**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

**Павлюк Владислав Олександрович**

**УДК 631.3:631.53.02:635.21**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

# УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ КОНСТРУКЦІЇ БУЛЬБОРІЗКИ

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 _____ Палюк В.О.

**Керівник роботи**

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2026**

# АНОТАЦІЯ

***Павлюк Владислав Олександрович. Удосконалення комплексу машин для вирощування картоплі з модернізацією конструкції бульборізки.*** – *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 конструкції бульборізки. Обґрунтовано актуальність теми, що пов’язана з необхідністю підвищення ефективності механізованого виробництва картоплі, зменшення витрат посадкового матеріалу та впровадження сучасних технічних засобів у технологічний процес. Проаналізовано сучасний стан галузі картоплярства в Україні та світі, а також особливості вирощування картоплі в умовах Полісся Житомирської області. Розроблено технологію вирощування картоплі на площі 500 га з використанням високопродуктивної техніки, агродрона для обприскування та роботизованого засобу для боротьби з бур’янами. Особливу увагу приділено операції підготовки посадкового матеріалу, зокрема різанню великих бульб перед садінням. Запропоновано модернізацію бульборізки, яка передбачає підвищення жорсткості робочих органів, покращення якості розрізання бульб і зменшення втрат посадкового матеріалу. Виконано основні конструктивні, технологічні та техніко-економічні розрахунки, що підтверджують доцільність запропонованих проектних рішень. Результати роботи можуть бути використані в сільськогосподарських підприємствах, які спеціалізуються на вирощуванні картоплі та прагнуть підвищити ефективність використання машинно-тракторного парку.

*Ключові слова: картопля, комплекс машин, бульборізка, посадковий матеріал, агродрон, роботизована техніка.*

# ANNOTATION

***Vladislav Oleksandrovych Pavliuk. Improvements to a range of potato-growing machinery, including the modernisation of the tuber-cutter design.*** *– 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 a range of machinery for potato cultivation, including the modernisation of the tuber-cutting machine’s design. The relevance of the topic is justified by the need to increase the efficiency of mechanised potato production, reduce the consumption of planting material, and introduce modern technical solutions into the production process. The current state of the potato-growing sector in Ukraine and worldwide is analysed, as well as the specific features of potato cultivation in the Polissia region of Zhytomyr Oblast. A technology has been developed for growing potatoes over an area of 500 hectares using high-performance machinery, an agricultural drone for spraying and a robotic weed control system. Particular attention has been paid to the preparation of planting material, specifically the cutting of large tubers prior to planting. A modernisation of the tuber cutter has been proposed, which involves increasing the rigidity of the working parts, improving the quality of tuber cutting and reducing losses of planting material. The main structural, technological and technical-economic calculations have been carried out, confirming the feasibility of the proposed design solutions. The results of this work can be utilised by agricultural enterprises specialising in potato cultivation and seeking to improve the efficiency of their machinery and tractor fleet.

*Keywords: potatoes, machinery complex, tuber cutter, planting material, agricultural drone, robotic technology.*

**ЗМІСТ**

ВСТУП……...……5
РОЗДІЛ 1. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ……..……..9
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУЛЬБОРІЗКИ У КОМПЛЕКСІ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ…….……23
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ…….……..42
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..……50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….…….52

# ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Картопля є однією з найважливіших продовольчих культур в Україні та світі, яка має велике харчове, кормове й промислове значення. Вона широко використовується у харчуванні населення, переробній промисловості, тваринництві та є важливою складовою продовольчої безпеки держави. Для України картопля традиційно належить до стратегічних сільськогосподарських культур, оскільки вирощується майже в усіх природно-кліматичних зонах, а особливо сприятливі умови для її виробництва сформувалися в зоні Полісся, зокрема в Житомирській області.

Разом з тим сучасне картоплярство потребує підвищення ефективності виробництва, зниження собівартості продукції та впровадження ресурсозберігаючих технологій. Однією з основних проблем у вирощуванні картоплі є значна потреба у якісному посадковому матеріалі, вартість якого суттєво впливає на загальні виробничі витрати. Крім того, ефективність технологічного процесу залежить від своєчасного виконання всіх операцій, правильного комплектування машинно-тракторного парку, застосування сучасної техніки для садіння, догляду, захисту рослин, збирання та післязбиральної доробки врожаю.

В умовах зростання вартості пального, запасних частин, мінеральних добрив, засобів захисту рослин і оплати праці особливого значення набуває раціональне використання технічних засобів. Сучасні технології вирощування картоплі передбачають застосування високопродуктивних агрегатів, роботизованих машин, агродронів, точного землеробства та спеціалізованого обладнання для підготовки посадкового матеріалу. Це дозволяє підвищити продуктивність праці, зменшити ущільнення ґрунту, скоротити втрати врожаю та забезпечити стабільну якість виконання технологічних операцій.

Важливою операцією підготовки посадкового матеріалу є різання великих бульб перед садінням. Використання розрізаних бульб дає змогу раціональніше використовувати насіннєвий матеріал, підвищити коефіцієнт використання вічок і

зменшити витрати картоплі на одиницю площі. Однак якість виконання цієї операції значною мірою залежить від конструкції бульборізки. Недосконаліть робочих органів, недостатня жорсткість затискних елементів і ножа можуть призводити до нерівномірного розрізання бульб, пошкодження посадкового матеріалу та збільшення втрат. Тому модернізація конструкції бульборізки є актуальним завданням для підвищення ефективності технології вирощування картоплі.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності технологічного процесу вирощування картоплі шляхом удосконалення комплексу машин і модернізації конструкції бульборізки для якісної підготовки посадкового матеріалу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

– проаналізувати сучасний стан галузі картоплярства в Україні та світі;

– обґрунтувати технологію вирощування картоплі в умовах Полісся Житомирської області;

– розробити технологічну карту вирощування картоплі на площі 500 га;

– підібрати сучасний комплекс машин для виконання основних технологічних операцій;

– передбачити використання роботизованої техніки для боротьби з бур’янами та агродрона для обприскування посівів;

– обґрунтувати необхідність застосування бульборізки перед садінням картоплі;

– запропонувати модернізацію конструкції бульборізки та визначити її основні параметри;

– виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень.

**Об’єктом дослідження** є технологічний процес вирощування картоплі в умовах Полісся Житомирської області.

**Предметом дослідження** є комплекс машин для вирощування картоплі та конструктивно-технологічні параметри модернізованої бульборізки.

У роботі використано методи аналізу сучасного стану виробництва картоплі, порівняння технічних засобів, технологічного проектування, інженерних розрахунків, визначення продуктивності машин, розрахунку параметрів робочих органів і техніко-економічної оцінки проектних рішень.

**Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Савченко В., **Павлюк В.,** Підручний М. Застосування робототехнічних засобів в рослинництві. 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.103-106.

2. Савченко В.М., **Павлюк В.О.,** Герасимчук Д.В Удосконалення технологічних прийомів вирощування картоплі на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся. 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. 165-166.

**Практичне значення роботи** полягає в розробленні технологічних і конструктивних рішень, які можуть бути використані в сільськогосподарських підприємствах, що спеціалізуються на вирощуванні картоплі. Запропонований комплекс машин забезпечує своєчасне виконання технологічних операцій на площі 500 га, а модернізована бульборізка сприяє підвищенню якості підготовки посадкового матеріалу, зменшенню його втрат і зниженню собівартості виробництва картоплі.

Отже, удосконалення комплексу машин для вирощування картоплі з модернізацією конструкції бульборізки є актуальним напрямом підвищення ефективності картоплярства, особливо для господарств Полісся Житомирської області, де природно-кліматичні умови сприяють вирощуванню цієї культури, але потребують високого рівня технічного забезпечення та раціональної організації виробничих процесів.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 27 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 57 сторінок комп’ютерного тексту, містить 9 рисунків, 13 таблиць та 2 додатки.

# РОЗДІЛ 1
# ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1. Стан і тенденції розвитку галузі картоплярства у світі

Картопля є однією з базових продовольчих культур світу, оскільки поєднує високу енергетичну цінність, універсальність використання та здатність формувати значну врожайність на одиниці площі. У продовольчих системах багатьох країн вона виконує функцію доступного джерела вуглеводів, крохмалю, мінеральних речовин і вітамінів, а у переробній промисловості використовується для виробництва чипсів, картоплі фрі, крохмалю, спирту та кормових продуктів. Тому рівень розвитку картоплярства безпосередньо впливає не лише на продовольчу безпеку, а й на розвиток логістики, зберігання, переробки та насінництва.

За даними FAOSTAT, обробленими Our World in Data, статистика виробництва картоплі охоплює період 1961–2024 рр., а показником є маса виробленої продукції у тоннах [1]. Світове виробництво у 2024 р. оцінюється на рівні близько 390,4 млн т за зібраної площі 17,1 млн га та середньої врожайності 22,9 т/га [2]. Це свідчить про поступове зростання ролі інтенсивних технологій: площі в багатьох країнах скорочуються або стабілізуються, однак валовий збір підтримується завдяки точному садінню, краплинному або дощувальному зрошенню, якісному насінню, контрольованому зберіганню і цифровому моніторингу посівів.

У структурі світового виробництва провідне місце займають країни Азії. Китай та Індія формують понад третину глобального виробництва, що пов’язано з великими посівними площами, високим внутрішнім попитом і розвитком переробки. Україна також входить до групи найбільших виробників, однак має специфічну особливість: значна частка картоплі виробляється в господарствах населення, що ускладнює стандартизацію якості, довгострокове зберігання та

промислову переробку. На рисунку 1.1 наведено співвідношення обсягів виробництва у найбільших країнах-виробниках за 2023 р.

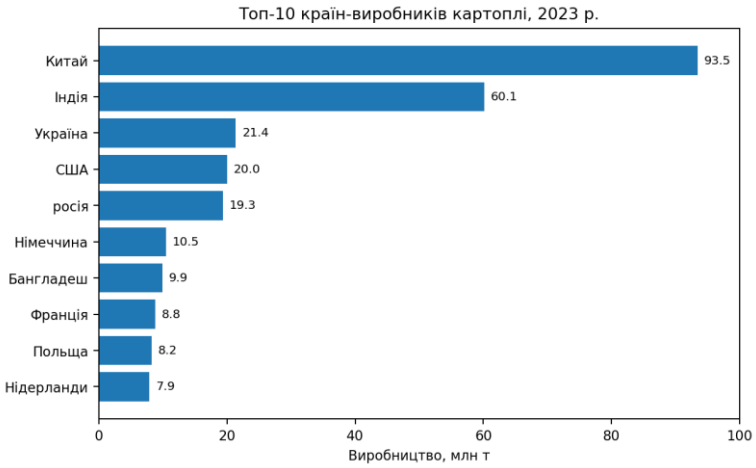



Рис. 1.1. Найбільші країни-виробники картоплі у світі.

Світова тенденція полягає у переході від екстенсивного картоплярства до спеціалізованих технологічних систем. У країнах Західної Європи та Північної Америки продукція дедалі частіше вирощується для конкретного ринку: свіжого споживання, переробки, насінництва або крохмального виробництва. Це вимагає точного підбору сортів, вирівняного садивного матеріалу, стабільної густоти стояння рослин, мінімального травмування бульб під час садіння і збирання, а також високопродуктивної техніки для коротких агротехнічних строків.

Окремим напрямом розвитку є роботизація операцій догляду. Механічне прополювання, автономна навігація RTK GNSS і машинний зір зменшують залежність від ручної праці та дають змогу знизити гербіцидне навантаження. Для захисту рослин швидко розвиваються агродрони, які працюють у періоди, коли важка самохідна техніка може ущільнювати ґрунт або пошкоджувати вегетативну масу. У картоплярстві це особливо важливо, оскільки культура чутлива до ущільнення, нерівномірного водного режиму і несвоєчасного захисту від фітофторозу.

### 1.2. Аналіз галузі картоплярства в Україні

Україна традиційно належить до провідних виробників картоплі у світі. У 2023 р. за даними FAOSTAT Україна займала третє місце серед найбільших

виробників із валовим збором понад 21 млн т [3]. Водночас така позиція не повністю відображає стан промислового картоплярства. Значна частина виробництва припадає на дрібні господарства населення, тоді як професійний сегмент, здатний забезпечувати стандартизовану партійність, сортування, миття, зберігання та переробку, залишається відносно невеликим.

Аналітичні матеріали KSE Агроцентр і Держстату вказують, що у 2024 р. ринок картоплі зазнав дефіциту, а споживча ціна зросла з 11,2 грн/кг у 2021 р. до 24,0 грн/кг у 2024 р. [4]. У цьому ж огляді зазначено, що на ринок вплинули скорочення площ у підприємствах, воєнні ризики, зміна географії імпорту, нестача якісного насіннєвого матеріалу та проблеми зі зберіганням. Державна статистична служба також повідомляє, що в умовах воєнного стану частина статистичної інформації може не поширюватися у зв'язку з неможливістю забезпечити належну якість звітності [5].

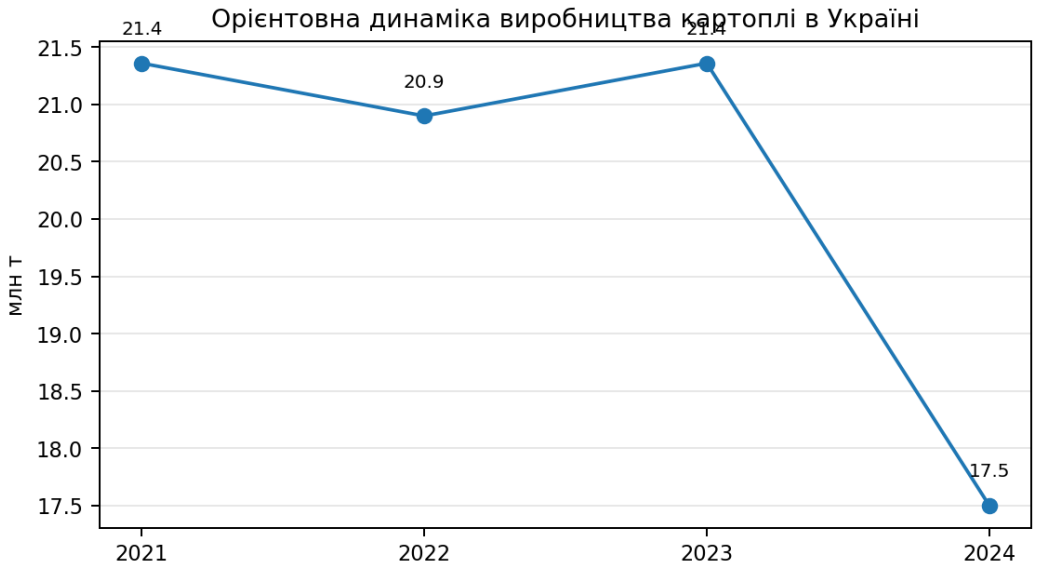



Рис.1.2. Орієнтовна динаміка виробництва картоплі в Україні.

Основні проблеми українського картоплярства можна згрупувати у чотири блоки. Перший блок – насінництво: професійні господарства часто залежать від імпортного насіннєвого матеріалу, а власне насінництво потребує оновлення лабораторної, польової та складської бази. Другий блок – техніка: значна частина господарств використовує машини з обмеженою продуктивністю або з підвищеним травмуванням бульб. Третій блок – зберігання: недостатня кількість

сучасних сховищ з вентиляцією, охолодженням і контролем вологості призводить до втрат і сезонної волатильності цін. Четвертий блок – якість технологічних операцій, зокрема підготовка садивного матеріалу, точність садіння, своєчасний захист від бур'янів, хвороб і шкідників.

У цих умовах для господарства площею 500 га доцільно проектувати не лише набір машин, а цілісний технологічний комплекс. Він має забезпечити потоковість операцій: підготовка ґрунту – підготовка садивного матеріалу з використанням бульборізки – точне садіння – роботизований і механічний догляд – захист агродронами – збирання з мінімальним травмуванням – завантаження у сховище. Такий підхід дозволяє поєднати традиційні сильні сторони Полісся як картоплярської зони з можливостями сучасної техніки.

### 1.3. Природно-кліматичні умови Полісся Житомирської області та вимоги картоплі

Полісся Житомирської області належить до зон, які традиційно сприятливі для вирощування картоплі. Для регіону характерні достатнє зволоження, помірні температури в період бульбоутворення, значна частка легких за гранулометричним складом ґрунтів і тривалий вегетаційний період. Водночас ґрунти Полісся часто мають підвищену кислотність, невисокий вміст гумусу та недостатню ємність вбирання, тому технологія повинна включати органічне удобрення, локальне внесення мінеральних добрив, контроль pH і протиерозійні заходи.

Найпоширенішими ґрунтами Українського Полісся є дерново-підзолисті та болотні або торфово-болотні ґрунти; дерново-підзолисті ґрунти формуються переважно на безкарбонатних піщаних і супіщаних відкладах за умов значного зволоження [6]. Для них характерні кисла реакція, відносно низький вміст гумусу і підвищена потреба в органічній речовині. Саме тому у проектованій технології передбачено внесення органічних добрив, основний глибокий обробіток, весняне формування гребенів і локальне підживлення.

Картопля має підвищені вимоги до повітряного та водного режиму ґрунту. Оптимальне формування бульб відбувається за помірних температур і достатньої вологості; за високих температур і дефіциту вологи бульбоутворення пригнічується, а при перезволоженні зростає ризик розвитку хвороб і деформації гребенів. Інститут картоплярства НААН рекомендує у зоні Полісся за міжряддя 75 см висаджувати 55–65 тис. бульб на 1 га [7]. У проекті приймається густота 60 тис. посадкових частин на 1 га, що відповідає інтенсивній технології для товарної картоплі.

Таблиця 1.1 – Особливості умов Полісся та технологічні рішення

| Показник | Характеристика для Полісся | Технологічне рішення у проекті |
|---|---|---|
| Ґрунти | Дерново-підзолисті, супіщані та легкосуглинкові, місцями оглеєні | Глибоке розпушення, гребенеутворення, уникнення ущільнення |
| Кислотність | Схильність до кислої реакції | Вапнування за результатами агрохіманалізу до pH 5,5–6,0 |
| Зволоження | Порівняно достатнє, але нерівномірне за роками | Збереження вологи, дренаж перезволожених ділянок, агродрон у вузькі строки захисту |
| Бур’яни | Інтенсивне забур’янення на легких ґрунтах | Механічне прополювання роботом ORIO та підгортання |
| Ризики хвороб | Фітофтороз і ризоктоніоз за вологої погоди | Протруювання садивного матеріалу та багаторазовий захист дронами |

### 1.4. Проектна технологія вирощування картоплі на площі 500 га

Проектна площа вирощування картоплі становить 500 га. Технологія орієнтована на отримання товарної продукції із запланованою врожайністю 35 т/га. За такого рівня врожайності валовий збір становитиме 17,5 тис. т. Для забезпечення стабільності виробництва поле доцільно розмістити у сівозміні після озимих зернових або зернобобових культур. Повернення картоплі на попереднє місце передбачається не раніше ніж через 4 роки, що знижує накопичення збудників хвороб і ґрунтових шкідників.

Система обробітку ґрунту складається з післязбирального лущення стерні, внесення органічних добрив, глибокого основного обробітку восени та весняного передпосівного обробітку. На легких поліських ґрунтах важливо не пересушувати посівний шар, тому кількість проходів навесні обмежується, а остаточне формування гребенів виконується у зв’язці з садінням або безпосередньо перед ним. Локальне внесення мінеральних добрив у зоні рядка дозволяє підвищити коефіцієнт використання елементів живлення і зменшити втрати поживних речовин.

Особливістю проектованої технології є обов’язкове використання бульборізки перед посадкою. Розрізання великих здорових бульб на рівномірні частини дає змогу раціональніше використовувати садивний матеріал і збільшити кількість посадкових одиниць. Для проекту приймається норма садивного матеріалу 3,0 т/га, тобто для 500 га необхідно підготувати 1500 т бульб. За продуктивності модернізованої бульборізки 5,5 т/год і використання двох ліній сумарна продуктивність становить 11 т/год; повна підготовка садивного матеріалу потребує близько 136 год календарної роботи, або 11–12 діб за 12-годинної зміни.

Таблиця 1.2 – Основні проектні розрахунки технології

| Показник | Прийняте значення | Розрахунок/пояснення |
|---|---|---|
| Площа вирощування | 500 га | Проектна площа господарства |
| Запланована врожайність | 35 т/га | Інтенсивна технологія для Полісся |
| Валовий збір | 17 500 т | 500 га × 35 т/га |
| Густота садіння | 60 тис. частин/га | Рекомендований діапазон для Полісся 55–65 тис./га |
| Загальна кількість посадкових частин | 30,0 млн шт. | 60 000 × 500 |
| Норма садивного матеріалу | 3,0 т/га | Вирівняні фракції після різання |
| Потреба у садивному матеріалі | 1500 т | 3,0 × 500 |
| Продуктивність однієї бульборізки | 5,5 т/год | Прийнято за розрахунковими параметрами модернізованої конструкції |
| Кількість бульборізок | 2 од. | Забезпечення потокової роботи саджалки |
| Тривалість різання | ≈136 год | 1500 : (2 × 5,5) |

Для зменшення ризику загнивання посадкові частини після різання обробляються протруйником та інертним підсушувальним матеріалом або біологічним препаратом, а висаджування виконується у максимально короткий строк. Потокова схема передбачає: сортування бульб – миття або очищення від

ґрунтових домішок – різання – знезараження зрізів – короткочасне підсушування – завантаження у бункер саджалки. Така організація знижує травмування, підвищує рівномірність посадкових частин і пов’язує модернізовану бульборізку з усім комплексом машин.

### 1.5. Обґрунтування сучасного комплексу машин

Для площі 500 га обрано високопродуктивний комплекс техніки, який забезпечує виконання операцій у допустимі агротехнічні строки. Основний принцип добору машин – сумісність за шириною захвату, продуктивністю та логістикою. У технології перевагу надано техніці, що мінімізує кількість проходів по полю, забезпечує точне водіння RTK, працює з високою продуктивністю і має системи контролю якості виконання операцій.

Для садіння прийнято 8-рядну картоплесаджалку GRIMME GL 860 Compacta. Виробник позиціонує GL 860 як 8-рядну саджалку з міжряддям 75 см та високою продуктивністю для великих площ [8]. Для збирання прийнято дві дворядні комбайнові машини GRIMME EVO 290, які мають бункерну систему та забезпечують безперервне збирання з бережним поводженням із бульбами; виробник зазначає, що бункерна конструкція підвищує продуктивність копання порівняно зі стандартним бункером [9].

Для боротьби з бур’янами обрано автономний робот Naïo ORIO. Офіційна інформація Naïo вказує, що ORIO працює автономно з GNSS RTK-навігацією, має вантажопідйомність 700 кг і може виконувати до 9 га за день [10]. Робот сумісний із механічними знаряддями для прополювання, тому його доцільно застосувати для міжрядного обробітку картоплі після появи сходів і до змикання рядків. У проекті приймається парк із шести роботів, що дає змогу виконати два проходи по 500 га у межах агротехнічного вікна без перевантаження тракторного парку.

Оприскування виконується агродронами DJI Agras T50. Згідно з офіційними характеристиками DJI, Agras T50 має максимальну витрату робочої рідини 16 л/хв із двома розпилювачами та 24 л/хв із чотирма, а також систему розкидання з бункером 75 л і вантажопідйомністю 50 кг [11]. У проекті прийнято два дрони з

практичною продуктивністю 12 га/год кожен, що забезпечує швидке проведення фунгіцидних, інсектицидних і десикаційних обробок без ущільнення ґрунту.



а) Naïo ORIO – автономний робот для прополювання



б) DJI Agras T50 – агродрон для захисту рослин

Рис. 1.3. Agriexpo/Naïo Technologies та DroneNerds/DJI Agras T50 [12; 13].

Таблиця 1.3 – Склад сучасного комплексу машин для 500 га картоплі

| Операційний блок | Обрана техніка | Кількість | Призначення та перевага |
|---|---|---|---|
| Лущення стерні | Väderstad Carrier XL 925 + John Deere 8R | 1 | Швидке закриття вологи, подрібнення решток, підготовка до основного обробітку |
| Основний обробіток | Lemken Diamant 16 або Bednar Terraland + John Deere 8R/8RX | 2 | Глибоке розпушення, зниження ущільнення, підготовка гребенів |
| Внесення добрив | Amazone ZA-TS / ZG-TS з GPS-секціями | 1 | Точне внесення мінеральних добрив і зменшення перекриттів |
| Підготовка садивного матеріалу | Модернізована бульборізка | 2 | Рівномірне різання великих бульб перед садінням |
| Садіння | GRIMME GL 860 Compacta | 1 | 8 рядків, міжряддя 75 см, висока точність розкладки бульб |
| Боротьба з бур’янами | Naïo ORIO з механічним культиватором | 6 | Автономне RTK-прополювання, зменшення гербіцидного навантаження |
| Захист рослин | DJI Agras T50 | 2 | Оприскування без колій, робота у вузькі погодні вікна |
| Збирання | GRIMME EVO 290 | 2 | Дворядне збирання, бережне очищення, висока сезонна продуктивність |
| Логістика врожаю | Трактори з причепами 18–20 т, приймальний бункер і транспортери | 8+2 | Безперервне відвезення врожаю та завантаження у сховище |

Таблиця 1.4 – Технологічна карта вирощування картоплі на площі 500 га

| № | Операція | Строк виконання | Обсяг робіт | Агротехнічні вимоги | Машина/агрегат | Продуктивність | К-сть | Потрібно год / діб |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Лущення стерні попередника | 15–20.08 | 500 га | Глиб. 8–10 см, подрібнення реш. | Väderstad Carrier XL 925 + JD 8R | 12 га/год | 1 | 42 год / 4 доби |
| 2 | Внесення органічних добрив | 20.08–05.09 | 10 000 т | 20 т/га рівномірно по полю | Розкидач 20 т + трактор | 35 т/год | 4 | 286 маш.-год / 8 діб |
| 3 | Глибокий основний обробіток | 05–20.09 | 500 га | 28–32 см, без плужної підошви | Lemken Diamant/Bednar Terraland + JD 8RX | 3,0 га/год | 2 | 167 год / 9 діб |
| 4 | Закриття вологи / вирівнювання | 10–15.04 | 500 га | Мінімальне пересушування ґрунту | Amazone Catros або Carrier | 10 га/год | 1 | 50 год / 5 діб |
| 5 | Внесення мінеральних добрив | 15–18.04 | 500 га | Диференційовано за картою поля | Amazone ZA-TS/ZG-TS | 30 га/год | 1 | 17 год / 2 доби |
| 6 | Передпосівне формування гребенів | 20–28.04 | 500 га | Гребінь вирівняний, без грудок >50 мм | GRIMME GF/AVR Speedridger | 5 га/год | 1 | 100 год / 10 діб |
| 7 | Сортування та підготовка бульб | 20.04–05.05 | 1500 т | Відбір здорових бульб 120–180 г | Сортувальна лінія + завантажувач | 30 т/год | 1 | 50 год / 5 діб |
| 8 | Різання бульб перед садінням | 25.04–12.05 | 1500 т | Рівномірні частини, обробка зрізів | Модернізована бульборізка | 5,5 т/год | 2 | 273 маш.-год / 12 діб |
| 9 | Протруювання і підсушування зрізів | 25.04–12.05 | 1500 т | Захист від інфекцій, мінімум травм | Протруювач, транспортер, вентильований бункер | 12 т/год | 1 | 125 год / 11 діб |
| 10 | Садіння картоплі | 01–15.05 | 500 га | 75 см; 60 тис. частин/га; глибина 5–7 см | GRIMME GL 860 Compacta | 4 га/год | 1 | 125 год / 13 діб |
| 11 | Досходове боронування/легке розпушення | 10–20.05 | 500 га | Руйнування кірки, збереження гребеня | Штригельна борона / легкий культиватор | 8 га/год | 1 | 63 год / 6 діб |
| 12 | Роботизоване прополювання I | 25.05–10.06 | 500 га | Працювати до змикання рядків, RTK-водіння | Naïo ORIO + механічний культиватор | до 9 га/добу | 6 | ≈10 діб |
| 13 | Підгортання та відновлення гребенів | 05–20.06 | 500 га | Формування гребеня 18–22 см | 8-рядний підгортач/гребенеутворювач | 5 га/год | 1 | 100 год / 10 діб |
| 14 | Роботизоване прополювання II | 20.06–05.07 | 500 га | Міжряддя чисті, не травмувати бадилля | Naïo ORIO | до 9 га/добу | 6 | ≈10 діб |
| 15 | Фунгіцидні та інсектицидні обробки | 25.05–10.08 | 3000 га-проходів | 5–6 обробок за прогнозом хвороб | DJI Agras T50 | 12 га/год | 2 | 250 маш.-год / сезон |
| 16 | Підживлення мікроелементами | 10.06–20.07 | 1000 га-проходів | За листковою діагностикою | DJI Agras T50 | 12 га/год | 2 | 83 маш.-год |
| 17 | Десикація / припинення вег. | 20–30.08 | 500 га | За 10–14 діб до збирання | DJI Agras T50 | 12 га/год | 2 | 42 маш.-год / 2 доб. |
| 18 | Збирання картоплі | 01.09–10.10 | 500 га | Мінімальне травмування, вологість ґрунту оптимальна | GRIMME EVO 290 | 0,8 га/год | 2 | 625 маш.-год / 32 доби |
| 19 | Відвезення врожаю | 01.09–10.10 | 17 500 т | Безперервна робота комбайнів | Трактори + причепи 18–20 т | 20 т/рейс | 8 | 875 рейсів |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | Приймання, сортування, закладання у сховище | 01.09–20.10 | 17 500 т | Відбракування пошкоджених бульб, вентиляція | Приймальний бункер, транспортери, сортувалка | 80 т/год | 1 | 219 год |

### 1.6. Технологічна карта вирощування картоплі на площі 500 га

Технологічну карту розроблено для інтенсивного виробництва товарної картоплі у зоні Полісся Житомирської області. У карті враховано площу 500 га, заплановану врожайність 35 т/га, використання модернізованої бульборізки перед садінням, роботизований догляд від бур’янів і обприскування агродронами. Строки операцій можуть уточнюватися залежно від температури ґрунту, вологості та фактичного стану поля.

### 1.7. Графік завантаження машин і сезонна організація робіт

Графік завантаження машин побудовано таким чином, щоб не допустити накладання критичних операцій на один і той самий тракторний або збиральний парк. Найбільш напруженими є періоди садіння, захисту рослин і збирання. Для садіння вузьким місцем є не лише продуктивність саджалки, а й своєчасне різання та протруювання бульб. Для збирання основним обмеженням є продуктивність комбайнів і транспортно-складської логістики.

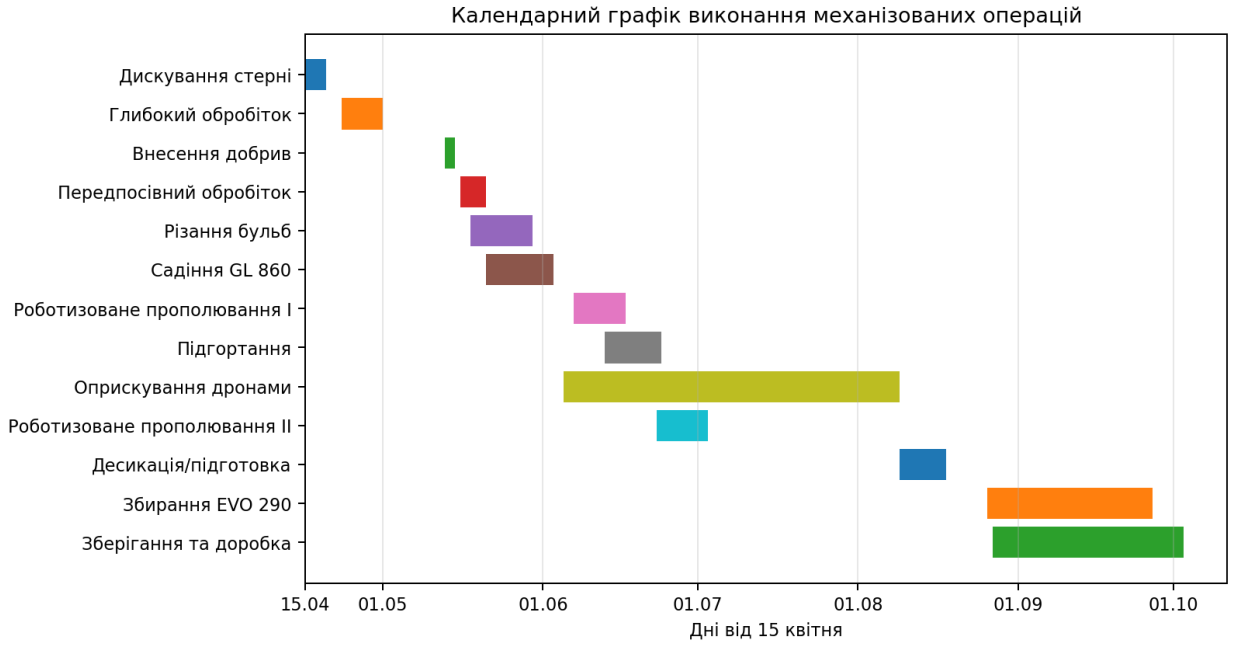



Рис. 1.4. Календарний графік виконання основних операцій

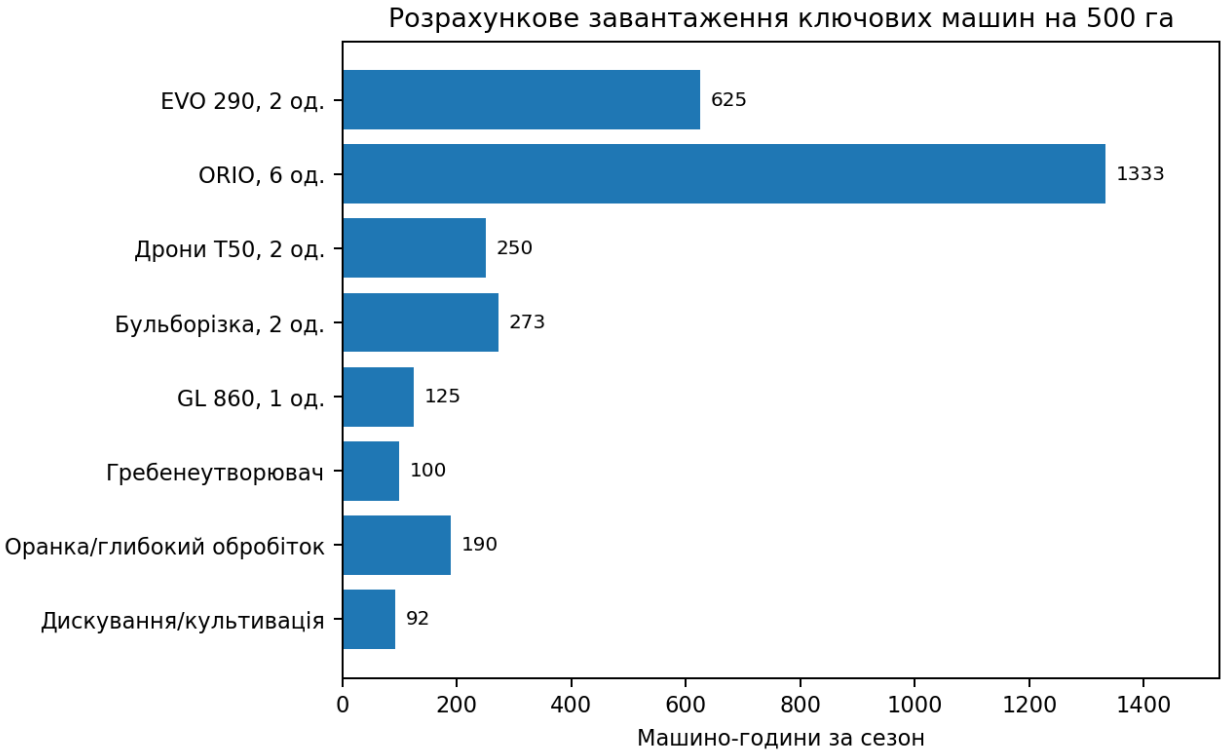



Рис. 1.5. Розрахункове завантаження ключових машин за сезон

Завантаження роботів ORIO є найбільшим у машино-годинах, проте ця робота не конкурує з тракторами та виконується автономно у періоди між основними польовими операціями. Використання шести роботів забезпечує два повні проходи по площі 500 га приблизно за 19 календарних діб. Такий підхід особливо доцільний для насіннєвих і товарних посадок, де важлива чистота поля, рівномірність гребеня та зменшення хімічного навантаження.

Дрони T50 завантажені протягом усього періоду вегетації. Оскільки фітофтороз у Поліссі може швидко поширюватися за вологої погоди, ключовою перевагою агродронів є можливість швидко провести обробку після дощу або на перезволожених ділянках без утворення колій. Для площі 500 га два дрони можуть виконати одну суцільну обробку приблизно за 21 годину чистого польотного часу, що дозволяє закривати технологічне вікно за 2 робочі дні з урахуванням заправлення, заміни батарей та погодних пауз.

Збирання є найдовшим етапом технології. Дві машини GRIMME EVO 290 за продуктивності 0,8 га/год кожна забезпечують завершення робіт за 30–32 календарні доби. Для уникнення простоїв збиральних машин передбачено

не менше восьми транспортних агрегатів із причепами 18–20 т, а також приймальну лінію продуктивністю близько 80 т/год. Під час збирання слід щоденно контролювати температуру бульб, ступінь травмування та якість очищення, оскільки пошкоджена картопля гірше зберігається.

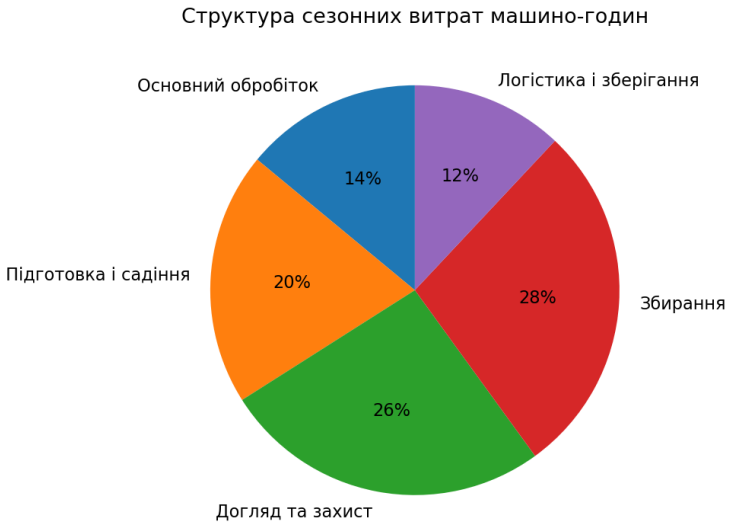



Рис. 1.6. Орієнтовна структура сезонних витрат машино-годин

Таблиця 1.5 – Організація роботи машин у критичні періоди

| Період | Критична операція | Основне обладнання | Ризик | Організаційне рішення |
|---|---|---|---|---|
| Квітень | Підготовка ґрунту і добрив | Carrier, ZA-TS, гребенеутворювач | Запізнення весняних робіт через перезволоження | Мінімізувати проходи, працювати за фізичної стиглості ґрунту |
| Кінець квітня – травень | Різання бульб і садіння | 2 бульборізки + GL 860 | Недостатня продуктивність підготовки садивного матеріалу | Працювати потоково: різання – протруювання – садіння |
| Травень – липень | Контроль бур’янів | 6 ORIO + підгортач | Забур’янення до змикання рядків | Два роботизовані проходи та підгортання |
| Травень – серпень | Фунгіцидний захист | 2 DJI Agras T50 | Швидке поширення фітофторозу у вологу погоду | Обробка за прогнозом, дрони у короткі погодні вікна |
| Вересень – жовтень | Збирання і логістика | 2 EVO 290, 8 транспортних агрегатів | Простої комбайнів і травмування бульб | Синхронізувати комбайни, транспорт і сховище |

### 1.8. Очікувані результати від впровадження технології

Запропонована технологія вирощування картоплі поєднує високопродуктивні машини, роботизований догляд, агродронний захист і модернізовану бульборізку. Її головною перевагою є узгодження продуктивності всіх ланок технологічного процесу. Якщо саджалка здатна засаджувати близько 40–45 га за день, то дві бульборізки разом із лінією протруювання забезпечують підготовку садивного матеріалу у темпі, достатньому для безперервного садіння. Це усуває простої дорогої садильної техніки та зменшує ризик тривалого зберігання розрізаних бульб.

Використання розрізаних великих бульб є економічно доцільним за умови якісного різання, знезараження зрізів і швидкого висаджування. Модернізована бульборізка повинна забезпечувати рівномірний розподіл бульби на частини, стабільний притиск до ножа і мінімальне травмування м’якуша. У комплексі з точним садінням це сприяє вирівнюванню сходів і кращому використанню потенціалу сорту.

Робот ORIO зменшує залежність від ручної праці та частково замінює гербіцидні обробки механічним доглядом. Для умов Полісся це важливо, оскільки легкі ґрунти швидко ущільнюються важкою технікою після дощів, а забур’янення у перші 30–45 днів після садіння значно знижує врожай. Агродрон DJI Agras T50 доповнює систему догляду: він дозволяє проводити захист від фітофторозу, альтернаріозу, колорадського жука та стресових факторів без проходу важкого обприскувача по гребенях.

У результаті для господарства площею 500 га формується технологія, здатна забезпечити валовий збір близько 17,5 тис. т картоплі за врожайності 35 т/га. За належної організації зберігання, вентиляції та сортування частина продукції може реалізовуватися не відразу після збирання, а в період вищих цін. Отже, ефект від проекту формується не лише за рахунок урожайності, а й за рахунок зниження втрат, кращої якості бульб, рівномірності партій і скорочення простоїв машин.

**Висновки по розділу**

Картоплярство залишається стратегічно важливою галуззю як у світі, так і в Україні. Світове виробництво у 2024 р. перевищує 390 млн т, а Україна входить до групи найбільших виробників, однак потребує розвитку професійного сегмента, насінництва, зберігання та переробки. Умови Полісся Житомирської області є придатними для вирощування картоплі, але технологія повинна враховувати кислу реакцію дерново-підзолистих ґрунтів, потребу в органічній речовині, ризик перезволоження та високу ймовірність розвитку хвороб у вологі роки. Для площі 500 га прийнято інтенсивну технологію з урожайністю 35 т/га, валовим збором 17,5 тис. т і потребою в садивному матеріалі 1500 т. Перед садінням передбачено обов’язкове різання бульб модернізованою бульборізкою. До складу комплексу машин включено GRIMME GL 860 Compacta, GRIMME EVO 290, роботів Naïo ORIO, агродрони DJI Agras T50 та сучасні ґрунтообробні й логістичні агрегати. Такий комплекс забезпечує виконання операцій у допустимі агротехнічні строки. Розроблена технологічна карта та графік завантаження машин показують, що найбільш напруженими етапами є підготовка садивного матеріалу, садіння, захист рослин і збирання. Для усунення вузьких місць прийнято дві бульборізки, два агродрони, шість роботів ORIO і два картоплезбиральні комбайни.

# РОЗДІЛ 2
# ТЕХНОЛОГІЧНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУЛЬБОРІЗКИ У КОМПЛЕКСІ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ

## 2.1. Місце операції підготовки садивного матеріалу в технології вирощування картоплі

Ефективність виробництва картоплі визначається не лише якістю обробітку ґрунту, строками садіння, догляду та збирання, а й рівнем підготовки садивного матеріалу. У загальному комплексі машин для вирощування картоплі операції сортування, калібрування, різання великих бульб, протруювання і завантаження садивного матеріалу займають проміжне місце між зберіганням та безпосереднім садінням. Саме на цьому етапі формується рівномірність майбутнього стеблостою, визначається потреба у насіннєвих бульбах і створюються передумови для стабільної роботи картоплесаджалок.

Під час вирощування картоплі значну частину витрат становить насіннєвий матеріал. Якщо для садіння використовувати тільки цілі бульби стандартного розміру, то великі бульби або доводиться відбраковувати, або висаджувати з перевитратою маси на один гектар. Розрізання великих бульб на частини дозволяє раціональніше використати наявний посадковий матеріал, підвищити коефіцієнт використання вічок і зменшити потребу в насіннєвій картоплі без погіршення технологічних умов садіння.

Біологічна доцільність різання полягає в тому, що кожна частина бульби, за умови наявності життєздатних вічок і достатньої маси тканини, здатна утворити повноцінну рослину. Крім того, порушення цілісності бульби частково активізує сплячі вічка, що сприяє дружнішому проростанню. Практична цінність такого прийому проявляється тоді, коли частинки мають приблизно однакову масу, не надмірно травмуються і швидко проходять післярізальну обробку для запобігання загниванню.

У машинній технології картоплярства різання бульб слід розглядати не як окрему допоміжну дію, а як складову потокової лінії підготовки до садіння. До цієї лінії можуть входити картоплесортувальний пункт, транспортери-завантажувачі, бункер-накопичувач, бульборізка, пристрій для нанесення захисних препаратів, завантажувальний транспортер та транспортний засіб для подачі матеріалу до картоплесаджалки. Порушення роботи будь-якої ланки знижує продуктивність усього комплексу, тому бульборізка повинна мати достатню пропускну здатність, бути простою в обслуговуванні та забезпечувати стабільну якість розрізання.

Важливою вимогою до підготовленого матеріалу є відповідність розміру і форми частинок можливостям висівних апаратів картоплесаджалки. Надто малі або нерівномірні за масою частинки можуть випадати з робочих ложечок, створювати пропуски у рядку або погіршувати рівномірність живлення садильного апарата. Надто великі частини, навпаки, призводять до перевитрати матеріалу і збільшення навантаження на транспортери та висаджувальні органи. Тому модернізація бульборізки повинна бути спрямована не лише на підвищення продуктивності, а й на формування посадкових частинок однакової геометрії.

Для умов механізованого садіння доцільно, щоб маса однієї посадкової частини перебувала у межах, які забезпечують нормальне живлення рослини на початкових етапах вегетації. У розрахунках прийнято, що велика бульба середньою масою 150 г розрізається на дві частини масою близько 75 г. Така схема є технологічно простою, не потребує складного орієнтування бульби та добре узгоджується з роботою картоплесаджалки КСМ-4.

Операція різання повинна виконуватися гострим, достатньо жорстким ножем. Зминання, розривання тканини, косий зріз або відокремлення лише тонкого шару шкірки є небажаними, оскільки такі частини мають гірші посадкові властивості. Крім того, нерівномірне розділення бульб збільшує кількість відходів, ускладнює подальше протруювання та погіршує

санітарний стан матеріалу. Отже, якість роботи бульборізки безпосередньо впливає на ефективність усього машинного комплексу.

## 2.2. Аналіз наявних конструкцій бульборізок і причин зниження якості різання

У виробничій практиці застосовувалися різні способи розрізання великих бульб: ручне різання ножами, використання пристроїв, установлених біля сортувальних пунктів, а також саморобні машини з парою притискних робочих органів. Ручне різання є малопродуктивним і потребує значних затрат праці, тому воно не відповідає вимогам інтенсивної технології вирощування картоплі. Крім того, за ручного виконання складно забезпечити однакову форму частин та стабільну санітарну якість зрізу.

Більш продуктивними є механізовані бульборізки, які працюють у складі сортувально-завантажувальної лінії. Одна з відомих конструкцій передбачала встановлення різального пристрою під сортувальним столом картоплесортувального пункту. Бульба потрапляла у конусоподібний лоток, захоплювалася транспортерами і протягувалася через ніж. Така схема дозволяла механізувати процес, проте мала істотні недоліки: значну складність конструкції, підвищене пошкодження бульб транспортерами, потребу у точному налаштуванні та ускладнене очищення робочої зони.

Інший поширений варіант передбачав застосування двох пневматичних балонів, які оберталися назустріч один одному, та ножа, розміщеного між ними. Великі бульби подавалися у бункер, захоплювалися гумовими балонами і протягувалися крізь різальну кромку. Перевагою такої схеми є конструктивна простота, м’яке захоплення картоплі та можливість виготовлення пристрою з доступних деталей від картоплезбиральних машин. Однак саме ця конструкція найчастіше потребує удосконалення, оскільки якість поділу бульб залежить від жорсткості балонів, стабільності зазору між балоном і ножем, стану леза та рівномірності подачі матеріалу.

Основна причина незадовільного розрізання полягає у тому, що пневматичні балони під час контакту з бульбами різного розміру деформуються неоднаково. Якщо у робочу зону одночасно потрапляють дві або більше бульб різного діаметра, більша бульба сильніше вдавлює оболонку балона. Утворюється змінний зазор між поверхнею балона і ножем. Менша бульба у цей момент може бути зміщена, притиснута недостатньо або пройти через ніж не по серединній площині. У результаті одна частина виходить надто малою, а іноді зрізається лише поверхневий шар.

Додатковим фактором погіршення якості є недостатня жорсткість довгого ножа. Коли лезо має значну робочу довжину і спирається тільки на крайні опори, воно під дією сил різання прогинається. Прогин збільшує фактичний зазор, змінює кут входження леза у бульбу і спричиняє нерівномірне навантаження на робочі органи. Чим більша кількість бульб одночасно взаємодіє з ножем, тим помітніше проявляється цей недолік.

Виробничі спостереження показують, що нерівномірний поділ бульб призводить до втрат посадкового матеріалу. Частини, які не мають достатньої маси або вічок, не можуть використовуватися для садіння. Крім того, дрібні обрізки частіше загнивають, забруднюють робочу зону і погіршують якість наступних операцій. Тому метою модернізації є усунення конструктивних причин появи змінного зазору та створення більш керованого процесу захоплення і різання.

Для забезпечення стабільної роботи машини необхідно виконати кілька умов: розділити загальну робочу ширину на окремі канали подачі; підвищити місцеву жорсткість притискних балонів; зменшити ефективну довжину вільної ділянки ножа; забезпечити достатню силу тертя для протягування бульби крізь лезо; обмежити одночасний вплив бульб різного розміру на одну і ту саму ділянку робочого органа. Саме ці положення покладені в основу запропонованої модернізації.

### 2.3. Сутність запропонованої модернізації бульборізки

Конструктивна ідея удосконалення полягає у переході від суцільної робочої зони до секційної. Замість того щоб усі бульби взаємодіяли з одним довгим ножем і двома суцільними деформованими балонами, робоча ширина машини поділяється на кілька відносно незалежних каналів. У кожному каналі бульба захоплюється своєю ділянкою притискних балонів і проходить через коротшу ділянку леза. Такий підхід зменшує взаємний вплив сусідніх бульб і робить процес різання більш передбачуваним.

Модернізація передбачає встановлення всередині пневматичних балонів розділювальних дисків, які підвищують їхню локальну жорсткість і умовно поділяють балон на окремі секції. Додатково у бункері встановлюються направляючі ребра, що формують окремі русла подачі. Завдяки цьому бульби не хаотично потрапляють у простір між балонами, а розподіляються по каналах. Це знижує ймовірність накладання бульб одна на одну, покращує їх орієнтацію і стабілізує умови контакту з ножем.

Ніж також виконується не як довга незакріплена пластина, а як посилений різальний вузол із проміжними опорами. Основою ножа є жорсткий профіль, до якого кріпляться окремі леза або сегменти леза. У місцях, що відповідають розділенню балонів на секції, передбачаються додаткові стояки. Внаслідок цього довжина вільного прольоту леза зменшується, а його прогин під дією сили різання стає значно меншим.

Секційність конструкції дозволяє одночасно обробляти кілька бульб, але кожна з них розрізається у своєму каналі. Якщо в один канал потрапляє більша бульба, її деформаційний вплив практично не передається на сусідні канали. Тому бульба меншого розміру, яка рухається поряд, не втрачає притискання і не зміщується відносно ножа. Це є головною відмінністю модернізованої бульборізки від простішої машини з двома суцільними балонами.

Запропонована конструкція зберігає переваги базової схеми: м’яке захоплення гумовими робочими органами, невисоку металоємність, простоту

привода та можливість роботи у складі існуючої технологічної лінії. Водночас вона усуває основний недолік - нестабільність зазору між ножем і балоном по ширині машини. Таким чином, модернізація має не лише конструктивне, а й технологічне значення, оскільки безпосередньо впливає на якість посадкового матеріалу.

### 2.4. Будова модернізованої бульборізки

Модернізована бульборізка складається з рами, приймального бункера, двох притискних пневматичних балонів, секційного різального апарата, привода, завантажувально-розвантажувальних пристроїв і захисних кожухів. Рама є несучою основою машини. Вона сприймає масу робочих органів, зусилля різання, реакції від підшипникових вузлів і навантаження, що виникають під час подачі матеріалу. Конструкція рами повинна забезпечувати жорсткість та можливість регулювання взаємного положення ножа і балонів.

Приймальний бункер призначений для тимчасового накопичення великих бульб і рівномірної подачі їх до робочої зони. Його стінки мають нахил, достатній для самопливного переміщення картоплі до затискних балонів. У нижній частині бункера встановлено направляючі ребра. Вони розділяють потік бульб на окремі русла, запобігають поперечному зміщенню і сприяють кращому входженню бульби у зазор між балонами.

Притискні балони виконують дві функції: захоплюють бульбу і створюють тягову силу, необхідну для її протягування крізь ніж. Застосування гумової оболонки є доцільним, оскільки вона зменшує травмування поверхні картоплі. Для підвищення жорсткості всередині балонів установлюються диски, які обмежують їх деформацію на окремих ділянках. Унаслідок цього балони працюють як сукупність окремих коротких притискних елементів, що підвищує рівномірність розрізання.

Секційний ніж розташовується між балонами у нижній частині робочої зони. Його ріжуча кромка орієнтована так, щоб бульба, затиснута між

балонами, проходила через лезо без значного проковзування. Основою ножа є жорсткий профіль, на якому закріплюються леза. Проміжні опори підвищують стійкість вузла, перешкоджають прогину та зберігають постійне положення кромки відносно балонів.

Привід робочих органів здійснюється від електродвигуна через редуктор і ланцюгову передачу. Така схема забезпечує зниження частоти обертання до потрібного рівня та збільшення крутного моменту на валах балонів. Синхронне обертання балонів назустріч один одному є обов'язковою умовою правильного захоплення бульб. Передача повинна бути захищена кожухом, а натяг ланцюга - регульованим.

У вихідній частині машини передбачається похилий лоток або транспортер. Після проходження через ніж дві частини бульби падають на приймальну поверхню і спрямовуються до збірника, у транспортний засіб або на подальшу обробку. За умови потокової організації робіт доцільно встановлювати після бульборізки транспортер, який подає матеріал у пристрій для знезараження зрізів, а потім - до завантажувача саджалки.

Таблиця 2.1 – Основні елементи модернізованої бульборізки та їх функції

| Елемент конструкції | Функціональне призначення | Особливість модернізації |
|---|---|---|
| Приймальний бункер | Накопичення і подача великих бульб до робочих органів | Установлення ребер, які поділяють потік на окремі канали |
| Пневматичні балони | Захоплення, притискання і протягування бульби через ніж | Внутрішні диски підвищують місцеву жорсткість балона |
| Секційний ніж | Розділення бульби на дві частини | Проміжні опори скорочують довжину вільного прольоту леза |
| Привід | Передача руху від електродвигуна до валів балонів | Редуктор і ланцюгова передача забезпечують малу частоту обертання та достатній момент |
| Вивантажувальний пристрій | Відведення розрізаного матеріалу | Може працювати зі збірником або транспортером потокової лінії |

## 2.5. Технологічний процес роботи удосконаленої бульборізки

Технологічний процес починається з подачі відсортованих великих бульб у приймальний бункер. До бульборізки повинні надходити бульби без значних механічних пошкоджень, ознак гнилі та надмірного забруднення. За потреби перед різанням проводять миття або сухе очищення, оскільки налиплий ґрунт підвищує зношування ножа, погіршує санітарний стан зрізу і може спричиняти ковзання бульби між балонами.

Після потрапляння у бункер картопля під дією власної ваги переміщується до нижньої частини, де направляючі ребра розподіляють її по окремих руслах. Завдяки цьому у кожний канал надходить обмежена кількість бульб, а їх поперечне переміщення зменшується. Рівномірна подача є особливо важливою, оскільки перевантаження одного каналу може спричинити затори, тоді як недовантаження інших каналів знижує загальну продуктивність.

У робочій зоні бульба захоплюється двома балонами, які обертаються назустріч один одному. Гумова поверхня балонів деформується, охоплює бульбу та створює нормальну силу притискання. За рахунок тертя між бульбою і балоном виникає тягове зусилля, що переміщує бульбу у напрямку леза. Якщо сила тертя більша за необхідну силу різання, бульба не зупиняється перед ножем і не проковзує.

Під час проходження через секційний ніж бульба розділяється на дві частини. Для більшості бульб розріз відбувається у напрямку, близькому до довгої осі, що забезпечує утворення частинок з овально-кубічною формою. Така форма є бажаною для роботи висівних апаратів, оскільки частинки краще розміщуються у ложечках саджалки і менше схильні до випадкового випадання.

Після різання частини бульб виводяться з робочої зони. Якщо машина працює безпосередньо біля поля, матеріал може одразу завантажуватися у транспортний засіб або у бункер картоплесаджалки. Якщо різання виконують завчасно, необхідно передбачити обробку зрізів захисними речовинами і

дотримання режиму зберігання. Найбільш безпечною з технологічної точки зору є організація робіт, за якої розрізані частини висаджуються у той самий день або проходять спеціальну післярізальну підготовку.

Під час експлуатації оператор повинен контролювати рівномірність завантаження, відсутність сторонніх предметів, стан ножа, тиск у балонах і якість отриманих частинок. У разі появи великої кількості нерівних зрізів необхідно перевірити гостроту леза, взаємне положення ножа і балонів, натяг ланцюгової передачі, а також відповідність тиску у балонах прийнятому значенню. Регулювання робочого зазору слід виконувати тільки після повної зупинки машини.

## 2.6. Розрахунок продуктивності та основних кінематичних параметрів

Продуктивність бульборізки повинна узгоджуватися з продуктивністю картоплесаджалки, інакше у технологічній лінії виникатимуть простої. Якщо бульборізка працює повільніше, саджалка не буде забезпечена матеріалом. Якщо ж її продуктивність надмірно перевищує потребу, збільшується обсяг розрізаної картоплі, яка очікує висаджування, що небажано з санітарної точки зору. Тому розрахунок виконуємо, виходячи з необхідності безперервної роботи картоплесаджалки КСМ-4.

Приймаємо, що садіння виконується з міжряддям 0,70 м і відстанню між бульбами у рядку 0,30 м. Кількість посадкових місць на одному гектарі визначається за формулою:

$$n = S_{га} / (b \cdot a) \qquad (2.1)$$

де n – кількість посадкових частин на одному гектарі, шт.; $S_{га}$ – площа одного гектара, м²; b – ширина міжряддя, м; a – відстань між посадковими частинами у рядку, м.

$$n = 10000 / (0{,}70 \cdot 0{,}30) = 47619 \text{ шт./га}$$

Отже, для засадження одного гектара необхідно приблизно 47,6 тис. посадкових частин. За прийнятою схемою одна велика бульба масою 150 г

ділиться на дві частини масою близько 75 г. Тому кількість великих бульб, які потрібно розрізати для одного гектара, становить:

$$n_б = n / 2 = 47619 / 2 = 23810 \text{ шт./га} \quad (2.2)$$

Маса посадкового матеріалу на один гектар за умови маси однієї частини 0,075 кг становитиме:

$$G_{га} = n \cdot m_ч / 1000 = 47619 \cdot 0,075 / 1000 = 3,571 \text{ т/га} \quad (2.3)$$

Продуктивність картоплесаджалки КСМ-4 приймаємо 1,5 га/год. Відповідно необхідна масова продуктивність бульборізки визначається як добуток площинної продуктивності саджалки на норму витрати підготовленого матеріалу:

$$W_{бр} = W_{сад} \cdot G_{га} \quad (2.4)$$

де $W_{бр}$ – потрібна продуктивність бульборізки, т/год; $W_{сад}$ – продуктивність картоплесаджалки, га/год; Gга - маса посадкового матеріалу на один гектар, т/га.

$$W_{бр} = 1,5 \cdot 3,571 = 5,36 \text{ т/год}$$

З урахуванням нерівномірності завантаження, можливих короткочасних зупинок і потреби у технологічному запасі приймаємо розрахункову продуктивність модернізованої бульборізки Wбр = 5,5 т/год.

Кількість бульб, які необхідно розрізати за одну годину при роботі саджалки з продуктивністю 1,5 га/год, становить:

$$n_{год} = n_б \cdot W_{сад} = 23810 \cdot 1,5 = 35715 \text{ шт./год} \quad (2.5)$$

Для подальших розрахунків приймаємо nгод = 36000 шт./год. Конструкцією передбачено вісім робочих каналів, тобто за один цикл може бути розрізано до восьми бульб. Тривалість одного циклу визначимо за формулою:

$$t_ц = 3600 \cdot z / n_{год} \quad (2.6)$$

де $t_ц$ – час одного циклу, с; z – кількість бульб, що одночасно розрізаються за один цикл, шт.; nгод - годинна кількість бульб, шт./год.

$$t_ц = 3600 \cdot 8 / 36000 = 0,8 \text{ с}$$

За один цикл бульба повинна пройти через ніж. Середню довжину шляху різання приймаємо $l_б$ = 0,05 м. Мінімальна лінійна швидкість оболонки балона становитиме:

$$V_л = lб / t_ц \quad (2.7)$$

$$V_л = 0,05 / 0,8 = 0,0625 \text{ м/с}$$

Якщо радіус балона R = 0,15 м, то необхідна кутова швидкість обертання визначається за залежністю:

$$\omega = V_л / R \quad (2.8)$$

$$\omega = 0,0625 / 0,15 = 0,417 \text{ рад/с}$$

Частота обертання балона дорівнює:

$$n = 30 \cdot \omega / \pi \quad (2.9)$$

$$n = 30 \cdot 0,417 / 3,14 = 3,98 \text{ об/хв}$$

Отримане значення є мінімально необхідним для ідеального рівномірного потоку. У реальних умовах бульби надходять нерівномірно, частина каналів може тимчасово бути незаповненою, а процес захоплення не є абсолютно безперервним. Тому для забезпечення продуктивності з запасом приймаємо робочу частоту обертання балонів n = 10 об/хв. Тоді кутова швидкість становитиме ω = 1,05 рад/с, а лінійна швидкість оболонки балона - близько 0,16 м/с. Такі параметри забезпечують необхідну пропускну здатність і не призводять до надмірного ударного впливу на бульби.

## 2.7. Розрахунок сили різання, сили притискання та потужності привода

Під час роботи бульборізки балони повинні не тільки утримувати бульбу, а й створювати достатню тягову силу для її переміщення крізь ніж. Якщо притискання недостатнє, бульба зупиняється перед лезом або проковзує між балонами. Якщо притискання надмірне, зростає ймовірність зминання і пошкодження тканин. Тому силовий розрахунок має підтвердити, що прийнятий тиск у балонах забезпечує різання без руйнування бульби.

Питомий опір різанню картопляної бульби приймаємо qр = 6 Н/см, або 600 Н/м. Для розрахунку максимальної сумарної сили врахуємо, що одночасна довжина різання може досягати одного метра по всій робочій ширині машини. Тоді сумарна сила різання становитиме:

$$P_р = l_р \cdot q_р \quad (2.10)$$

$$P_р = 1{,}0 \cdot 600 = 600 \text{ Н}$$

Для однієї бульби з середньою довжиною перерізу 7 см сила різання буде значно меншою:

$$P_1 = 7 \cdot 6 = 42 \text{ Н} \quad (2.11)$$

Щоб балони могли протягнути бульбу через ніж, сила тертя між гумовою поверхнею та бульбою повинна бути не меншою за силу опору різанню. Оскільки бульба затискається двома балонами, умову можна записати у вигляді:

$$P_1 \leq 2 \cdot F_{тер} \quad (2.12)$$

Сила тертя визначається залежністю:

$$F_{тер} = f \cdot N \quad (2.13)$$

де $f$ – коефіцієнт тертя картоплі по гумовій поверхні, приймаємо f = 0,5; $N$ – нормальна сила притискання з боку одного балона, Н.

Нормальна сила залежить від тиску повітря в балоні та площі контакту з бульбою:

$$N = p \cdot Sк \quad (2.14)$$

де p – тиск повітря в балоні, приймаємо p = 0,13 МПа; $S_к$ – площа контакту одного балона з бульбою, м².

Мінімально потрібна площа контакту за умовою протягування бульби крізь ніж дорівнює:

$$S_к = P1 / (2 \cdot f \cdot p) \quad (2.15)$$

$$S_к = 42 / (2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}13 \cdot 10^6) = 3{,}23 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 3{,}23 \text{ см}^2$$

З огляду на фактичні розміри бульби та еластичність гумової оболонки можна забезпечити площу контакту близько 6 см². За такої площі нормальна сила притискання становитиме:

$$N = 0{,}13 \cdot 10^{6} \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 78 \text{ Н} \quad (2.16)$$

Отримане значення не перевищує допустимої сили, за якої починається руйнування бульби. Якщо допустиму силу прийняти [P] = 190 Н, то умова N < [P] виконується. Отже, прийнятий тиск у балонах забезпечує достатню силу тертя і водночас не створює небезпечного стискання бульби.

Крутний момент на валу балонів складається з моменту, необхідного для подолання сили різання, і додаткового моменту на обертання робочих органів та подолання втрат у підшипниках. Розрахунок виконуємо за формулою:

$$M_{заг} = P_{р} \cdot R + M_{дод} \quad (2.17)$$

де $M_{заг}$ – розрахунковий крутний момент на валу балона, Н·м; $P_{р}$ – сумарна сила різання, Н; R – радіус балона, м; $M_{дод}$ – додатковий момент, який враховує інерцію, тертя та нерівномірність процесу, Н·м.

$$M_{заг} = 600 \cdot 0{,}151 + 100 = 190{,}6 \text{ Н·м}$$

Потужність, необхідна на робочих органах, дорівнює:

$$P_{вих} = M_{заг} \cdot \omega \quad (2.18)$$

$$P_{вих} = 190{,}6 \cdot 1{,}05 = 200 \text{ Вт} = 0{,}20 \text{ кВт}$$

З урахуванням втрат у редукторі та ланцюговій передачі потрібна потужність електродвигуна визначається за залежністю:

$$P_{дв} = P_{вих} / \eta_{заг} \quad (2.19)$$

$$\eta_{заг} = \eta_{ред} \cdot \eta_{л} = 0{,}85 \cdot 0{,}92 = 0{,}782 \quad (2.20)$$

$$P_{дв} = 0{,}20 / 0{,}782 = 0{,}256 \text{ кВт}$$

За результатами розрахунку доцільно застосувати електродвигун потужністю не менше 0,25 кВт з частотою обертання близько 680 об/хв. Для підвищення надійності пуску в умовах підвищеного завантаження допускається встановлення двигуна найближчої більшої стандартної потужності. У подальших розрахунках приймаємо двигун з nдв = 680 об/хв і номінальною потужністю 0,25 кВт, що відповідає прийнятому режиму роботи машини.

Загальне передатне число привода, необхідне для зниження частоти обертання від вала двигуна до вала балона, становить:

$$i_{заг} = n_{дв} / n_б \quad (2.21)$$

$$i_{заг} = 680 / 10 = 68$$

Приймаємо редуктор з передатним числом іред = 40. Тоді передатне число ланцюгової передачі дорівнює:

$$i_л = i_{заг} / i_{ред} = 68 / 40 = 1,7 \quad (2.22)$$

Крутний момент на тихохідному валу редуктора не повинен перевищувати допустимого для вибраного редуктора. Розрахунковий момент, приведений до вала редуктора з урахуванням ланцюгової передачі, становитиме:

$$M_{ред} = M_{заг} / iл = 190,6 / 1,7 = 112,1 \text{ Н·м} \quad (2.23)$$

Оскільки це значення є меншим від допустимого крутного моменту редуктора, вибрана передавальна схема може бути використана для привода бульборізки. Ланцюгова передача одночасно спрощує компонування машини та дає можливість регулювати міжосьову відстань і натяг ланцюга.

### 2.8. Розрахунок вала притискних балонів на міцність

Вал притискного балона під час роботи зазнає дії згинальних і крутних навантажень. На нього передаються реакції від притискання бульб, вага балона, навантаження від привода і крутний момент, необхідний для обертання робочого органа. Оскільки від надійності вала залежить працездатність усієї машини, його діаметр необхідно визначити з урахуванням сумісної дії згину і кручення.

Для розрахунку приймаємо рівномірно розподілене навантаження від дії на бульби q = 600 Н/м, сумарну вагу балона G = 500 Н та крутний момент $M_{кр}$ = 190,6 Н·м. Найбільш небезпечним є переріз, у якому сумарний згинальний момент досягає найбільшого значення. За епюрами згинальних моментів у взаємно перпендикулярних площинах приймаємо $M_y$ = 195,38 Нм і $M_z$ = 132,185 Н·м.

Сумарний згинальний момент визначаємо за формулою:

$$M_{зг} = \sqrt{(My^2 + Mz^2)} \quad (2.24)$$

$$M_{зг} = \sqrt{(195{,}38^2 + 132{,}185^2)} = 235{,}9 \text{ Н·м}$$

Для оцінювання міцності вала за сумісної дії згину та кручення застосовуємо еквівалентний момент. За прийнятою методикою він визначається як:

$$M_{екв} = \sqrt{(M_{зг}^2 + M_{кр}^2)} \quad (2.25)$$

$$M_{екв} = \sqrt{(235{,}9^2 + 190{,}6^2)} = 303{,}2 \text{ Н·м}$$

Діаметр круглого суцільного вала визначаємо з умови міцності на згин:

$$d = \sqrt[3]{(10 \cdot M_{екв} / [\sigma_{зг}])} \quad (2.26)$$

де d – розрахунковий діаметр вала, м; $M_{екв}$ – еквівалентний момент, Н·м; $[\sigma_{зг}]$ - допустиме напруження на згин для матеріалу вала, Па. Для сталі 45 приймаємо $[\sigma_{зг}] = 90$ МПа.

$$d = \sqrt[3]{(10 \cdot 303{,}2 / (90 \cdot 10^6))} = 0{,}032 \text{ м} = 32 \text{ мм}$$

З урахуванням концентрації напружень у місцях посадки підшипників, шпонкових пазів, кріплення зірочок, а також можливих ударних навантажень приймаємо конструктивний діаметр вала 40 мм. Такий запас міцності є доцільним, оскільки машина працює з неоднорідним матеріалом, а навантаження у процесі захоплення бульб має нерівномірний характер.

У місцях установлення приводної зірочки діаметр може бути зменшений до 30 мм за умови перевірки на міцність і правильного виконання перехідних галтелей. Для зниження ризику руйнування необхідно уникати різких переходів перерізу, забезпечити якісне виготовлення шпонкових пазів і застосовувати підшипники, розраховані на радіальні навантаження від балона та зусиль різання.

## 2.9. Узгодження бульборізки з комплексом машин для вирощування картоплі

Модернізована бульборізка повинна працювати не ізольовано, а у складі загальної системи машин. До комплексу машин для вирощування

картоплі входять агрегати для основного та передпосівного обробітку ґрунту, садіння, міжрядного догляду, захисту рослин, збирання, транспортування, сортування і зберігання. Бульборізка відноситься до ланки передсадивної підготовки, проте її робота прямо впливає на наступну операцію - садіння.

Найбільш раціонально розміщувати бульборізку після сортувального пункту або після лінії калібрування, де від загального потоку відокремлюються великі бульби. Такий підхід дає змогу не різати бульби стандартної фракції і спрямовувати на різання лише той матеріал, який потребує поділу. Після різання частинки повинні або надходити на обробку захисними препаратами, або без затримки доставлятися до картоплесаджалки.

Для завантаження бункера може застосовуватися транспортер-завантажувач ТЗК-30 або аналогічний засіб. Його продуктивність повинна бути не меншою за продуктивність бульборізки. У разі потокової роботи після машини доцільно встановити другий транспортер, який спрямовує розрізані частини у кузов транспортного засобу або у бункер саджалки. Така схема зменшує ручну працю, прискорює підготовку матеріалу і скорочує втрати від додаткових перевантажень.

При плануванні роботи машинного комплексу слід враховувати, що розрізані бульби мають більшу чутливість до інфекцій і механічних пошкоджень. Тому тривале перебування матеріалу у насипі небажане. Якщо польові роботи організовані так, що садіння виконується протягом дня, продуктивність бульборізки 5,5 т/год забезпечує безперервну подачу матеріалу для саджалки з продуктивністю 1,5 га/год. За потреби можна організувати короткочасний буферний запас, але він не повинен призводити до погіршення якості зрізів.

У структурі машинного комплексу запропонована бульборізка виконує також економічну функцію. Вона дозволяє використовувати великі бульби як повноцінний посадковий матеріал, зменшує частку відходів і підвищує рівномірність подачі у саджалку. У результаті скорочується потреба у

насіннєвій картоплі, зменшується кількість ручних операцій і підвищується загальна організованість технологічного процесу.

### 2.10. Експлуатаційні вимоги та очікуваний результат модернізації

Для збереження працездатності бульборізки необхідно дотримуватися певних експлуатаційних вимог. Перед початком зміни перевіряють справність привода, натяг ланцюга, стан захисних кожухів, кріплення ножа, тиск у балонах, відсутність сторонніх предметів у бункері та робочій зоні. Після короткого пробного пуску контролюють синхронність обертання балонів і відсутність биття валів.

Якість роботи машини оцінюють за кількістю правильно розрізаних бульб, рівномірністю маси частин, чистотою зрізу та відсутністю значних зминань. Якщо частини виходять нерівними, першочергово перевіряють гостроту леза, величину зазору між ножем і балонами та рівномірність розподілу бульб по каналах. Якщо спостерігається проковзування, слід перевірити тиск у балонах і стан гумової поверхні.

Після завершення роботи машину очищають від рослинних решток, ґрунту і соку картоплі. Особливої уваги потребує різальний апарат, оскільки на лезі можуть накопичуватися забруднення, що погіршують якість зрізу. Ніж необхідно періодично заточувати, а за появи тріщин або значного зносу - замінювати. Підшипникові вузли та ланцюгова передача обслуговуються відповідно до графіка технічного обслуговування.

Очікуваний результат модернізації полягає у підвищенні стабільності процесу різання. Завдяки секційному поділу робочої зони зменшується вплив бульб різного розміру одна на одну, а посилений ніж краще зберігає положення ріжучої кромки. Це дає змогу зменшити кількість частинок, непридатних для садіння, і підвищити якість підготовки матеріалу. За розрахунковими даними, втрати посадкового матеріалу можуть бути зменшені приблизно на 3 відсоткові пункти порівняно з базовою конструкцією.

Крім якісного ефекту, модернізація має організаційні переваги. Машина залишається відносно простою, може працювати з наявними транспортерами та не потребує складного обслуговування. Водночас її продуктивність узгоджується з роботою картоплесаджалки, що дозволяє створити безперервну лінію підготовки і подачі садивного матеріалу. Це відповідає загальній меті удосконалення комплексу машин для вирощування картоплі.

Таблиця 2.2 - Розрахункові параметри модернізованої бульборізки

| Показник | Позначення | Прийняте або розраховане значення |
|---|---|---|
| Продуктивність картоплесаджалки | $W_{сад}$ | 1,5 га/год |
| Кількість посадкових частин на 1 га | n | 47619 шт./га |
| Маса посадкового матеріалу на 1 га | $G_{га}$ | 3,571 т/га |
| Необхідна продуктивність бульборізки | $W_{бр}$ | 5,5 т/год |
| Кількість робочих каналів | z | 8 |
| Робоча частота обертання балонів | $n_б$ | 10 об/хв |
| Діаметр балона | D | 300 мм |
| Крутний момент на валу балона | $M_{заг}$ | 190,6 Н·м |
| Розрахункова потужність на робочих органах | $P_{вих}$ | 0,20 кВт |
| Прийнята потужність електродвигуна | $P_{дв}$ | не менше 0,25 кВт |
| Загальне передатне число привода | $i_{заг}$ | 68 |
| Прийнятий діаметр вала балона | d | 40 мм |

Висновки по розділу

У розділі обґрунтовано необхідність удосконалення бульборізки як важливої ланки комплексу машин для вирощування картоплі. Показано, що якість різання великих бульб впливає на витрату насіннєвого матеріалу, рівномірність роботи картоплесаджалки та загальну ефективність технології садіння. Встановлено, що основними недоліками простих бульборізок з двома пневматичними балонами є змінний зазор між балоном і ножем,

недостатня жорсткість довгого леза та взаємний вплив бульб різного розміру у спільній робочій зоні. Ці фактори спричиняють нерівномірний поділ бульб і втрати посадкового матеріалу. Запропонована модернізація передбачає секційний поділ робочої зони, установлення внутрішніх дисків у пневматичних балонах, застосування направляючих ребер у бункері та посилення ножа проміжними опорами. Таке рішення підвищує стабільність притискання і зменшує прогин ріжучого органа. Розрахована продуктивність бульборізки, необхідна для безперервної роботи з картоплесаджалкою КСМ-4, становить 5,5 т/год. Прийнята робоча частота обертання балонів дорівнює 10 об/хв, що забезпечує необхідний запас продуктивності за нерівномірної подачі бульб. Силовий розрахунок підтвердив можливість протягування бульби через ніж за рахунок тертя між бульбою і гумовими балонами. При тиску у балонах 0,13 МПа забезпечується достатня сила контакту без перевищення допустимого стискального навантаження на бульбу. Для привода робочих органів визначено крутний момент 190,6 Н·м і потужність на виході близько 0,20 кВт. З урахуванням ККД передач прийнято електродвигун потужністю не менше 0,25 кВт, редуктор з передатним числом 40 та ланцюгову передачу з передатним числом 1,7. Розрахунок вала балона показав, що мінімальний діаметр за умовою міцності становить 32 мм. З урахуванням запасу міцності, шпонкових пазів, місць посадки зірочок і нерівномірності навантаження прийнято діаметр вала 40 мм. Удосконалена бульборізка може бути інтегрована у потокову лінію підготовки садивного матеріалу з використанням наявних транспортерів і сортувального обладнання. Очікуваний результат модернізації - підвищення якості розрізання, зменшення втрат посадкового матеріалу та покращення організації механізованого садіння картоплі.

# РОЗДІЛ 3
# ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

## 3.1. Вихідні положення для економічної оцінки

Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень виконано для технології вирощування картоплі в умовах Полісся Житомирської області на площі 500 га. У попередніх розділах обґрунтовано склад сучасного комплексу машин, до якого входять високопродуктивна саджалка, дві модернізовані бульборізки, роботи для механічного знищення бур'янів, агродрони для обприскування та сучасні картоплезбиральні комбайни. Економічна оцінка має показати, чи забезпечує така технологія достатній приріст прибутку порівняно з базовим варіантом, у якому використовуються менш продуктивні машини, тракторні обприскувачі, традиційний хімічний захист від бур'янів та бульборізка без удосконаленого різального апарата.

Розрахунки виконано у цінах 2026 року з використанням укрупнених виробничих нормативів. Для уникнення завищення ефекту реалізаційну ціну товарної картоплі прийнято на консервативному рівні 8,0 грн/кг, тобто 8000 грн/т. Такий рівень відповідає діапазону цін, який спостерігався на українському ринку картоплі у 2025–2026 роках. Вартість дизельного палива прийнято 84 грн/л, що відповідає середньому рівню цін на дизпаливо в Україні в червні 2026 року. Усі показники наведено без деталізації податкових платежів, оскільки метою розділу є порівняння технологічних варіантів і визначення окупності проектних рішень.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

| Показник | Одиниця | Значення | Пояснення |
|---|---|---|---|
| Площа вирощування картоплі | га | 500 | Проектна площа господарства |
| Планова врожайність | т/га | 35 | Інтенсивна технологія для Полісся |
| Валовий збір | т | 17 500 | 500 га × 35 т/га |
| Реалізаційна ціна | грн/т | 8 000 | Консервативний розрахунковий рівень |
| Виручка від реалізації | млн грн | 140,0 | 17 500 т × 8000 грн/т |

Продовження таблиці 3.1.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Норма садивного матеріалу | т/га | 3,0 | За використання різаних великих бульб |
| Загальна потреба у садивному матеріалі | т | 1500 | 3,0 т/га × 500 га |
| Ціна дизельного палива | грн/л | 84 | Прийнято за довідковим ринковим рівнем |

Економічний результат проекту формується з кількох джерел. По-перше, різання великих бульб перед садінням дає змогу зменшити потребу в садивному матеріалі без зменшення кількості посадкових місць. По-друге, модернізація бульборізки забезпечує більш рівномірний поділ бульб і скорочує частку некондиційних посадкових частин. По-третє, роботизоване прополювання зменшує залежність від гербіцидів та звільняє трактори для інших операцій. По-четверте, обприскування агродронами підвищує оперативність захисту рослин у вологих умовах Полісся і усуває втрати від колій. По-п’яте, сучасні збиральні машини зменшують механічне пошкодження і втрати бульб під час збирання.

### 3.2. Капітальні вкладення у реалізацію проектних рішень

У роботі розглядаються не лише витрати на виготовлення модернізованої бульборізки, а й додаткові вкладення у технологічне дооснащення комплексу машин. Придбання повного парку важкої техніки доцільно здійснювати через лізинг або використовувати наявні машини господарства; тому в додаткові капітальні вкладення включено ті елементи, які безпосередньо забезпечують інноваційність проекту: модернізовані бульборізки, агродрони, роботи для прополювання, RTK-навігацію, програмне забезпечення і навчання персоналу.

Таблиця 3.2 – Орієнтовні додаткові капітальні вкладення у проект

| Напрям вкладень | Кількість | Вартість одиниці, млн грн | Сума, млн грн | Призначення |
|---|---|---|---|---|
| Модернізація двох бульборізок | 2 | 0,45 | 0,90 | Забезпечення технологічного ефекту |

Продовження таблиці 3.2

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Два агродрони DJI Agras T50 з батареями | 2 комплекти | 1,55 | 3,10 | Забезпечення технологічного ефекту |
| Шість роботів ORIO з робочими органами | 6 | 6,00 | 36,00 | Забезпечення технологічного ефекту |
| RTK, карти поля, ПЗ і навчання персоналу | 1 комплект | 1,20 | 1,20 | Забезпечення технологічного ефекту |
| Разом додаткові вкладення | - | - | 41,20 | - |

Найбільша частка капітальних вкладень припадає на роботизований догляд за посівами. Це пояснюється тим, що для площі 500 га прийнято парк із шести автономних роботів, який дозволяє виконати два міжрядні прополювання у допустимі агротехнічні строки. Водночас такі вкладення не слід оцінювати лише за прямою економією гербіцидів: роботи зменшують ущільнення ґрунту, дають змогу працювати у довші часові вікна, зменшують потребу в механізаторах і підвищують технологічну стійкість виробництва.




Рис. 3.1. Структура виробничих витрат проектної технології.

### 3.3. Розрахунок виробничих витрат і собівартості продукції

Виробничі витрати розраховано за основними статтями, характерними для інтенсивної технології вирощування картоплі: садивний матеріал, добрива, захист рослин, паливо, оплата праці, ремонт і технічне

обслуговування, амортизація або лізинг машин, електроенергія та витрати на зберігання. Оскільки в технології застосовуються агродрони та роботи, частина витрат на паливо замінюється витратами на електроенергію, батареї, сервісне обслуговування і програмне забезпечення.

Таблиця 3.3 – Розрахунок виробничих витрат проектного варіанта

| Стаття витрат | Сума, млн грн | На 1 га, грн | На 1 т, грн/т | Частка, % |
|---|---|---|---|---|
| Садивний матеріал | 12,00 | 24 000 | 686 | 18,1 |
| Добрива та вапнування | 9,00 | 18 000 | 514 | 13,6 |
| Захист рослин і біопрепарати | 3,50 | 7 000 | 200 | 5,3 |
| Паливо-мастильні матеріали | 4,62 | 9 240 | 264 | 7,0 |
| Оплата праці з нарахуваннями | 2,50 | 5 000 | 143 | 3,8 |
| Ремонт, ТО, запасні частини | 5,00 | 10 000 | 286 | 7,6 |
| Амортизація/лізинг машин | 16,00 | 32 000 | 914 | 24,2 |
| Електроенергія, батареї, заряджання дронів і роботів | 0,50 | 1 000 | 29 | 0,8 |
| Зберігання, сортування, логістика | 8,00 | 16 000 | 457 | 12,1 |
| Інші виробничі та адміністративні витрати | 5,00 | 10 000 | 286 | 7,6 |
| Разом виробничі витрати | 66,12 | 132 240 | 3 778 | 100,0 |

Загальні виробничі витрати за проектним варіантом становлять 66,12 млн грн. Витрати на 1 га дорівнюють 132 240 грн, а розрахункова собівартість 1 т товарної картоплі – 3 778 грн/т. За реалізаційної ціни 8 000 грн/т запас між ціною реалізації та собівартістю становить близько 4 222 грн/т, що створює достатній резерв для покриття ризиків, пов’язаних із погодними умовами, якістю зберігання та коливанням ринкових цін.

### 3.4. Економічний ефект від удосконалення комплексу машин

Для визначення річного економічного ефекту проектний варіант порівняно з базовим. Базовий варіант передбачає використання звичайної бульборізки, більшої норми садивного матеріалу, тракторного обприскування, традиційної системи боротьби з бур’янами та менш продуктивної збиральної техніки. У такому варіанті зростають витрати, частина врожаю втрачається через нерівномірність посадкових частин, запізнення обприскувань, колії від тракторів і механічне травмування бульб під час збирання.

Основним ефектом від модернізованої бульборізки є підвищення якості посадкового матеріалу. Якщо звичайні конструкції можуть формувати значну кількість нерівномірних частин, то запропоноване рішення з жорсткішими притискними елементами та секціонованим різальним апаратом зменшує втрати посадкового матеріалу. За потреби 1500 т садивних бульб навіть зниження втрат на 3 % означає економію близько 45 т, або 360 тис. грн за прийнятої ціни 8000 грн/т. Додатково різання великих бульб дає змогу перейти від умовної норми 3,8 т/га при використанні цілих бульб до 3,0 т/га, що забезпечує економію 400 т садивного матеріалу на площі 500 га.

Таблиця 3.4 – Розрахунок очікуваного річного економічного ефекту

| Джерело ефекту | Розрахунок | Ефект, млн грн/рік |
|---|---|---|
| Економія садивного матеріалу від різання великих бульб | 0,8 т/га × 500 га × 8000 грн/т | 3,20 |
| Зменшення втрат посадкового матеріалу модернізованою бульборізкою | 1500 т × 3 % × 8000 грн/т | 0,36 |
| Роботизоване прополювання ORIO | Менше гербіцидів, пального і тракторних годин | 1,10 |
| Обприскування агродронами | Менше втрат від колій і запізнення захисту | 1,60 |
| Сучасне збирання комбайнами | Зниження польових втрат і травмування бульб | 2,80 |
| Сумарний розрахунковий ефект | - | 9,06 |

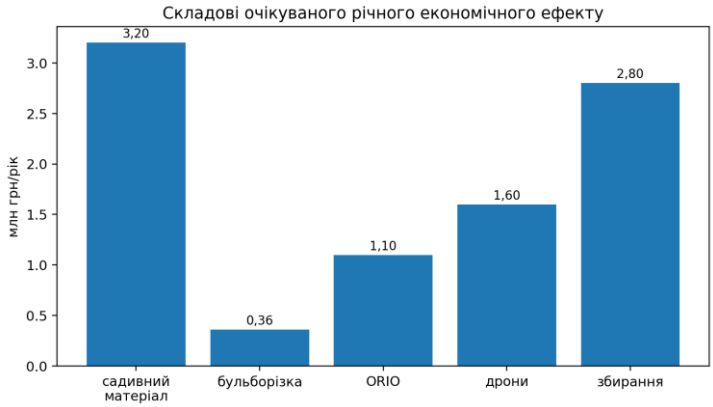



Рис. 3.2. Складові очікуваного річного економічного ефекту.

Наведені розрахунки показують, що найбільший прямий економічний результат забезпечують раціональне використання садивного матеріалу і зменшення втрат під час збирання. Роботизоване прополювання та агродрони мають не лише прямий, а й організаційний ефект: вони скорочують пікове

навантаження на тракторний парк, зменшують залежність від наявності механізаторів і дозволяють швидше реагувати на зміну погодних умов. Для Полісся це особливо важливо, оскільки надлишкова вологість часто ускладнює заїзд колісної техніки у поле.

### 3.5. Порівняння базового та проектного варіантів

Результати порівняння базового і проектного варіантів наведено у таблиці 3.5. У проектному варіанті валовий збір прийнято на рівні 17 500 т. У базовому варіанті товарний вихід зменшено на 3 % через вищі втрати посадкового матеріалу, нерівномірність сходів, колії від обприскувачів і більші втрати при збиранні. Такий підхід є обережним, оскільки фактична різниця за несприятливих погодних умов може бути більшою.

Таблиця 3.5 – Порівняння економічних показників базового та проектного варіантів

| Показник | Базовий варіант | Проектний варіант | Відхилення |
|---|---|---|---|
| Площа, га | 500 | 500 | 0 |
| Товарний вихід, т | 16 975 | 17 500 | 525 |
| Виручка, млн грн | 135,80 | 140,00 | 4,20 |
| Виробничі витрати, млн грн | 70,50 | 66,12 | -4,38 |
| Прибуток, млн грн | 65,30 | 73,88 | 8,58 |
| Собівартість 1 т, грн/т | 4 153 | 3 778 | -375 |
| Рентабельність виробництва, % | 92,6 | 111,7 | 19,1 |

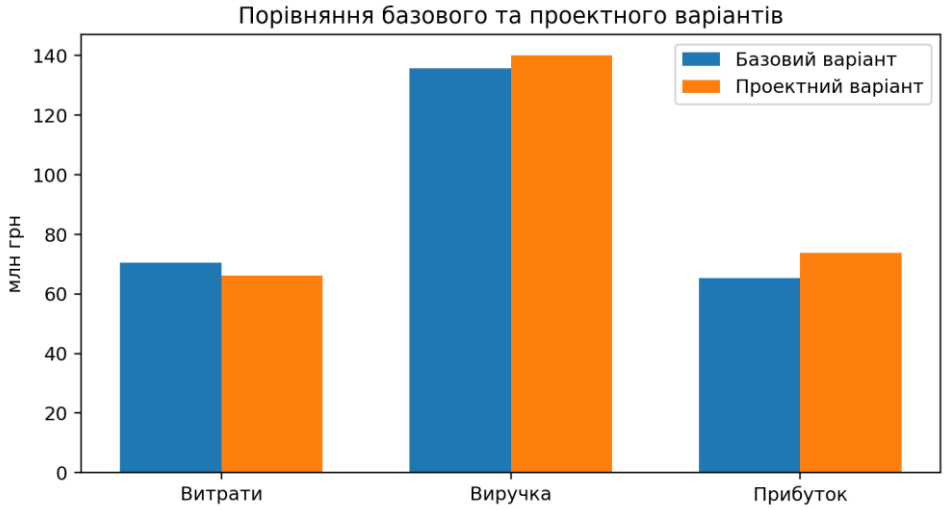



Рис. 3.3. Порівняння економічних результатів базового та проектного варіантів

За результатами розрахунку проектний варіант забезпечує прибуток 73,88 млн грн, тоді як базовий варіант – 65,30 млн грн. Додатковий прибуток становить 8,58 млн грн за сезон. Розрахункова собівартість 1 т продукції у проектному варіанті дорівнює 3 778 грн/т, що нижче за базовий рівень. Рентабельність виробництва становить 111,7 %, що свідчить про економічну доцільність прийнятих проектних рішень.

### 3.6. Окупність додаткових вкладень і чутливість результату

Окупність додаткових капітальних вкладень визначається як відношення суми інвестицій до додаткового річного прибутку. Формула має вигляд:

$$Ток = Кдод / ΔП,$$

де Ток – строк окупності, років; Кдод – додаткові капітальні вкладення, грн; ΔП – приріст прибутку за рік, грн.

За прийнятих умов додаткові вкладення становлять 41,20 млн грн, а приріст прибутку – 8,58 млн грн. Отже, строк окупності проекту дорівнює 4,8 року. Для аграрного виробництва з високою сезонністю це є прийнятним показником, особливо з урахуванням того, що роботи, дрони та RTK-навігація можуть використовуватися не лише на картоплі, а й на інших просапних культурах господарства.

Таблиця 3.6 – Чутливість економічного результату до ціни реалізації картоплі

| Сценарій | Ціна реалізації, грн/т | Виручка, млн грн | Прибуток, млн грн | Строк окупності, років |
|---|---|---|---|---|
| Песимістичний | 6 500 | 113,75 | 47,63 | 5,3 |
| Базовий | 8 000 | 140,00 | 73,88 | 4,8 |
| Оптимістичний | 9 500 | 166,25 | 100,13 | 4,4 |

Аналіз чутливості підтверджує, що ключовим ризиком є коливання ціни реалізації. Якщо ціна знижується до 6500 грн/т, прибутковість зберігається, але строк окупності суттєво зростає. Тому господарству

доцільно поєднувати виробництво з якісним зберіганням і сортуванням, що дозволить реалізовувати продукцію не лише в період масового збирання, а й у періоди вищого попиту. Крім того, частину високоякісної картоплі можна спрямовувати на переробку або фасування, що підвищує середню ціну реалізації.

**Висновки по розділу**

Проектна технологія вирощування картоплі на площі 500 га за врожайності 35 т/га забезпечує валовий збір 17 500 т і виручку 140,00 млн грн за розрахункової ціни 8 000 грн/т. Розрахункова собівартість продукції становить 3 778 грн/т, а прибуток проектного варіанта – 73,88 млн грн. Рентабельність виробництва дорівнює 111,7 %. Модернізована бульборізка є економічно виправданою, оскільки забезпечує економію садивного матеріалу, зменшує втрати через нерівномірне різання і сприяє стабільнішому формуванню густоти насаджень. Застосування роботів ORIO та агродронів DJI Agras T50 підвищує технологічну гнучкість, зменшує навантаження на тракторний парк, скорочує ущільнення ґрунту і забезпечує оперативне виконання робіт у періоди підвищеної вологості. Додаткові вкладення у проектні рішення оцінено у 41,20 млн грн, а приріст прибутку порівняно з базовим варіантом – у 8,58 млн грн за сезон. Строк окупності становить близько 4,8 року, що підтверджує доцільність впровадження запропонованого комплексу машин.

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування картоплі в умовах Полісся Житомирської області з модернізацією конструкції бульборізки. Актуальність теми зумовлена важливим значенням картоплі для продовольчої безпеки, високою собівартістю її вирощування, значною часткою витрат на посадковий матеріал, пальне, оплату праці та необхідністю впровадження сучасних технічних засобів у технологічний процес.

У першому розділі було проаналізовано сучасний стан галузі картоплярства у світі та Україні. Встановлено, що картопля залишається однією з найважливіших продовольчих культур, а ефективність її виробництва значною мірою залежить від рівня механізації, якості насіннєвого матеріалу, дотримання агротехнічних строків та використання ресурсозберігаючих технологій. Для умов Полісся Житомирської області запропоновано технологію вирощування картоплі на площі 500 га, яка враховує ґрунтово-кліматичні особливості зони, потребу культури у волозі, якісну підготовку ґрунту, раціональне удобрення, сучасний захист рослин і механізоване збирання.

У другому розділі обґрунтовано необхідність модернізації конструкції бульборізки. Встановлено, що розрізання великих посадкових бульб є ефективним прийомом раціонального використання насіннєвого матеріалу, оскільки дає змогу підвищити коефіцієнт використання вічок і зменшити витрати бульб на садіння. Разом з тим існуючі конструкції картоплерізок мають недоліки, пов’язані з недостатньою жорсткістю затискних балонів і довгого ножа, що призводить до нерівномірного розрізання бульб, пошкодження посадкового матеріалу та збільшення втрат.

Запропонована модернізація бульборізки передбачає підвищення жорсткості робочих органів, поділ затискних балонів на окремі секції та застосування конструкції ножа з проміжними опорами. Такий підхід дає

змогу забезпечити більш стабільне положення бульби під час різання, зменшити прогин ножа, обмежити утворення зазору між балоном і різальним елементом та підвищити рівномірність поділу бульби на частини. Удосконалений різальний апарат краще відповідає вимогам технологічного процесу підготовки посадкового матеріалу перед садінням.

У третьому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень. Встановлено, що впровадження запропонованого комплексу машин і модернізованої бульборізки є економічно доцільним, оскільки дозволяє зменшити витрати посадкового матеріалу, підвищити якість підготовки бульб, знизити частку ручної праці та забезпечити більш ефективне використання техніки протягом виробничого сезону. Додатковий економічний ефект формується за рахунок підвищення продуктивності технологічних операцій, зменшення простоїв садильного агрегату, скорочення втрат насіннєвої картоплі та підвищення рівномірності насаджень.

Отже, запропоновані проектні рішення мають практичне значення для сільськогосподарських підприємств, що спеціалізуються на вирощуванні картоплі в зоні Полісся. Поєднання сучасного комплексу машин, роботизованих засобів догляду, агродронів для захисту рослин і модернізованої бульборізки дозволяє підвищити технологічний рівень виробництва, знизити собівартість продукції, покращити використання посадкового матеріалу та забезпечити стабільне отримання якісного врожаю картоплі.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. FAOSTAT. Food and agriculture data / Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/faostat/ (дата звернення: 2.06.2026).

2. Potato. Crop information / Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/potato/en/ (дата звернення: 2.06.2026).

3. Potato production / Our World in Data. URL: https://ourworldindata.org/grapher/potato-production (дата звернення: 2.06.2026).

4. Potato yields / Our World in Data. URL: https://ourworldindata.org/grapher/potato-yields (дата звернення: 20.06.2026).

5. Технологія вирощування картоплі / Інститут картоплярства НААН України. URL: https://www.ikar.org.ua/pro-kartoplyu/технологія-вирощування-картоплі (дата звернення: 2.06.2026).

6. Рекомендації з вирощування картоплі / Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН. URL: https://www.isg.rv.ua (дата звернення: 20.06.2026).

7. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2022. 552 с.

8. 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.

9. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Агроосвіта, 2015. 679 с.

10. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

11. Пастухов В. І., Чигрин А. Г., Джолос П. А., Мельник В. І., Ільченко В. Ю., Анікєєв О. І., Циганенко М. О. Довідник з

машиновикористання в землеробстві / за ред. В. І. Пастухова. Харків : Веста, 2001. 347 с.

12. Головчук А. Ф., Лімонт А. С., Бондаренко М. Г. Машиновикористання та екологія довкілля : підручник / за ред. А. Ф. Головчука. Київ : Грамота, 2007. 360 с.

13. 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.

14. Васильченко В., Гузь М. Машини для садіння картоплі. Агроном. 2011. № 1. С. 194–198.

15. Вирощування картоплі за краплинного зрошення : науково-практичні рекомендації / Р. А. Вожегова, Ю. О. Лавриненко, Г. С. Балашова, І. І. Черниченко та ін. Херсон : Інститут зрошуваного землеробства НААН, 2015. 44 с.

16. Спосіб вирощування картоплі за органічного виробництва : науково-практичні рекомендації / Інститут сільського господарства Полісся НААН. URL: https://www.isgpnaan.org/images/news/newsfiles/sposib-viroshchuvannya-kartopli-za-organichnogo-virobnitstva.pdf (дата звернення: 2.06.2026).

17. GRIMME GL 420. Potato planter / GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG. URL: https://products.grimme.com/en/p/gl-420 (дата звернення: 2.06.2026).

18. GRIMME GL 420 Exacta. Potato planter / GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG. URL: https://products.grimme.com/en/p/gl-420-exacta (дата звернення: 20.06.2026).

19. GRIMME EVO 290. Potato harvester / GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG. URL: https://products.grimme.com/en/p/evo-290 (дата звернення: 2.06.2026).

20. John Deere 8R Series Row Crop Tractors / Deere & Company. URL: https://www.deere.com/en/tractors/row-crop-tractors/row-crop-8-family/ (дата звернення: 20.06.2026).

21. DJI Agras T50. Specifications / DJI Agriculture. URL: https://ag.dji.com/t50/specs (дата звернення: 2.06.2026).

22. DJI Agras T50. Ready, Steady, Go / DJI Agriculture. URL: https://ag.dji.com/t50 (дата звернення: 20.06.2026).

23. Orio robot. Autonomous agricultural robot / Naïo Technologies. URL: https://www.naio-technologies.com/en/orio-robot/ (дата звернення: 2.06.2026).

24. Orio. Technical specifications / GOFAR Agricultural Robotics. URL: https://www.agricultural-robotics.com/robot/orio (дата звернення: 2.06.2026).

25. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1090-18 (дата звернення: 2.06.2026).

26. Методичні рекомендації з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції сільськогосподарських підприємств : наказ Міністерства аграрної політики України від 18.05.2001 № 132. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0132555-01 (дата звернення: 2.06.2026).

27. GlobalPetrolPrices. Ukraine diesel prices. URL: https://www.globalpetrolprices.com/Ukraine/diesel_prices/ (дата звернення: 20.06.2026).