секції



Рис. 2.2. Польовий робот FarmDroid FD20 для механічного догляду за посівами.



Рис.2.3. Агродрон DJI Agras T50 для обприскування за картами-завданнями.

2.4. Технологічна карта вирощування картоплі

Технологічна карта складена для площі 100 га. У ній враховано повний цикл робіт: від агрохімічного обстеження поля до закладання врожаю на зберігання. У розрахунках використано орієнтовну експлуатаційну продуктивність агрегатів, яка може коригуватися залежно від фактичної довжини гону, вологості ґрунту, конфігурації поля, рівня засміченості та організації транспортного забезпечення.

2.5. Роботизація процесів догляду та захисту рослин

Найбільш перспективним напрямом модернізації технології вирощування картоплі є поєднання точного землеробства, автономних машин і цифрового моніторингу. Після садіння усі рядки фіксуються у цифровій карті поля. На основі цієї карти робот може рухатися між гребенями, а агродрон - виконувати обробки лише в необхідних зонах. У результаті зменшується кількість перекриттів, ущільнення ґрунту, витрата пального, води та препаратів.

Робот FarmDroid FD20 у проєкті виконує два основні проходи: раннє механічне прополювання після появи сходів і повторне міжрядне прополювання перед змиканням рядків. Його доцільно використовувати на полях з правильно сформованими гребенями та рівномірною шириною міжрядь. Для картоплі важливо налаштувати робочі органи так, щоб вони не підрізали кореневу систему і не руйнували гребінь, а лише розпушували поверхневий шар та знищували проростки бур’янів.

Агродрон DJI Agras T50 працює за цифровою картою-завданням. Спочатку мультиспектральний дрон або наземний огляд визначає ділянки з неоднорідним розвитком рослин, симптомами ураження або локальним засміченням. Потім у програмному забезпеченні формується маршрут і норма внесення. Такий підхід особливо цінний у Поліссі, де після дощів важкі самохідні обприскувачі можуть пошкоджувати структуру ґрунту і гребені.

Таблиця 2.3 – Технологічна карта вирощування картоплі на площі 100 га

№	Технологічна операція	Строк виконання	Склад агрегату / машина	Обсяг робіт	Продуктивність	Потреба часу
1	Агрохімічне обстеження, GPS-картування поля	серпень	дрон DJI Mavic 3M, RTK-приймач	100 га	25 га/год	4 год
2	Лущення стерні попередника, закриття вологи	серпень	Fendt 942 Vario + Väderstad Carrier 650	100 га	6,0 га/год	17 год
3	Внесення органічних добрив 35-40 т/га	вересень	John Deere 8R 410 + Bergmann TSW 6240 S	4000 т	60 т/год	67 год
4	Основний обробіток: оранка або глибоке розпушування	вересень	John Deere 8R 410 + Lemken Diamant 16 / Karat 12	100 га	2,6 га/год	38 год
5	Вирівнювання поля після основного обробітку	жовтень	Fendt 942 + Horsch Joker 6 RT	100 га	6,5 га/год	15 год
6	Весняне боронування та закриття вологи	квітень	Fendt 724 Vario + Einböck Aerostar 1200	100 га	9,0 га/год	11 год
7	Передсадивне фрезерування та формування пухкого шару	квітень	Fendt 724 + Grimme GF 400 / Baselier FF	100 га	2,8 га/год	36 год
8	Сортування і протруювання насіннєвих бульб	квітень	Grimme RH 24-60, протруювач, навантажувач Merlo	300 т	20 т/год	15 год
9	Садіння картоплі з локальним внесенням мінеральних добрив	кінець квітня - травень	Fendt 724 + Grimme GL 420 Exacta, RTK-навігація	100 га	1,6 га/год	63 год
10	Післясадивне гребенеутворення / підгортання	травень	Fendt 724 + Grimme GH 4 / GF 400	100 га	2,5 га/год	40 год
11	Роботизоване міжрядне прополювання, 1-й прохід	травень	FarmDroid FD20, RTK, механічні робочі органи	100 га	6,5 га/добу	15 діб
12	Роботизоване міжрядне прополювання, 2-й прохід	червень	FarmDroid FD20, корекція за картою рядків	100 га	6,5 га/добу	15 діб
13	Моніторинг сходів, індекс NDVI, виявлення осередків хвороб	червень - липень	мультиспектральний дрон + GIS-платформа	300 га-обльотів	50 га/год	6 год
14	Обприскування проти фітофторозу та шкідників за картами-завданнями	червень - серпень	DJI Agras T50, AI-маршрути, радар і бінокулярне бачення	400 га-обробок	10 га/год	40 год
15	Позакореневе живлення та біостимулятори змінною нормою	липень	DJI Agras T50 / самохідний обприскувач John Deere R4150i	100 га	10 га/год	10 год
16	Скошування бадилля перед збиранням	серпень - вересень	Fendt 724 + Grimme KS 3600 / Baselier haulm topper	100 га	3,0 га/год	33 год
17	Десикація за потреби точковим внесенням	серпень - вересень	DJI Agras T50, диференційована карта норм	100 га	10 га/год	10 год
18	Збирання картоплі комбайном із модернізованою секцією робочих органів	вересень	John Deere 8R 410 + Grimme EVO 280 / КПК-3 модернізований	100 га	0,8 га/год	125 год
19	Транспортування бульб від комбайна до сортувального пункту	вересень	Fendt 724 + причепи Fliegl ASW, телескопічний навантажувач	3000 т	90 т/год	33 год
20	Післязбиральне очищення, сортування, закладання на зберігання	вересень - жовтень	Grimme RH 24-60, Miedema ML, вентильоване сховище	3000 т	25 т/год	120 год

Роботизація не повністю замінює традиційний комплекс машин, але змінює його функцію: тракторні агрегати виконують енергоємні операції, а автономні системи беруть на себе повторювані операції догляду та моніторингу. Найбільший ефект очікується за умови використання єдиної цифрової бази поля: межі ділянок, лінії рядків, карти врожайності, карти бур'янів, карти внесення добрив і препаратів.

Таблиця 2.4 – Місце роботизованих засобів у технологічному процесі

Етап	Роботизований засіб	Основне завдання	Очікуваний результат
До садіння	дрон з мультиспектральною камерою	картування поля, визначення неоднорідностей	точні межі поля і карти-завдання
Після садіння	RTK-навігація саджалки	запис траєкторій рядків	основа для роботи робота і дрона
Догляд за посівами	FarmDroid FD20	механічне міжрядне прополювання	менше гербіцидів і ручної праці
Захист рослин	DJI Agras T50	локальне обприскування фунгіцидами та інсектицидами	оперативність і зменшення ущільнення ґрунту
Перед збиранням	дрон + комбайн з датчиками	оцінка стиглості, контроль вологості та стану бадилля	краще планування збирання

2.6. Графік виконання робіт і завантаження техніки

Графік виконання робіт узгоджено з біологічними особливостями картоплі та кліматичними умовами Полісся. Осінній період використовується для основного обробітку та внесення органічних добрив. Весняні роботи необхідно провести у стислі строки, щоб зберегти вологу і забезпечити оптимальне прогрівання ґрунту. Найбільш напруженими періодами є травень, коли виконують садіння і формування гребенів, та вересень, коли одночасно проводять скошування бадилля, десикацію, збирання, транспортування і сортування продукції.

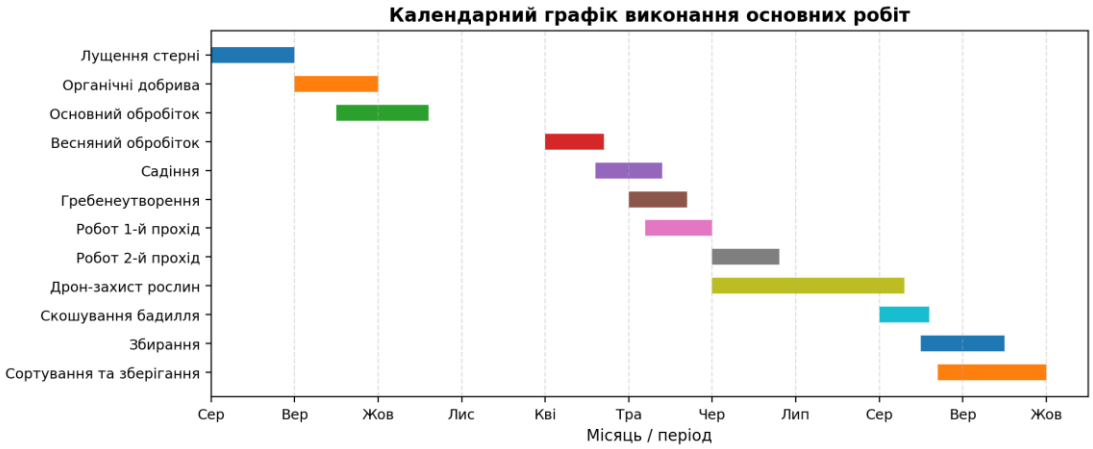


Рис. 2.4. Календарний графік виконання основних технологічних операцій.

Завантаження техніки розраховано за тривалістю виконання робіт. Для трактора John Deere 8R 410 максимальне навантаження припадає на вересень, оскільки саме тоді він агрегатується з картоплезбиральним комбайном. Трактор Fendt 724 Vario найбільш активно використовується у квітні-травні та під час транспортних робіт. Агродрон завантажений переважно в червні-серпні, коли проводиться основний захист посівів від хвороб і шкідників. Автономний робот працює у травні-червні, що дозволяє розвантажити тракторний парк у період пікового весняного навантаження.

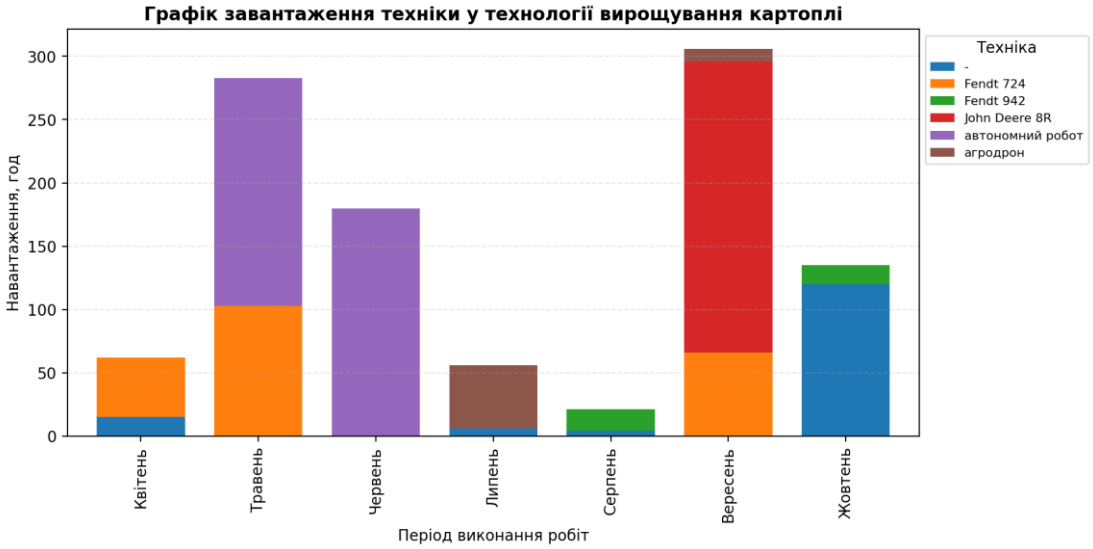


Рис. 2.5. Графік завантаження основної техніки протягом сезону

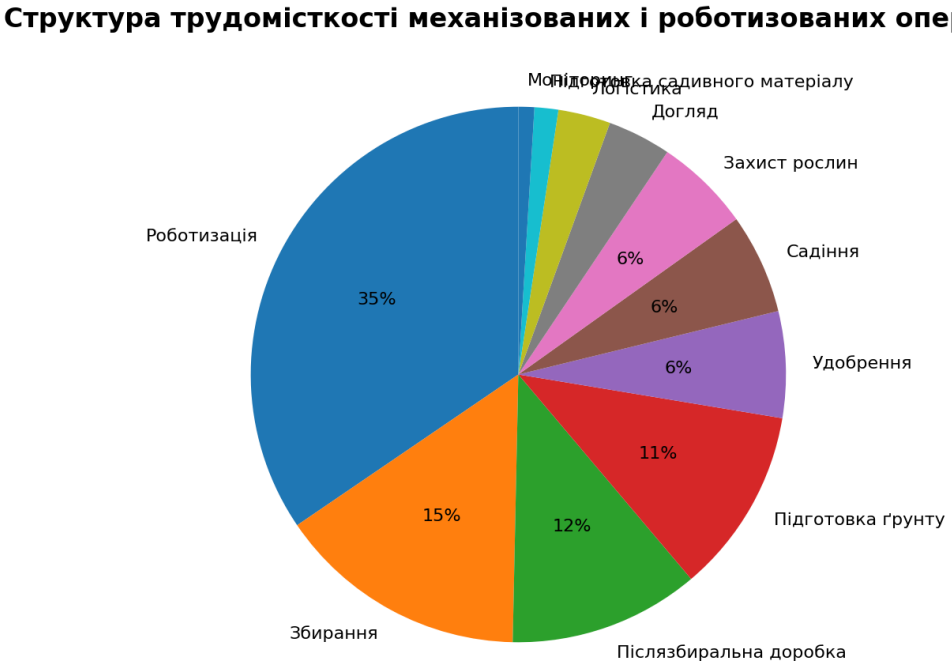


Рис. 2.6. Структура трудомісткості операцій у проєктній технології.

2.7. Очікувана ефективність запропонованої технології

Запропонована технологія має комплексний ефект. По-перше, точне садіння і стабільне формування гребенів створюють рівномірне розміщення бульб, що полегшує роботу викопувальної секції комбайна. По-друге, механічне роботизоване прополювання зменшує потребу у суцільному застосуванні гербіцидів, а агродрон забезпечує швидке реагування на осередки хвороб. По-третє, модернізація секції робочих органів комбайна спрямована на м’якше підкопування гребеня, зниження порізів, кращу подачу вороху на сепаруючі органи та зменшення кількості ґрунтових домішок.

Економічний ефект формується за рахунок підвищення товарності врожаю, скорочення ручної праці, зменшення простоїв техніки і зниження непродуктивних втрат. Найбільш відчутним резервом є зменшення пошкодження бульб під час збирання, оскільки навіть незначне травмування знижує лежкість продукції у сховищі і збільшує втрати під час зберігання.

Тому модернізація викопувальної секції комбайна логічно доповнює цифровізацію та роботизацію попередніх операцій.

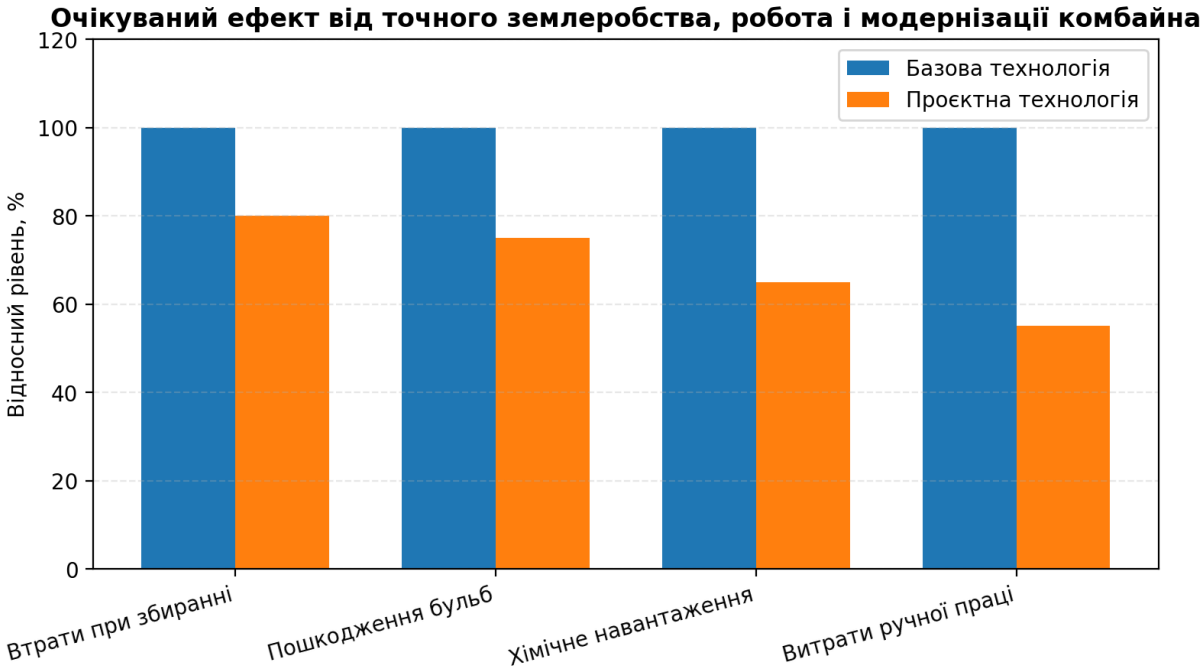


Рис. 2.7. Орієнтовний ефект від впровадження проєктної технології.

Таблиця 2.5 – Порівняльна оцінка базової та проєктної технології

Показник	Базова технологія	Проєктна технологія	Очікуваний результат
Контроль бур’янів	тракторний культиватор і гербіциди	FarmDroid FD20 + мінімальне страхове внесення	менше ручної праці та хімічного навантаження
Захист від хвороб	суцільне обприскування	агродрон за картами-завданнями	економія води і краща оперативність
Садіння	механічне без цифрової карти	RTK-садіння з фіксацією рядків	точніші міжряддя для робота і комбайна
Збирання	серійна викопувальна секція	модернізована секція робочих органів	менше втрат і пошкоджень бульб
Управління даними	окремі операції без єдиної бази	цифрова карта поля і машинні дані	планування за фактичним станом посівів

Висновки по розділу

Для умов Полісся Житомирської області запропоновано інтенсивну гребеневу технологію вирощування картоплі на площі 100 га. Вона включає агрохімічне обстеження, основний і передсадивний обробіток ґрунту, точне

садіння, роботизований догляд за міжряддями, диференційований захист рослин агродроном, скошування бадилля, комбайнове збирання та післязбиральну доробку продукції.

Складено технологічну карту, у якій для кожної операції визначено строки виконання, склад агрегату, обсяг робіт, продуктивність і потребу часу. Найбільше завантаження припадає на період садіння та збирання, тому ці операції потребують найкращої організації машинно-тракторного парку і транспортного забезпечення.

До комплексу машин включено сучасну енергонасичену техніку, картопляну саджалку Grimme GL 420 Exacta, робот FarmDroid FD20 для боротьби з бур’янами, агродрон DJI Agras T50 для точного обприскування та комбайн Grimme EVO 280 або модернізований картоплезбиральний комбайн. Застосування цифрових карт, RTK-навігації і роботизованих засобів дає змогу зменшити ущільнення ґрунту, витрати препаратів і потребу у ручній праці.

Отже, проєктна технологія створює передумови для підвищення продуктивності вирощування картоплі, покращення якості врожаю та ефективного використання модернізованої секції робочих органів комбайна. Саме узгодження попередніх технологічних операцій із процесом збирання є важливою умовою зниження втрат і пошкодження бульб.

РОЗДІЛ 3
ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СЕКЦІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

3.1. Технічний аналіз конструкцій картоплезбиральних комбайнів

Ефективність механізованого збирання картоплі значною мірою визначається конструкцією викопувальної та сепарувальної частин комбайна. Саме ці робочі органи першими взаємодіють із гребенем, відділяють шар ґрунту з бульбами, спрямовують ворох на елеватори та створюють умови для подальшого очищення продукції від землі, бадилля, грудок і каміння. Тому перед вибором напряму модернізації доцільно порівняти поширені вітчизняні та зарубіжні картоплезбиральні машини, виділивши їхні конструктивні особливості й технологічні переваги.

Картоплезбиральний комбайн КПК-2 належить до напівнавісних дворядних машин. Він призначений для роботи на легких, середніх і важких ґрунтах за вологості до 24 %, а також може використовуватись на ділянках, де трапляються камені розміром до 150 мм. За технологічною схемою машина виконує підкопування двох рядків, подачу бульбоносного шару на сепарувальні органи, відокремлення основної маси ґрунту та вивантаження зібраної продукції. Перевагою такого комбайна є відносна простота компонування, однак за підвищеної вологості або значної грудкуватості ґрунту його сепарувальні можливості можуть бути недостатніми.

КПК-3 є трирядною картоплезбиральною машиною, орієнтованою на збирання картоплі, висадженої гребеневим способом. Його конструкція включає раму з ходовими колесами, підкопувальну секцію, елеватори пруткового типу, пальчасту гірку, рідкопрутковий транспортер, бункер, завантажувальний транспортер, гідросистему, механізми привода та робоче місце оператора. Більша ширина захвату забезпечує підвищення продуктивності, але одночасно висуває жорсткіші вимоги до рівномірності подачі вороху та надійності викопувальних робочих органів.

Багаторядний картоплезбиральний комбайн, розроблений українськими фахівцями з механізації сільського господарства, побудований за схемою з рамою на опорних колесах, підкопуючими органами, секційним сепарувальним елеватором, пристроєм для відділення домішок і вивантажувальним транспортером. Особливість цієї машини полягає у розділенні потоку бульб після первинної сепарації на фракції, що дає змогу зменшити механічні пошкодження картоплі. У конструкції передбачено поперечний транспортер для великої фракції та сепаратори із зустрічним напрямом подачі. Ходові колеса розміщуються в просвітах між секціями елеватора, завдяки чому зберігається компактність машини.

Однорядний комбайн Л-601 виробництва Лідського заводу сільськогосподарських машин є прикладом компактної машини для господарств із невеликими площами або складними умовами поля. Він працює на ґрунтах, засмічених камінням, комплектується сучасними елеваторами та шиповими полотнами, а також агрегатується з тракторами сімейства МТЗ. У конструкції акцент зроблено на зниження пошкодження бульб і спрощення обслуговування.

Комбайни фірми Reekie відзначаються гідравлічним керуванням робочими органами та можливістю зміни колії відповідно до ширини міжрядь. Такий підхід покращує маневреність агрегату на поворотних смугах, спрощує налаштування і полегшує виконання ремонтно-сервісних операцій. Перевагою цієї техніки є також зручність регулювання основних параметрів під конкретні умови поля.

Картоплезбиральний комбайн Е 684 німецького виробництва має спрощену технологічну схему, у якій відсутні складні механізми остаточного відділення домішок. Основними операціями є підкопування, просіювання ґрунту та видалення гички. Машина одночасно викопує три рядки за міжряддя 70–75 см. Сепарація викопаної маси здійснюється двома плоскопасовими грохотами, а відділення бадилля — спеціальним валиком і транспортером з гумовими пальцями. Така конструкція є доступною для

огляду та ремонту, але якість очищення значною мірою залежить від стану ґрунту.

Комбайн Wühlmaus 1733 P має бокове розташування приймальної частини та оснащується трисекційним лемешем із підпружиненими дисковими ножами, які автоматично пристосовуються до умов роботи. Ґрунт сепарується на прутковому елеваторі, а домішки відділяються відкритою системою видалення гички та пальчастою гумовою ґіркою. Машина має кілька базових модифікацій: 1733 P для різних типів ґрунтів, 1377 P для добре просіюваних ґрунтів із незначною засміченістю, а також 1733 для ділянок із підвищеним умістом каміння. Ця конструкція демонструє важливість адаптивних дискових і лемішних органів у сучасних картоплезбиральних машинах.

Порівняння основних конструктивних ознак розглянутих картоплезбиральних машин наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика картоплезбиральних комбайнів

Машина	Кількість рядків	Конструктивна особливість	Оцінка для умов модернізації
КПК-2	2	Напівнавісна схема, робота на ґрунтах різного механічного складу	Доцільне посилення сепарації та зниження травмування бульб
КПК-3	3	Розвинена система елеваторів, шнеків, транспортерів і бункера	Основний об’єкт для модернізації викопувальної секції
Багаторядний комбайн	багаторядний	Секційний елеватор і поділ вороху на фракції	Перспективне рішення для зменшення пошкоджень
Л-601	1	Компактність, шипові полотна, робота на кам’янистих ґрунтах	Підходить для малих площ і складних умов
Reekie	1–2	Гідравлічне керування та регулювання колії	Важливий приклад адаптивності налаштувань
E 684	3	Спрощена схема без складного відділення домішок	Вища ремонтопридатність, але залежність від стану поля
Wühlmaus 1733 P	1–2	Трисекційний леміш, підпружинені дискові ножі, гумові гірки	Підтверджує ефективність гнучко налаштованих дискових органів

3.2. Основні тенденції розвитку картоплезбиральної техніки

Світовий досвід удосконалення картоплезбиральних машин свідчить, що провідні виробники передусім працюють над трьома взаємопов’язаними напрямами: зменшенням механічного пошкодження бульб, підвищенням інтенсивності сепарації ґрунту та збільшенням продуктивності агрегатів без погіршення якості збирання. Усі ці напрями безпосередньо пов’язані з конструкцією робочих органів викопувальної секції, оскільки саме вона формує початковий потік вороху.

Перший напрям полягає у зниженні ударних навантажень на бульби. Для цього в сучасних комбайнах застосовують гідропривід сепарувальних елеваторів, який дає змогу плавно змінювати їхню швидкість у межах приблизно 0,48–1,40 м/с. Оперативне регулювання швидкості дозволяє уникати різких переходів у русі вороху та зменшує кількість ударів бульб об металеві частини. Крім того, широко використовують обгумовані прутки, гумові зірочки, еластичні лопатки елеваторів і демпфувальні стрічки у бункерах, які поглинають енергію падіння картоплі.

Важливим засобом збереження бульб є точне копіювання гребенів і стабілізація глибини підкопування. У комбайнах типу Wühlmaus це забезпечується безступінчасто регульованими опорними котками, які підтримують задане положення лемеша відносно гребеня. Завдяки цьому зменшується імовірність порізів картоплі, а підкопана маса рівномірніше подається на сепарувальні органи.

Другий напрям розвитку пов’язаний із підвищенням сепарувальної здатності машин. На важких і вологих ґрунтах звичайного пруткового елеватора часто недостатньо, тому у конструкціях застосовують додаткові струшувачі хитного, обертового або еліпсоподібного типу. Незалежне регулювання таких струшувачів дає змогу підбирати інтенсивність впливу на ворох залежно від вологості, грудкуватості та засміченості поля. Перспективним є також регулювання амплітуди струшування, що дозволяє поєднати якісну сепарацію з мінімальним травмуванням бульб.

Третій напрям стосується продуктивності. Для її підвищення збільшують робочу ширину комбайнів, удосконалюють схеми передачі вороху між транспортерами, передбачають зміну кута нахилу приймальних і сепарувальних елеваторів, а також регулюють положення лемешів. Такі рішення важливі тому, що надмірний або нерівномірний потік ґрунту перевантажує сепарувальну систему, підвищує втрати й ускладнює очищення бульб.

Узагальнення розглянутих рішень показує, що модернізація викопувальної секції є одним із найефективніших способів підвищення якості роботи картоплезбирального комбайна. Для комбайна КПК-3 доцільно вдосконалити секцію робочих органів шляхом застосування сферичних дискових елементів, які покращують підрізання гребеня, зменшують опір руху, стабілізують подачу вороху на елеватор і створюють умови для подальшої якісної сепарації.

3.3. Агротехнічні вимоги до машинного збирання картоплі

Збирання картоплі належить до найбільш енергоємних операцій у технології її вирощування. Під час роботи комбайн повинен підрізати гребінь на глибину близько 20 см, відокремити шар ґрунту з бульбами, подрібнити грудки, просіяти значну кількість землі, відділити бадилля та спрямувати продукцію до бункера або транспортного засобу. Особливість процесу полягає в тому, що у підрізаному шарі ґрунту масова частка бульб становить лише 1–3 %. Отже, для виділення 4–6 кг картоплі за секунду машина фактично повинна обробити до 200 кг ґрунтової маси.

На якість збирання впливають вологість і щільність ґрунту, наявність грудок та каміння, стан бадилля, форма і розмір бульб, міцність їхнього зв’язку зі столонами, а також рівномірність розміщення гнізд у гребені. Для машинного збирання найбільш сприятливими є компактні гнізда, округлі та вирівняні бульби, які легко відокремлюються від рослинних решток. За таких

умов зменшується потреба у надмірній інтенсивності сепарації, а отже, знижується травмування продукції.

Технологічна послідовність збирання картоплі включає видалення бадилля, підкопування рядків, виділення бульб із ґрунтового шару, очищення від домішок, завантаження та подальше сортування. Залежно від наявної техніки і виробничих умов застосовують потоково-комбайновий, роздільний або частково механізований спосіб. При потоково-комбайновому способі бульби надходять від комбайна безпосередньо до транспортного засобу, після чого подаються на сортувальний пункт. При роздільному способі картоплю спочатку викопують і укладають у валок, а після підсихання підбирають.

Перед викопуванням доцільно прибрати або подрібнити бадилля. Для цього використовують косарки-подрібнювачі та спеціальні машини для видалення гички. Якісне попереднє видалення рослинної маси полегшує роботу викопувальних і сепарувальних органів, зменшує забивання елеваторів і покращує очищення бульб.

Агротехнічні вимоги до картоплезбиральних машин передбачають високу повноту викопування та мінімальне пошкодження бульб. Повнота зрізування бадилля повинна бути не меншою ніж 80 %, а висота залишків над поверхнею ґрунту або вершиною гребеня не повинна перевищувати 20 см. Картоплезбиральна машина має викопувати не менше 97–98 % бульб, відокремлюючи їх від основної маси землі, бадилля та рослинних решток.

Допустиме пошкодження картоплі для різних типів машин обмежується кількома відсотками. Для викопувальних машин бажано не перевищувати 3–5 %, а при роботі комбайнів допустимий рівень пошкодження становить орієнтовно 4–10 %, залежно від умов поля та стану продукції. Чистота бульб, які виходять із комбайна, повинна бути не нижчою ніж 80 %. Під час післязбирального сортування допускаються втрати до 0,5 % і механічні пошкодження до 5 %.

Отже, секція робочих органів комбайна має забезпечувати не тільки повне підрізання гребеня, а й м’яке спрямування бульбоносного шару на елеватор. Надмірне стискання, неправильний кут входження робочого органа або нестабільна глибина ходу призводять до порізів бульб, збільшення тягового опору, перевантаження сепараторів і зростання втрат.

3.4. Будова та технологічний процес роботи картоплезбирального комбайна

Базовою машиною для модернізації приймаємо картоплезбиральний комбайн, призначений для збирання картоплі, висадженої гребеневим способом із міжряддям 70 см. Комбайн має напівначіпну схему і може агрегатуватися з тракторами тягових класів 1,4; 2; 3 залежно від умов роботи, стану поля та виробничої потреби.

До основних складальних одиниць комбайна належать опорні котки, дискові копачі, підкопувальні лемеші, перший і другий пруткові елеватори, шнекові сепаратори, грудкоподрібнювач, рідкопрутковий транспортер, похилі пальчасті транспортери, ковшовий елеватор, супровідний і завантажувальний транспортери, бункер, основна та рухома рами, ходові колеса, причіпний пристрій, механізми привода і гідросистема.

Опорні котки копіюють поверхню гребенів і утримують підкопувальні лемеші на заданій глибині. Дискові копачі відрізають гребінь з боків, зменшуючи руйнування суміжних рядків і спрямовуючи підрізану скибу до центру приймальної частини. Лемеші підрізають бульбоносний шар знизу та передають його на основний елеватор. Поздовжні шнеки, розміщені над приймальною частиною, частково подрібнюють скибу, відривають залишки бадилля від бульб і вирівнюють потік вороху.

Основний елеватор пруткового типу забезпечує первинне просіювання ґрунту. Його робоча поверхня переміщує ворох угору, а частина землі проходить між прутками. Над елеватором установлені центральний і бокові шнеки з гумовими лопатями. Вони звужують потік, подрібнюють грудки і

спрямовують масу до грудкоподрібнювача. Відстань між лопатями шнеків та поверхнею елеватора регулюється, що дозволяє змінювати інтенсивність впливу на ворох.

Другий елеватор продовжує сепарацію і подає бульби з домішками на широкий пальчастий транспортер. Завдяки нахилу транспортера бульби скочуються у ковшовий елеватор, а дрібні домішки відокремлюються. Шнек, установлений у верхній частині гірки, спрямовує великі домішки на вузький транспортер, де здійснюється додаткове очищення. Після цього бульби подаються ковшовим елеватором на супровідний транспортер, де відокремлюються залишки бадилля.

Бункер-нагромаджувач має нерухомі та рухому стінки, лоток і ланцюгово-планчастий транспортер. Він призначений для тимчасового накопичення картоплі та вивантаження її у транспортні засоби. Робочі органи комбайна приводяться в дію від вала відбору потужності трактора, а гідросистема забезпечує переміщення рухомої рами, керування транспортером бункера та зміну положення окремих робочих елементів.

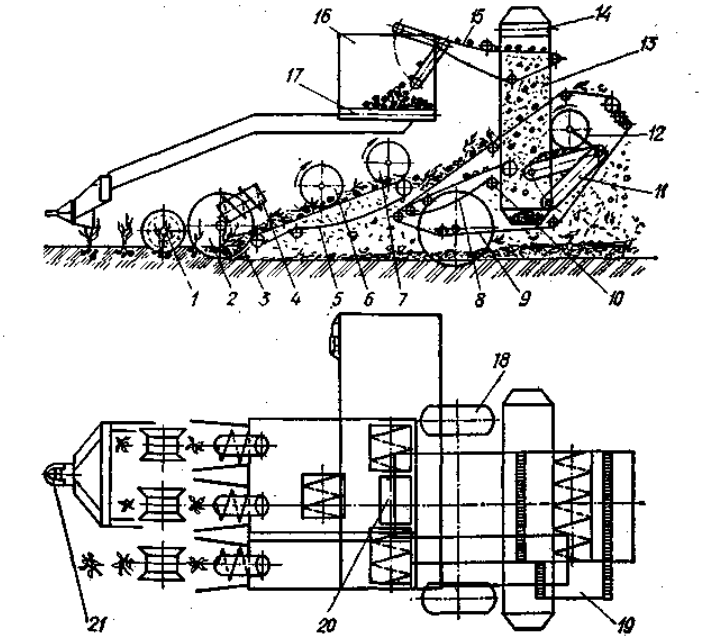


Рис. 3.1. Схема робочого процесу картоплезбирального комбайна.

Під час руху агрегату опорні котки переміщуються по гребенях і підтримують сталість глибини ходу лемешів. Дискові копачі відрізають бічні

частини гребеня, а лемеші підрізають його знизу. Підрізана скиба стискається і подається на основний елеватор, де починається інтенсивне просіювання ґрунту. Поздовжні шнеки діють на шар зверху, руйнують великі грудки і сприяють відокремленню частини бадилля.

На рідкопрутковому транспортері бульби, дрібні грудки та невеликі домішки провалюються на другий елеватор, а довге бадилля і великі рослинні залишки виводяться за межі машини. Далі ворох потрапляє на систему пальчастих транспортерів, де за рахунок нахилу, тертя і взаємодії з пальцями відбувається додаткове очищення. Чисті або частково очищені бульби ковшовим і завантажувальним транспортерами спрямовуються у бункер.

Основними регулюваннями комбайна є зміна глибини ходу лемешів, положення дискових копачів, зазору між шнеками та елеватором, кута нахилу пальчастих транспортерів, положення заднього шнека і відбійного валика. Правильне налаштування цих параметрів визначає якість викопування, рівень втрат, чистоту продукції та величину механічних пошкоджень бульб.

3.5. Обґрунтування модернізації секції робочих органів

Аналіз конструкцій картоплезбиральних комбайнів і вимог до процесу збирання показує, що найбільш навантаженою та відповідальною частиною машини є викопувальна секція. Вона працює у безпосередньому контакті з ґрунтом, камінням, рослинними рештками і бульбами, тому її параметри мають відповідати умовам поля. Якщо робочі органи недостатньо якісно підрізають гребінь або нерівномірно подають ворох на елеватор, зростають втрати, пошкодження картоплі та тяговий опір агрегату.

У базовій схемі підкопування здійснюється лемешами та дисковими копачами. Проте за підвищеної вологості, ущільненості або грудкуватості ґрунту можливе налипання землі, забивання приймальної частини, зміщення вороху вбік, неповне підрізання бульбоносного шару та порушення

стабільності ходу лемеша. Крім того, жорстка взаємодія металевих елементів із ґрунтом і бульбами може спричиняти порізи та забої картоплі.

Запропонована модернізація передбачає удосконалення секції робочих органів шляхом використання сферичного диска, який працює як активний різальний і спрямовуючий елемент. Завдяки сферичній формі диск не тільки розрізає ґрунт, а й створює бокове переміщення та часткове розпушування скиби. Самообертання диска зменшує тертя, знижує налипання ґрунту на робочу поверхню і покращує переміщення маси до основного елеватора.

Сферичний диск доцільно розміщувати так, щоб він працював із заданим кутом атаки та кутом нахилу. Кут атаки визначає інтенсивність різання і розпушування, а кут нахилу впливає на характер переміщення скиби. При правильно підібраних параметрах диск забезпечує рівномірне підрізання бокової частини гребеня, зменшує руйнування сусідніх рядків і сприяє кращій подачі вороху на елеватор.

Очікуваний ефект модернізації полягає у підвищенні повноти викопування бульб, зменшенні пошкоджень, стабілізації глибини ходу робочих органів, покращенні первинного руйнування ґрунтової скиби та зниженні навантаження на сепарувальні органи. Це особливо важливо для умов, де ґрунт має підвищену вологість або схильний до утворення міцних грудок.

3.6. Розрахунок конструктивно-кінематичних параметрів сферичного диска

Для обґрунтування параметрів модернізованої секції необхідно визначити основні геометричні та регулювальні характеристики сферичного диска. До них належать діаметр D, радіус кривизни сфери r, половина центрального кута дуги діаметрального перерізу γ, кут загострення і, кут нахилу фаски ω, кут різання α, задній кут φ, товщина диска δ, кут нахилу площини диска θ і кут атаки β. Кожний із цих параметрів впливає на характер взаємодії робочого органа з ґрунтом.

Діаметр диска повинен відповідати глибині його ходу. Якщо диск буде замалим, він не забезпечить повного підрізання бульбоносного шару, а надто великий діаметр призведе до збільшення маси та габаритів секції. Для попереднього вибору діаметра використовується співвідношення:

$$D = k \cdot h, \tag{3.1}$$

де k – коефіцієнт, який для дисків лущильникового типу приймають у межах 5,0–6,0; h – глибина ходу диска, м.

Глибина ходу сферичного диска повинна бути не меншою за середню глибину залягання бульб. За агрофізичними характеристиками картоплі бульби переважно розміщуються на глибині 4–14 см, тому середнє значення приймаємо h = 9 см = 0,09 м.

$$D = 5{,}0 \cdot 0{,}09 = 0{,}45 \text{ м}; \qquad D = 6{,}0 \cdot 0{,}09 = 0{,}54 \text{ м}.$$

З урахуванням стандартних розмірів дисків, що використовуються у ґрунтообробних машинах, а також конструктивних обмежень комбайна приймаємо діаметр сферичного диска D = 0,45 м.

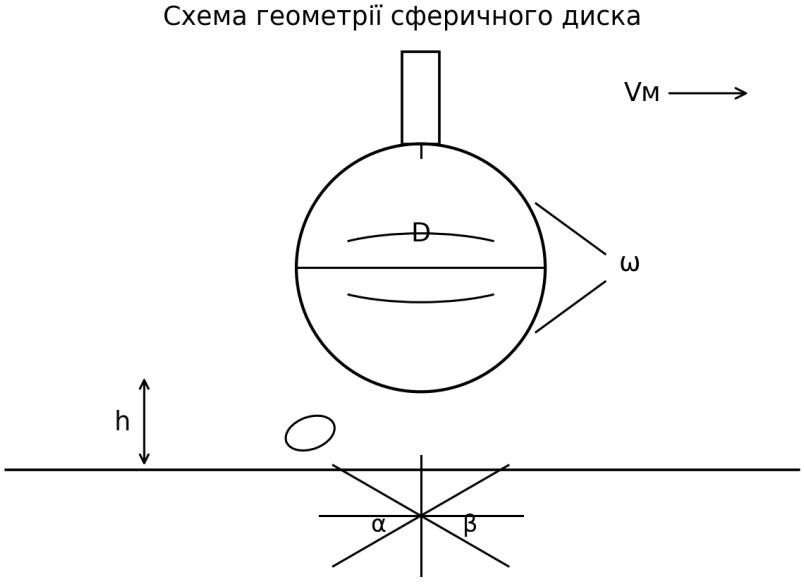


Рис. 3.2. Розрахункова схема основних параметрів сферичного диска.

Радіус кривизни сфери визначає інтенсивність деформації ґрунтової скиби. Чим менший радіус, тим активніше диск кришить і повертає ґрунт, однак надмірне зменшення радіуса може підвищити опір руху та спричинити

забивання. Зв’язок між діаметром диска і радіусом кривизни подається залежністю:

$$r = D / (2 \cdot \sin \gamma), \quad (3.2)$$

де γ – половина центрального кута дуги діаметрального перерізу диска. Для дисків лущильникового типу γ зазвичай перебуває у межах 26–32°. Приймаємо γ = 30°. Тоді:

$$r = 0{,}45 / (2 \cdot \sin 30°) = 0{,}45 \text{ м}.$$

Отже, для модернізованої секції приймаємо радіус кривизни сферичного диска r = 0,45 м. Такий параметр забезпечує достатнє розпушування ґрунту без надмірного збільшення тягового опору.

Кут загострення диска впливає на якість входження робочої кромки в ґрунт і на енергомісткість різання. Сферичні диски найчастіше загострюють із зовнішнього випуклого боку. Для робочих органів такого типу кут загострення приймають у межах 10–20°. У розрахунку приймаємо середнє значення i = 15°.

Кут нахилу фаски до основи диска визначається з урахуванням геометрії сфери та кута загострення:

$$\omega = \gamma + i. \quad (3.3)$$

$$\omega = 30° + 15° = 45°.$$

Кут різання залежить від кута загострення та заднього кута робочої кромки:

$$\alpha = i + \varphi, \quad (3.4)$$

де φ – задній кут, який змінюється по висоті диска внаслідок його сферичної форми. Додатне значення заднього кута на рівні поверхні поля є обов’язковою умовою нормальної роботи диска, оскільки забезпечує вільне різання та запобігає зайвому тертю.

Товщина диска приймається з умови достатньої міцності при мінімальній масі. Для попереднього розрахунку використовується емпірична формула:

$$\delta = 0{,}008 \cdot D, \quad (3.5)$$

де D – діаметр диска, мм. Для D = 450 мм одержуємо:

$$\delta = 0{,}008 \cdot 450 = 3{,}6 \text{ мм}.$$

Оскільки робочий орган повинен працювати на важких і вологих ґрунтах, до розрахункового значення додаємо запас 1 мм:

$$\delta = 3{,}6 + 1{,}0 = 4{,}6 \text{ мм}.$$

З урахуванням стандартного ряду товщин і умов експлуатації приймаємо товщину диска δ = 5 мм.

До регульованих параметрів належать кут нахилу площини диска θ та кут атаки β. Для дискових робочих органів, що взаємодіють із ґрунтом за принципом лущильника або дискового плуга, кут нахилу доцільно приймати в межах 15–25°. У даній конструкції приймаємо θ = 20°.

Кут атаки визначає інтенсивність різання, розпушування та переміщення ґрунту. За малих кутів атаки диск переважно розрізає верхній шар, але слабше кришить скибу. За надмірного збільшення кута атаки зростає опір руху і можливе накопичення ґрунту перед диском. Для модернізованої секції приймаємо β = 30°, що забезпечує достатню активність підрізання та розпушування без перевантаження агрегату.

3.7. Перевірний розрахунок стояка сферичного диска на міцність

Стояк сферичного диска сприймає навантаження від опору ґрунту, передає його на раму секції та забезпечує стабільне положення робочого органа під час руху агрегату. Тому після вибору основних параметрів диска необхідно перевірити міцність стояка на згин.

Основним зовнішнім навантаженням вважаємо силу опору ґрунту, яка діє на внутрішню поверхню сферичного диска. За прийнятої глибини ходу h = 9 см значення цієї сили становить F = 4,85 кН. Розрахункова довжина плеча від точки прикладання сили до небезпечного перерізу стояка приймається a = 0,7 м. Розрахункова схема навантаження наведена на рисунку 3.3.

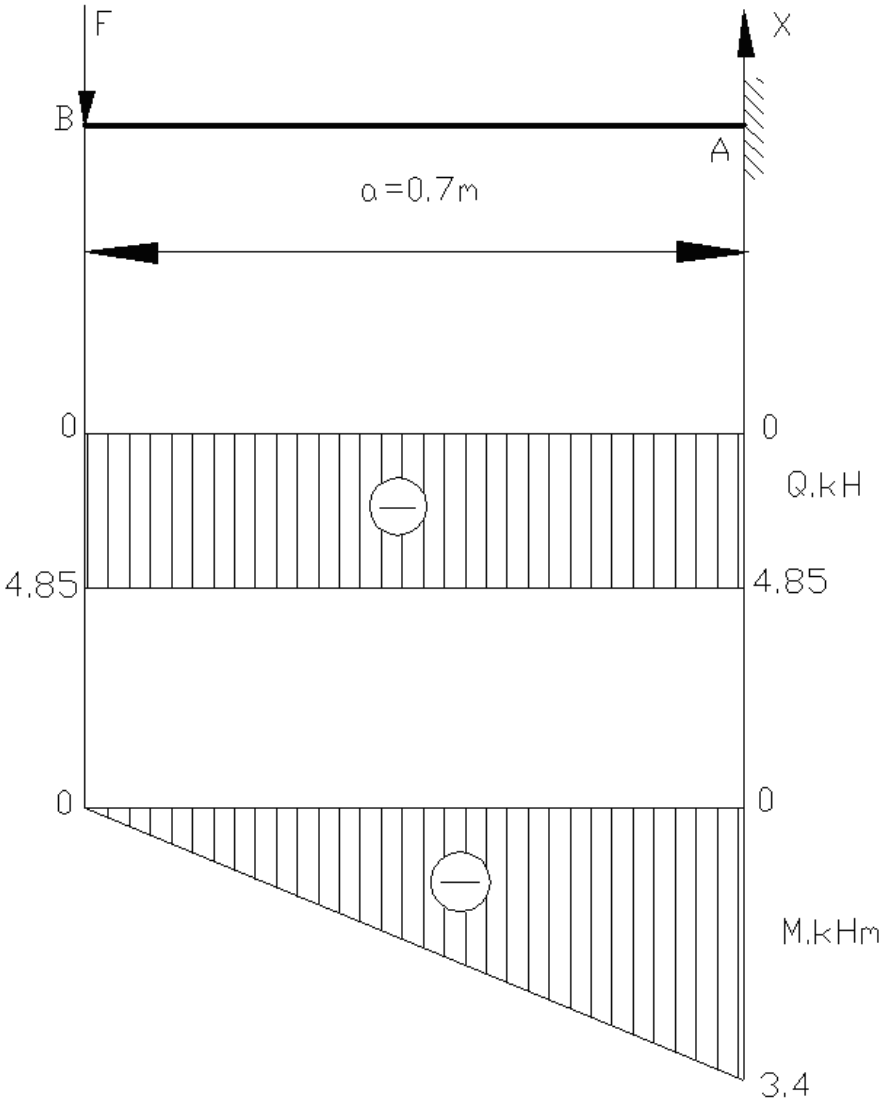


Рис. 3.3. Епюри поперечної сили та згинального моменту стояка сферичного диска

Проєктуючи сили на вертикальну вісь, одержуємо реакцію опори:

$$R_a = F = 4{,}85 \text{ кН}.$$

Найбільш навантаженим є переріз біля закріплення стояка в точці А. Максимальний згинальний момент становить:

$$M_{max} = F \cdot a = 4{,}85 \cdot 0{,}7 = 3{,}395 \text{ кН·м} \approx 3{,}4 \text{ кН·м}.$$

Необхідний момент опору перерізу визначається за допустимим напруженням на згин:

$$W_{min} = M_{max} / [\sigma], \qquad (3.6)$$

де [σ] – допустиме напруження на згин для матеріалу стояка. За умови використання конструкційної сталі та прийняття [σ] = 160 МПа маємо:

$$W_{min} = 3{,}4 \cdot 10^6 / 160 = 21250 \text{ мм}^3 = 21{,}25 \text{ см}^3.$$

Для прямокутного перерізу момент опору визначається залежністю:

$$W = b \cdot h^2 / 6. \quad (3.7)$$

З урахуванням важких умов роботи, ударних навантажень, можливого контакту з камінням і нерівномірності опору ґрунту приймаємо стояк прямокутного перерізу 26 × 100 мм. Для такого перерізу момент опору становить:

$$W = 26 \cdot 100^2 / 6 = 43333 \text{ мм}^3 = 43{,}33 \text{ см}^3.$$

Оскільки фактичний момент опору W = 43,33 см³ перевищує мінімально необхідний Wmin = 21,25 см³, прийнятий переріз забезпечує достатній запас міцності. Отже, стояк сферичного диска може працювати у заданих умовах без перевищення допустимих напружень.

Основні розрахункові параметри модернізованого сферичного диска узагальнено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Прийняті параметри сферичного диска.

Параметр	Позначення	Прийняте значення
Глибина ходу диска	h	0,09 м
Діаметр сферичного диска	D	0,45 м
Радіус кривизни сфери	r	0,45 м
Кут загострення	i	15°
Кут нахилу фаски	ω	45°
Кут нахилу площини диска	θ	20°
Кут атаки	β	30°
Товщина диска	δ	5 мм
Сила опору ґрунту	F	4,85 кН
Максимальний згинальний момент	Mmax	3,4 кН·м
Прийнятий переріз стояка	b × h	26 × 100 мм

Висновки по розділу

У третьому розділі виконано аналіз конструкцій картоплезбиральних комбайнів і встановлено, що якість збирання значною мірою залежить від

роботи викопувальної секції, стабільності глибини ходу, рівномірності подачі вороху та здатності робочих органів мінімізувати пошкодження бульб.

Обґрунтовано доцільність модернізації секції робочих органів комбайна КПК-3 за рахунок використання сферичного диска. Таке конструктивне рішення покращує підрізання гребеня, сприяє розпушуванню скиби, зменшує налипання ґрунту та створює умови для більш рівномірної подачі маси на сепарувальні органи.

За результатами розрахунку прийнято: діаметр сферичного диска D = 0,45 м, радіус кривизни r = 0,45 м, глибину ходу h = 0,09 м, кут загострення і = 15°, кут нахилу площини диска θ = 20°, кут атаки β = 30° і товщину диска δ = 5 мм. Перевірка стояка на міцність показала, що при силі опору ґрунту 4,85 кН і максимальному згинальному моменті 3,4 кН·м прийнятий переріз 26 × 100 мм забезпечує необхідний запас міцності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто актуальне питання підвищення ефективності механізованого виробництва картоплі в умовах Полісся Житомирської області. Картопля є однією з найважливіших продовольчих культур, тому забезпечення стабільного виробництва, зменшення втрат урожаю, підвищення якості бульб і раціональне використання машинно-тракторного парку мають важливе практичне значення для аграрних підприємств.

У першому розділі було проаналізовано сучасні технології вирощування картоплі, стан галузі картоплярства у світі та Україні, а також основні напрями її подальшого розвитку. Встановлено, що ефективне виробництво картоплі потребує впровадження інтенсивних технологій, які передбачають якісну підготовку ґрунту, використання високопродуктивних сортів, точне садіння, своєчасний догляд за рослинами, ефективний захист від бур’янів, хвороб і шкідників, а також механізоване збирання з мінімальними втратами. Особливу увагу приділено перспективам застосування точного землеробства, автоматизованих систем керування, агродронів і роботизованих технічних засобів, які дають змогу підвищити продуктивність праці, зменшити витрати ресурсів і покращити якість виконання технологічних операцій.

У другому розділі спроєктовано технологію вирощування картоплі для умов Полісся Житомирської області. З урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей зони підібрано сучасний комплекс машин для виконання основних технологічних операцій: основного й передпосадкового обробітку ґрунту, внесення добрив, садіння картоплі, догляду за посівами, захисту рослин, збирання та транспортування врожаю. Складено технологічну карту вирощування картоплі, визначено послідовність виконання робіт, строки їх проведення, склад агрегатів і потребу в техніці. Також розроблено графік завантаження машинно-тракторного парку, що дозволяє раціонально

планувати використання техніки протягом виробничого сезону та уникати простоїв у найбільш напружені періоди польових робіт.

У роботі передбачено використання сучасних інноваційних рішень, зокрема робота для боротьби з бур’янами та агродрона зі штучним інтелектом для обприскування посівів. Застосування таких засобів дає змогу зменшити потребу в ручній праці, підвищити точність виконання операцій, скоротити витрати пального, робочої рідини та засобів захисту рослин. Роботизація і використання безпілотних технологій є перспективним напрямом розвитку картоплярства, особливо в умовах дефіциту трудових ресурсів і необхідності зменшення собівартості продукції.

У третьому розділі виконано аналіз конструкцій картоплезбиральних комбайнів, їх робочих органів, технологічного процесу збирання та агротехнічних вимог до картоплезбиральних машин. Встановлено, що якість роботи комбайна значною мірою залежить від ефективності викопуючої секції, яка повинна забезпечувати повне підкопування гребеня, мінімальне пошкодження бульб і рівномірну подачу вороху на сепаруючі органи. Для підвищення ефективності роботи комбайна запропоновано модернізацію секції робочих органів шляхом використання сферичного диска, який покращує підрізання ґрунтового шару, сприяє кращому руйнуванню скиби та зменшує втрати бульб під час викопування.

У процесі конструктивного обґрунтування визначено основні параметри сферичного диска: діаметр, глибину ходу, кут атаки, кут нахилу, товщину диска та інші конструктивно-кінематичні показники. Виконано розрахунок елементів модернізованої секції на міцність, що підтверджує можливість її використання в умовах підвищених навантажень під час роботи на ґрунтах Полісся. Запропоноване технічне рішення спрямоване на підвищення надійності та продуктивності картоплезбирального комбайна, зменшення пошкодження бульб, покращення сепарації ґрунту і підвищення загальної якості збирання врожаю.

Отже, у кваліфікаційній роботі обґрунтовано комплекс машин для вирощування картоплі, розроблено технологію її виробництва для умов Полісся Житомирської області та запропоновано модернізацію викопуючої секції картоплезбирального комбайна. Практична реалізація запропонованих рішень дозволить підвищити ефективність механізованого вирощування і збирання картоплі, знизити експлуатаційні витрати, зменшити втрати врожаю, покращити якість продукції та забезпечити більш раціональне використання сучасної сільськогосподарської техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. Машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. / за ред. В. Ю. Ільченка. Київ : Урожай, 1996. 384 с.

3. Булгаков В. М., Адамчук В. В., Калетнік Г. М., Черниш О. М. Теорія сільськогосподарських машин : навч. посіб. Київ : Аграрна наука, 2018. 364 с.

4. Технологія вирощування картоплі. Агрономія сьогодні. URL: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/21189-tekhnolohiia-vyroshchuvannia-kartopli.html (дата звернення: 3.06.2026).

5. Інститут картоплярства НААН України. Про інститут. URL: https://www.ikar.org.ua/про-інститут (дата звернення: 23.06.2026).

6. Державна служба статистики України. Рослинництво України : статистичний збірник. Київ : Держстат України, 2022. URL: https://www.ukrstat.gov.ua (дата звернення: 3.06.2026).

7. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: https://sops.gov.ua/derzavnij-reestr (дата звернення: 3.06.2026).

8. Державний реєстр сортів, придатних для поширення в Україні. Міністерство економіки України. URL: https://me.gov.ua/Documents/Detail/c5e26c83-ac95-43b8-8d53-a5f8f907099f?lang=uk-UA&title=DerzhavniiRestrSortiv-PridatnikhDliaPoshirenniaVUkraini (дата звернення: 3.06.2026).

9. Картоплярство є однією із пріоритетних галузей аграрного виробництва. Національна академія аграрних наук України. URL: https://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=6596 (дата звернення: 3.06.2026).

10. Проблеми та перспективи розвитку ринку картоплі в Україні. Економіка та суспільство. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/download/1402/1352/ (дата звернення: 23.06.2026).

11. Агростатистика України. Сільське господарство України. Рослинництво. URL: https://agrostats.uhmi.org.ua (дата звернення: 3.06.2026).

12. FAOSTAT. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/faostat/en/ (date of access: 3.06.2026).

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. FAO. Potato. Crop information. Land & Water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/land-

water/databases-and-software/crop-information/potato/en/ (date of access: 3.06.2026).

19. International Potato Center. Potato Facts and Figures. URL: https://cipotato.org/potato/potato-facts-and-figures/ (date of access: 3.06.2026).

20. Kakraliya S., Gatto M., Ramírez D., Kreuze J., Kumar B. Manual on potato production through zero tillage and straw mulch. Lima, Peru : International Potato Center, 2024. 46 p. DOI: 10.4160/cip.2024.04.001.

21. The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind / ed. by H. Campos, O. Ortiz. Cham : Springer, 2020. 518 p.

22. FarmDroid. FarmDroid FD20. Autonomous Farming Robot for Precision Agriculture. URL: https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/ (date of access: 3.06.2026).

23. FarmDroid. FarmDroid FD20 Product Sheet. URL: https://farmdroid.com/product-sheet/ (date of access: 3.06.2026).

24. DJI Agriculture. DJI AGRAS T50. Technical Specifications. URL: https://ag.dji.com/t50/specs (date of access: 3.06.2026).

25. DJI Agriculture. DJI AGRAS T50. Ready, Steady, Go. URL: https://ag.dji.com/t50 (date of access: 23.06.2026).

26. GRIMME. EVO 290. Potato harvester. URL: https://products.grimme.com/en/p/evo-290 (date of access: 3.06.2026).

27. AVR. Puma 4.0. Self-propelled potato harvester. URL: https://www.avr.be/en/product/puma-40 (date of access: 3.06.2026).

28. John Deere. 8 Series Row Crop Tractors: 8R, 8RT, 8RX. URL: https://www.deere.com/en/tractors/row-crop-tractors/row-crop-8-family/ (date of access: 3.06.2026).

29. John Deere. 8R 280 Tractor. Product specifications. URL: https://www.deere.com/en/tractors/row-crop-tractors/row-crop-8-family/8r-280-tractor/ (date of access: 3.06.2026).

30. Reubens B. Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems: The Role of Potato Research and Innovation. Potato Research. 2021.

URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8302968/ (date of access: 3.06.2026).

31. Lindqvist-Kreuze H., et al. Potato and sweetpotato breeding at the International Potato Center. Theoretical and Applied Genetics. 2023. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10730645/ (date of access: 23.06.2026).

32. FAO. Celebrating the Potato: A Global Treasure for Food Security and Biodiversity. URL: https://www.fao.org/cgrfa/news/news-detail/celebrating-the-potato--a-global-treasure-for-food-security-and-biodiversity/en (date of access: 23.06.2026).