

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Заплетнюк Богдан Вікторович

УДК 631.17

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ
ВИРОБНИЦТВА КАРТОПЛІ З УДОСКОНАЛЕННЯМ
ОДНОРЯДНОГО КАРТОПЛЕКОПАЧА**

208 “Агроінженерія”

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

Керівник роботи

Білецький В.Р.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Заплетнюк Богдан Вікторович. Удосконалення комплексу машин для виробництва картоплі з удосконаленням однорядного картоплекопача. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У даній кваліфікаційній роботі здійснено комплексний аналіз існуючої системи машин для вирощування та збирання картоплі, зокрема однорядного картоплекопача, що дозволило виявити основні технічні та технологічні недоліки його конструкції. Модернізація картоплекопача сприяє зменшенню заглиблення агрегату в ґрунт та зниженню енерговитрат трактора.

Впровадження модернізованого комплексу машин забезпечує зниження питомих витрат пального на 8–10 % і підвищення коефіцієнта використання часу роботи до 0,88–0,92. Скорочення кількості механічних пошкоджень бульб на 20 % підвищує якість насіннєвого матеріалу й покращує зберігання, що загалом збільшує прибутковість господарства.

Новизна роботи полягає в інтегрованому підході до удосконалення як окремого робочого органу однорядного копача, так і всього агрегату в складі з трактором МТЗ-82. Запропоновані конструктивні вдосконалення можуть бути адаптовані до інших типів навісних копачів із подібними параметрами захвату.

Враховуючи отримані результати, рекомендується подальша робота над автоматизацією налаштування глибини та кута входу робочих органів із використанням електронних датчиків і систем GPS-контролю, що дозволить перейти до точного землеробства і ще більше підвищити ефективність вирощування картоплі.

Ключові слова: копач, картопля, агрегат, ґрунт, технологія, збирання.

ANNOTATION

Zapletnyuk Bogdan Viktorovich. Improvement of a complex of machines for potato production with improvement of a single-row potato digger. – 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, 2025.

This thesis provides a comprehensive analysis of the existing system of machines for growing and harvesting potatoes, in particular a single-row potato digger, which made it possible to identify the main technical and technological shortcomings of its design. The modernization of the potato digger helps to reduce the depth of the unit in the soil and reduce the energy consumption of the tractor.

The introduction of the modernized machine complex provides a reduction in specific fuel consumption by 8–10% and an increase in the utilization rate to 0.88–0.92. A 20% reduction in mechanical damage to tubers improves the quality of seed material and storage, which generally increases the profitability of the farm.

The novelty of the work lies in the integrated approach to improving both the individual working body of the single-row digger and the entire unit in combination with the MT3-82 tractor. The proposed design improvements can be adapted to other types of mounted diggers with similar grip parameters.

Based on the results obtained, further work is recommended on automating the adjustment of the depth and angle of entry of the working bodies using electronic sensors and GPS control systems, which will allow for a transition to precision farming and further increase the efficiency of potato cultivation.

Keywords: digger, potato, unit, soil, technology, harvesting.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА КАРТОПЛІ В УМОВАХ ҐРУНТОВО-КЛІМАТИЧНОЇ ЗОНИ ПОЛІССЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОПАННЯ КАРТОПЛІ.....	18
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	23
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Картопля відіграє в Україні роль «другого хліба»: країна займає п'яте місце у світі за обсягами її виробництва, а середньорічне споживання сягає приблизно 136 кг на душу населення. За даними аграрного року 2023/24, обсяги виробництва картоплі в Україні становили 21,4 млн т, що на 2,4 % менше, ніж у попередньому році. Зниження врожайності зумовлене як кліматичними викликами (посухи, аномальні температури), так і трудовими дефіцитами через міграцію та воєнні ризики, що ускладнює залучення сезонних працівників для копання бульб. Водночас традиційні технології збирання картоплі залишають із високим вмістом механічних домішок (грунту, грудок) і значними фізичними втратами плодів, що погіршує якість насіннєвого матеріалу та збільшує витрати на додаткову обробку.

В умовах сучасних викликів агропромислового комплексу удосконалення комплексу машин для виробництва картоплі є вкрай необхідним заходом для підвищення ефективності, економічності та якості продукції. Зокрема, оптимізація однорядного картоплекопача дасть змогу зменшити втрати бульб під час механізованого копання, знизити вміст домішок до рівня не більше 5 % та скоротити трудомісткість операції. Підвищення продуктивності агрегату МТЗ-82 + КТН-1,0М через удосконалення геометрії робочих органів і системи регулювання глибини дозволить обробляти до 0,4 га/год за сезонних дефіцитів робочої сили, що особливо актуально для господарств Полісся.

Крім того, модернізація картоплекопача сприятиме зниженню питомих витрат пального на 8–10 %, підвищенню коефіцієнта використання часу роботи до 0,9 та зменшенню вібраційного навантаження на тракторну раму, що значно продовжує ресурс техніки й знижує експлуатаційні витрати. Отже, розробка та впровадження удосконаленого однорядного картоплекопача відповідають потребам вітчизняного агровиробництва у підвищенні конкурентоспроможності та сталості галузі картоплярства. Враховуючи роль

картоплі як базової продовольчої культури та економічну вагу галузі, тема роботи має високу практичну та наукову значущість для агропромислового розвитку регіону та країни в цілому.

Метою дослідження є розробити та обґрунтувати технічні й технологічні рішення для удосконалення комплексу машин вирощування і збирання картоплі на базі трактора МТЗ-82 із навісним однорядним картоплекопачем КТН-1,0М, спрямовані на підвищення продуктивності, якості сепарації бульб і надійності роботи в умовах Полісся.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасний стан і основні недоліки існуючих однорядних картоплекопачів, зокрема КТН-1,0М, у поєднанні з трактором МТЗ-82 в умовах ґрунтів Полісся;
- дослідити кінематичні та кінетичні параметри робочих органів копача для виявлення зон підвищеного навантаження та причин погіршення якості сепарації;
- розробити варіанти удосконалення геометрії підкопувальних ножів і конструкції гідравлічних упорів глибини копання з урахуванням нерівностей рельєфу;
- запропонувати конструктивне удосконалення картоплекопача для зменшення вібрацій і кількості механічних пошкоджень бульб.
- провести розрахунки міцності і жорсткості основних вузлів модернізованого копача з використанням методів теорії машин і механізмів та деталей машин

Об'єктом дослідження є технологічний процес копання картоплі в умовах Полісся.

Предметом дослідження вплив конструктивно-регулювальних параметрів однорядного картоплекопача на ефективність процесу механізованого копання, якість сепарації бульб та енергоефективність.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., Тригуба А.О., Заплетнюк Б.В., Веремій Т.Б., Федорчук А.О., Шевчук О.А. Стан галузі картоплярства в Україні. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 106-109.

2. Тригуба А.О., Заплетнюк Б.В. Стан галузі картоплярства в Україні. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 89-92.

Практичне значення одержаних результатів. Впровадження розроблених удосконалень однорядного картоплекопача в агрегаті з трактором МТЗ-82 забезпечує реальне підвищення продуктивності польових робіт на 12–15 %. Зниження механічних пошкоджень бульб на 20 % і зменшення вмісту ґрунту під час сепарації до рівня не більше 5 % сприяє підвищенню якості насіннєвого матеріалу, зменшенню втрат при зберіганні та зниженню витрат на післязбиральну доочистку. Економічна вигода від модернізації проявляється у зниженні питомих витрат пального на 8–10 % і підвищенні коефіцієнта використання часу роботи до 0,88–0,92, що скорочує собівартість технологічної операції.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки комп'ютерного тексту, містить 6 рисунків та 5 додатків.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА КАРТОПЛІ В УМОВАХ ҐРУНТОВО-КЛІМАТИЧНОЇ ЗОНИ ПОЛІССЯ

У ґрунтово-кліматичній зоні Полісся картопля є однією з ключових сільськогосподарських культур завдяки високій врожайності та адаптивності до помірного клімату. Волога, багата на гумус дерново-підзолиста та торф'яно-болотна ґрунти створюють сприятливі умови для розвитку бульб. Опадів тут випадає від 600 до 700 мм на рік, що забезпечує оптимальну вологозабезпеченість у період вегетації. Середньорічна температура становить близько $+6...+7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура ґрунту весною прогрівається до $+8...+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це дозволяє висівати картоплю в оптимальні строки з кінця квітня до початку травня. Проте значні запаси вологи інколи спричиняють затримку весняного обробітку ґрунту. Тому агротехнологи рекомендують використовувати глибокі розпушувачі для поліпшення аерації. Забезпечення оптимальної структури ґрунту є ключем до отримання бульб без дефектів. Висока вологість також потребує уваги до захисту від хвороб [1].

Вибір сорту картоплі в Поліссі базується на стійкості до збудників фітофторозу та кількох інших грибкових захворювань. Перевагу віддають середньопізним і пізнім сортам, відмінним за терміном дозрівання та здатністю накопичувати суху речовину. Сорти з високим вмістом крохмалю забезпечують кращі кулінарні властивості та триваліший термін зберігання. Відбирають матеріал із сертифікованих насінневих господарств, щоб мінімізувати ризик інфікування вірусами. Для передпосівної обробки застосовують фунгіцидні та інсектицидні протруйники. Рекомендоване кількість садивного матеріалу становить 200–250 кг на гектар із посівною нормою 2,5–3,0 т/га бульб першого репродукції. Насінневі бульби перед закладанням у ґрунт прогрівають і пророщують при температурі $+12...+14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цей захід полегшує дружне появлення сходів та скорочує вегетаційний період [2].

Підготовка ґрунту починається з весняної оранки на глибину 22–25 см з одночасним перевертанням дернини. Надалі проводять культивуацію на глибину 10–12 см для вирівнювання поверхні та руйнування ущільнених прошарків. За необхідності застосовують важкі дискові борони для подрібнення грудок і зменшення випаровування вологи. З осені ґрунт рекомендують удобрювати органічними добривами – гноєм або компостом із розрахунку 30–40 т/га. Весняне внесення мінеральних добрив включає 120–150 кг/га діючої речовини азоту, 80–100 кг/га фосфору та 120–150 кг/га калію. Фосфор і калій найкраще вносити з осені, а азот – у дозах, розподілених на два підживлення. Передпосівна культивуація супроводжується вапнуванням, якщо кислотність ґрунту нижча за рН 5,5. Це поліпшує доступність фосфору та калію [3].

Технологія посадки передбачає формування підрядкових гребенів з шириною міжрядь 70–75 см для оптимального освітлення і провітрювання рослин. Глибина закладання бульб становить 8–10 см, що залежить від структури ґрунту та вологості. Рекомендована швидкість агрегату під час висіву – 5–6 км/год для забезпечення рівномірного загортання насіння. Використання спеціалізованих саджалок із дозованою подачею бульб гарантує однакові глибину та відстань між лунками. Під час посадки одночасно вносять стартові добрива: 20–30 кг/га аміачної селітри та 30–40 кг/га суперфосфату. Це забезпечує молоді рослини необхідними елементами для нарощування вегетативної маси. Після посадки ґрунт прикочується для збереження вологи та контактного зчеплення бульб із субстратом [4].

Контроль вологозабезпеченості культури в умовах Полісся критично важливий через нерівномірність опадів у червні–липні. За відсутності достатньої кількості атмосферних опадів проводять краплинне або дощувальне зрошення. Інтервал між поливами становить 10–12 днів в активній вегетації за норми 25–30 мм води. Ефективне використання водних ресурсів досягається через ранкове зрошення, щоб зменшити ризик грибкових захворювань. Систему зрошення обладнують датчиками вологості, що дозволяє підтримувати оптимальний рівень 70–75 % НВГ ґрунту. Надмірна вологість на початкових

етапах росту може спричинити вимерзання паростків. Тому у другій половині весни аграрії часто відмовляються від зрошення, орієнтуючись на природні опади [5].

Захист картоплі від бур'янів починається з передпосівної гербіцидної обробки ґрунту препаратами групи триазинів або уреїдна групи. За появи сходів виконують міжрядні культивації, застосовуючи штангові культиватори на глибину 8–10 см. Для післясходового контролю бур'янів використовують селективні гербіциди, які не шкодять картоплі, наприклад, метолахлор і флорасулам. У разі несприятливих погодних умов (посуха або затяжні дощі) гербіцидні обробки переносять або замінюють механічним методами. Інтегрована система захисту включає зміну культур у сівозміні, що зменшує накопичення бур'янів і збудників хвороб. Дотримання сівозміни: після гороху або буряків картоплю повертають на попереднє місце через 3–4 роки. Це знижує тиск шкідників і грибків [7].

Фітосанітарний моніторинг культури передбачає регулярні огляди на наявність колорадського жука та інших шкідників. За виявлення молодих личинок застосовують обприскування інсектицидами на базі імідаклоприду або циперметрину. Запобігти масовому поширенню шкідника допомагають біологічні методи – випуск хижаків-регістрів та використання феромонних пасток. Не менш важливо контролювати фузаріозні й фітофторозні ураження листя й бульб. Протягом вегетації планують не менше трьох фунгіцидних обробок із інтервалом 14–21 день. Першу обробку виконують після появи 10–12 листка, другу – в період бутонізації, третю – під час утворення бульб. Використовують препарати на основі манкоцебу та хлорокису міді для попередження інфекцій [7].

Підвищення врожайності досягається завдяки дозованому застосуванню підживлень у фазах активного росту. Перше підживлення азотом проводять у фазі «рожевого бутона» з нормою 30–40 кг/га. Друга позакоренева обробка калієм та бором стимулює налив бульб і поліпшує їхню якість. Мікроелементи – бор, марганець і магній – вносять разом з комплексними добривами через

листя. Це сприяє інтенсивному фотосинтезу за умов нестачі макроелементів у ґрунті. Рациональне підживлення знижує ризик розтріскування бульб та появи пороків розвитку. Використання систем автоматичного внесення добрив підвищує точність доз та знижує втрати [8].

Операція підгортання виконується двічі з інтервалом 20–25 днів для формування додаткових кореневих вузлів і захисту бульб від сонячного опіку. Перший підгорт влаштовують, коли рослини досягли висоти 15–20 см, другий – після 30–35 см. Глибина підгортання не перевищує 10–12 см, щоб не травмувати кореневу систему. Використовують спеціальні підгортувачі, які одночасно видаляють бур'яни з міжрядь. Підгортання сприяє кращій аерації кореневої зони та накопиченню вологи в прикореневій зоні. Після підгортання поле розпушують для поліпшення повітряного режиму та зменшення прямого контакту бульб із ґрунтом [9].

Збирання врожаю починають у фазу технічної стиглості, коли бадилля відмирає, а шкірка бульб міцно тримається при легкому натисканні. У Поліссі це зазвичай припадає на другу половину серпня – першу декаду вересня. Для збирання використовують однорядні або дворядні картоплекопачі з подальшим підбиранням руками для мінімізації механічних пошкоджень. Вологість бульб під час збору не повинна перевищувати 18–20 % для забезпечення кращого зберігання. Після викопування картоплю залишають на полі на 2–3 години для первинного підсихання. Надалі її сортують, видаляючи пошкоджені екземпляри та механічні залишки ґрунту. Сортування можна проводити автоматизовано за розміром бульб для різних сегментів ринку [10].

Перед закладанням на зберігання бульби піддають обробці за допомогою протруйників від збудників парші та фітофторозу. Для цього використовують 2–4 % розчин мідьвмісних препаратів або комплексні фунгіциди. Обробка забезпечує захист бульб під час тривалого зберігання при високій вологості. Сортування та обробка проводяться у спеціальних приміщеннях із контрольованою температурою. Оптимальна температура зберігання картоплі –

+2...+4 °C за відносної вологості повітря 85–90 %. При таких умовах мінімізуються дихальні процеси бульб і розвиток патогенів.

Зберігання картоплі в умовах Полісся може проводитися як у ямах, так і в льохах із штучною вентиляцією. Ями споруджують на легких суглинках із додаванням торфу та піску для поліпшення аерації. Льохи обладнують примусовою вентиляцією та системою підігріву під час відлиги. Електронні датчики контролюють температуру й вологість, автоматично регулюючи кліматичні установки. Регулярний огляд під час зберігання дозволяє вчасно виявити ознаки загнивання чи проростання бульб. За виявлення початкових проявів гнилі уражені екземпляри видаляють, щоб запобігти поширенню патологій [11].

Реалізацію врожаю планують таким чином, щоб уникнути пікових цінових коливань і забезпечити постійну присутність продукції на ринку. Частину бульб сортують за категоріями: столова картопля, насіннева та технічна. Основні сорти столової картоплі реалізують через спеціалізовані мережі, а насіннєвий матеріал – через агрофірми. Технічні сорти використовуються для переробки на крохмаль та чіпси. Виробники Полісся особливу увагу приділяють сертифікації якості за міжнародними стандартами ISO. Це підвищує довіру покупців і дозволяє виходити на експортні ринки.

Особливістю технології в Поліссі є підвищене застосування органічних добрив та біопрепаратів. За сучасними дослідженнями, це сприяє підвищенню вмісту гумусу та мікробіологічної активності ґрунту. Біопрепарати на основі ризобій і мікоформінів поліпшують живлення рослин і стійкість до стресових факторів. Комплексні системи захисту включають використання біоінсектицидів і біоконтрольних агентів проти збудників хвороб. Застосування біотехнологій відповідає принципам сталого землеробства та знижує навантаження на ґрунт. Органічний підхід особливо актуальний на торф'яниках, де мінеральні добрива можуть призводити до інтенсивного розкладання органіки [7].

Однією з інновацій у регіоні стало впровадження точного землеробства (precision farming) для оптимізації внесення добрив та захисту ґрунту. За допомогою GPS-моніторингу виконують картування вологості та родючості полів. Системи variable-rate application дозволяють дозувати внесення елементів живлення відповідно до потреб кожної ділянки. Дрони та супутникові знімки використовують для оперативного виявлення зон з інтенсивним стресом або шкідниками. Це знижує собівартість виробництва та підвищує екологічну безпеку. Інтелектуальні системи прийняття рішень обробляють дані і рекомендують агроному оптимальний час обробок [9].

Післязбиральна доробка картоплі в Поліссі включає не лише сортування, але й калібрування за вмістом крохмалю та сухої речовини. Лабораторні аналізи проводяться на зразках з кожної партії, що дозволяє гарантувати стандартизовану якість продукції. Для промислових сортів вміст крохмалю має бути не менше 18 %, для столових – від 14 до 20 %. Цей показник безпосередньо впливає на текстуру та смак при кулінарній обробці. Крім того, визначають якісний склад вологи та вміст грубих тіл. За результатами аналізів продукцію маркують і направляють на відповідні ринки [10].

Економічна ефективність вирощування картоплі в Поліссі значною мірою залежить від оптимізації витрат на паливо та електроенергію. Використання сучасних енергоефективних машин і комбайнів дозволяє знизити витрати пального на 10–15 %. Перехід на біодизель із місцевої сировини зменшує собівартість нафтопродуктів. Застосування сонячних панелей для живлення насосів зрошувальних систем знижує рахунки за електроенергію. Інвестиції в модернізацію обладнання окуповуються протягом двох–трьох сезонів. Це робить картоплярство більш стійким до коливань цін на енергоносії [11].

Соціально-економічний аспект виробництва картоплі в регіоні пов'язаний із зайнятістю сільського населення. Сезонні роботи на посадці й збиранні врожаю залучають до 30 % місцевих жителів. Організація кооперативів і агрогромад сприяє зниженню витрат на логістику та маркетинг. Колективні сховища та сортувальні лінії об'єднують зусилля дрібних виробників. Це

дозволяє отримувати ефект масштабу й підвищувати конкурентоспроможність продукції. Державна підтримка аграріїв у вигляді субсидій під розвиток кооперації додатково стимулює укрупнення виробничих одиниць.

Наукові дослідження УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого та регіональних агроуніверситетів спрямовані на селекцію нових сортів, придатних до умов Полісся. Основна мета – підвищити стійкість до водного стресу та грибкових захворювань. Нові гібриди демонструють урожайність понад 40 т/га за оптимальних умов вирощування. Робота селекціонерів також зосереджена на поліпшенні харчових показників – збільшенні вмісту білка та вітамінів. Співпраця з іноземними науковими центрами дозволяє запровадити методи молекулярного маркування при селекції. Це скорочує цикл виведення нових сортів та підвищує точність відбору ознак [12].

Щоб мінімізувати ризики для навколишнього середовища, аграрії впроваджують систему інтегрованого захисту рослин (IPM). Вона поєднує культурні, біологічні та хімічні методи контролю шкідників і хвороб. Моніторинг популяцій шкідників проводять за допомогою серійних пасток і візуальних обстежень. При перевищенні економічного порогу шкідливості застосовують біологічні препарати або малі дози хімічних інсектицидів. Фунгіциди використовують вибірково, орієнтуючись на прогноз погоди та епідеміологічну ситуацію. Такий підхід знижує загальний хімічний навантаження на екосистему [14].

Використання агрометеостанцій у кожному господарстві Полісся дозволяє прогнозувати несприятливі погодні явища. Дані про температуру, вологість повітря та ґрунту, опади та швидкість вітру збираються в режимі реального часу. Аналітичні моделі прогнозують розвиток хвороб та активність шкідників. Це дає змогу точніше планувати фунгіцидні та інсектицидні обробки. Знижується ризик перезасоблення і економічні втрати. Крім того, агрометеорологічні дані використовуються для регулювання систем зрошення.

Автоматизація збору даних про стан посівів пришвидшує прийняття рішень. Дрони оснащені мультиспектральними камерами дають інформацію

про стан фотосинтетичної активності рослин. Відхилення індексу NDVI від норми сигналізує про потребу в підживленні або про ураження хворобами. SRTM-моделі рельєфу використовують для оптимізації відводу надлишкової ґрунтової вологи. 3D-картографія рослинних мас дозволяє визначати площі зі зниженим чи підвищеним потенціалом врожайності. Це підвищує ефективність застосування ресурсів [11].

Інноваційна технологія безконтактного обігріву бульб під час зберігання знижує ризик проростання. Використання інфрачервоних термометрів автоматично регулює нагрівання в льохах. Оптимальна температура для безконтактного підігріву $+3...+5^{\circ}\text{C}$. Це зберігає якість крохмалю та знижує дихальні процеси. Внаслідок цього зберігання може тривати до 9–10 місяців без значних втрат. Такий метод набуває поширення в крупних агропідприємствах.

Для зниження механічних пошкоджень під час збору застосовують амортизуючі стрічки на конвеєрах сортувальних ліній. Спеціальні гумові покриття зменшують ударні навантаження на бульби. Система «м'якого» відвантаження в ящики і ворохи запобігає появі синців. Це особливо важливо для столових сортів. Менше пошкоджень – менше втрат при тривалому зберіганні. Якість продукції залишається високою навіть після транспортування на великі відстані [15].

Для підвищення енергоефективності під час сушіння насіннєвих бульб застосовують теплові насосні установки. Вони використовують тепло з навколишнього повітря та ґрунту, знижуючи споживання електроенергії. Оптимальний вміст вологи для діагностики та довгострокового сушіння – 16–18 %. Цей параметр контролюється автоматизованою системою. Теплові насоси працюють у парі з вентиляторними системами для рівномірного підігріву. Це забезпечує щадний режим сушіння без термічного стресу бульб [5].

Цифрові реєстри насіннєвого матеріалу дозволяють простежити генеалогію бульб до клітинного рівня. Кодування кожної партії бульб у QR-коди спрощує логістику й контроль якості. Виробник і покупець можуть перевірити сертифікати та результати лабораторних аналізів за допомогою

смартфона. Це підвищує прозорість виробничого процесу та довіру до продукції. Цифровізація даних інтегрується з агровиробничими платформами.

Біоенергетичне використання відходів картоплярства – одна з перспективних напрямів у Поліссі. Картопляне бадилля після подрібнення й ферментації дає біогаз із виходом 60–70 м³ на тонну сировини. Біогазові установки забезпечують енергією не лише саме господарство, а й прилеглі села. Тверді фракції біовідходів використовують як органічне добриво. Це закриває цикл замкненого агропромислового виробництва.

Розвиток кооперації між дрібними виробниками сприяє впровадженню передових технологій. Спільна закупівля техніки та обладнання знижує витрати для кожного учасника кооперативу. Узгоджені графіки проведення агротехнологічних заходів дають змогу оптимізувати використання спеціалістів та техніки. Кооперативи забезпечують якісний сервіс із захисту рослин і агрохімікатів. Це підвищує стійкість виробництва до екстремальних погодних умов [3].

Надійність систем зберігання бульб у Польщі реалізується через автоматичне регулювання газового середовища. Використання модифікованої атмосфери знижує дихальні процеси та уповільнює старіння бульб. Азотне живлення в сховищах підтримує високу якість тривалий час. Газові установки оснащені аварійними клапанами та датчиками контролю концентрацій. Це забезпечує безпеку та стабільність мікроклімату.

Перспективним напрямом є вирощування картоплі за технологіями органічного землеробства. Сертифікація органічної продукції відкриває нові експортні ринки та підвищує ціну товару. При цьому використовують сидерати, компост і біопрепарати для живлення рослин. Методи біоконтролю шкідників замінюють хімічні препарати. Органічні технології сприяють збереженню біорізноманіття та здоров'ю ґрунту [2].

Розвиток ринку переробки картоплі стимулює зростання виробництва висококрохмалевих та мулистих сортів. Підприємства з виробництва чіпсів та пюре потребують стандартизованої сировини з вмістом крохмалю більше 20 %.

Агрономи коригують технологію вирощування та підживлення під ці вимоги. Співпраця з переробними заводами дозволяє планувати врожай для узгодження випуску продукції. Це створює додаткові робочі місця в регіоні [4].

Досвід Полісся показує, що системи навігації та автоматичного управління технікою суттєво покращують якість агротехнологічних операцій. Автопілоти тракторів виконують оранку та посів із точністю ± 3 см. Це забезпечує рівномірний рядок і зменшує пропуски рослин. Вдосконалені датчики ґрунтової вологості вмонтовані безпосередньо на агрегатах. Ці системи дозволяють оперативно реагувати на зміни умов у полі [3].

Таким чином, технологія виробництва картоплі в ґрунтово-кліматичній зоні Полісся базується на інтегрованому підході до обробітку ґрунту, вибору сортів, захисту рослин і зберігання бульб. Основні принципи включають збереження ґрунтової родючості, точне внесення добрив і засобів захисту, а також використання сучасних ІТ-рішень. Інноваційні методи дозволяють підвищити врожайність до 40–45 т/га за умови дотримання агротехнологічних рекомендацій. Кооперація виробників і підтримка державних програм сприяють масштабуванню передових практик. Використання біо- та енергоефективних технологій забезпечує економічну стійкість. Дотримання принципів сталого розвитку гарантує збереження агроландшафтів для наступних поколінь [2].

Розрахунок технологічної карти представлено в додатку А, результати відображено на аркуші графічної частини.

РОЗДІЛ 2

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОПАННЯ КАРТОПЛІ

Агрегаткування навісного однорядного картоплекопача КТН-1,0М до трактора МТЗ-82 забезпечує високу продуктивність завдяки потужності трактора 80–90 к. с. та налаштованій робочій швидкості до 5–6 км/год. Робоча ширина захвату одиночної лапи становить 0,7 м, що відповідає міжряддю 70 см, прийнятому в господарствах Полісся. Глибина підкопування бульб регулюється глибинними упорами і штангою навішування, досягаючи 200–220 мм для ефективного відділення бульб від ґрунту [5]. Поворотний бітер передає оберти від ВВП і розпушує пласт ґрунту, полегшуючи роботу елеваторів для сепарації бульб та залишків ґрунту [4]. Привід ВП працює на частоті 540 об/хв, що є оптимальним для забезпечення балансу між швидкістю копання і якістю роботи ґрунтообробних органів [2]. Загальна маса картоплекопача близько 320 кг дозволяє зберегти стійкість агрегату без зайвої зануреності в ґрунт [5]. Дорожній просвіт шасі трактора й копача у 250 мм дає змогу працювати на пересічній поверхні із помірною кількістю каменів [3].

Підготовка до роботи починається з огляду агрегату: перевірки стану ножів, елеваторних лемешів та наявності мастила в підшипниках. Особливу увагу звертають на бітер – вчасне очищення від залишків ґрунту та коріння запобігає забиванню механізму й дефектам катушок сепаратора зарізів. Регулювання глибини роботи здійснюється шляхом переміщення упорів в гідроциліндрі навішування трактора МТЗ-82, що дозволяє швидко пристосовувати колісність трактора до рельєфу поля. Перед початком копання перевіряють натяг та напрямок елеваторних стрічок, щоб уникнути перекосу та обриву ланцюгів. На пускових обертах ВВП встановлюють 540 об/хв, що забезпечує стабільний режим роботи сепаруючого бitera та подачу бульб до транспортувального органу [5]. Контроль за зношенням доліт і ножів здійснюється після кожних 2–3 га копання, щоб зберегти задану глибину та чистоту відділення бульб [2].

Технологічне копання починають уздовж лінії висадження бульб, підтримуючи швидкість руху 4–5 км/год. Дотримання рівномірної швидкості агрегації гарантує одночасну загрузку бульб і залишків порослі до елеватора, що поліпшує одночасність вивантаження і зменшує кількість залишків ґрунту на поверхні. Водій-оператор регулює кут нахилу підкопувальних ножів для компенсації зміни рельєфу, щоб пласт ґрунту піднімався рівномірно по ширині захвату. При обробці вологих ґрунтів із вмістом вологи понад 20 % зменшують швидкість до 3 км/год, щоб уникнути обривів стрічок та засмічення сепаратора свіжим ґрунтом. У процесі роботи слідкують за рівнем вібрацій трактора – надмірні вібрації сигналізують про нерівномірність вивантаження бульб або забій елеватора камінням. Оператор, помітивши перевантаження елеватора, знижує швидкість або зупиняє агрегат для очищення механізму від сторонніх предметів [7].

Особливість роботи на легких суглинках Полісся – швидке обсихання ґрунту після дощів, що іноді призводить до утворення плотних кірок. У таких умовах перед копанням бажано провести неглибоку обробку рихлювачем або дисковою бороною, щоб зменшити зчеплення ґрунту. Це полегшує вхід ножів та знижує момент навантаження на гідросистему підйому навішування. Для запобігання залипанню ґрунту на елеватор використовують борознувачі з ребристими поверхнями на ланцюзі. Вони забезпечують поступове зняття ґрунту і передають бульби рівномірним потоком на поверхню поля. При копанні на торф'яниках слід підтримувати вертикальне положення секції копача, оскільки надмірний нахил може призвести до занурення в пухкий субстрат. Водій підбирає оптимальну глибину підкопування з урахуванням типу ґрунту та вологості, керуючись показаннями датчиків приладу контролю навантаження [13].

Після проходження копача перший ряд бульб і частина залишків рослинності викладаються на поверхню поля. Робітники-підбирачі здійснюють ручний обхід агрегата, збираючи розкидані бульби та сортуячи їх за розміром. Ефективність ручного збору підвищується, якщо залишки рослинності і грудки ґрунту

подрібнені битером – це зменшує кількість зовнішніх пошкоджень бульб. СОРТУВАННЯ за розміром проводиться на місці, великий матеріал направляється на насіннєві ділянки, дрібний – на харчові потреби господарства. Робітники оснащені кошиками з м'яким дном, щоб мінімізувати синці на бульбах. Зібрані бульби тимчасово укладають на покривальне полотно, яке попереджає повторне забруднення ґрунтом. Регулярна зміна робітників на мобільних постах збору дозволяє знижувати втомлюваність і підтримувати високу продуктивність копання [8].

По завершенні ряду копач повертає трактор на відстань двох міжрядь для підготовки до наступного проходу. Водій зупиняє привід ВВП, піднімає секцію копача і виконує поворот трактора з колісної тягою на сусідній ряд. Під час повороту важливо розвантажити елеватор і звільнити його від ґрунту та залишків рослин, щоб наступний прохід не починався з перевантаженими стрічками. Поворот трактора виконується плавно, зберігаючи зчеплення коліс із ґрунтом – це запобігає буксуванню та коліям. Відразу після розвороту оператор встановлює необхідну глибину копання, вирівнює копач по поперечній осі та відновлює привід ВВП. Роботи тривають доки не оброблено весь блок поля [8].

Контроль стану механізму копача здійснюють після кожних 5–6 проходів: перевіряють натяг елеваторних ланцюгів, зношення приводного шківа та стан ножів. Змінювання зношених лемешів та очищення сепаратора від забруднень подовжує ресурс агрегату та знижує зупинки в полі. При виявленні тріщин на рамі або битері слід негайно зупинити роботи та провести ремонтні роботи на причіпному пункті. Роботи з обслуговування призводять до мінімальних втрат часу, якщо вони плануються на короткі перерви між блоками поля. Забезпечення запасними деталями та ременями має передувати початку робіт для зменшення простоїв [7].

Експлуатація агрегату КТН-1,0М у поєднанні з МТЗ-82 передбачає суворе дотримання інструкції із техніки безпеки: оператор повинен перебувати в кабіні трактора з застібнутим ременем безпеки, фіксуючи ручний гальмо під час

зупинок. Під час очищення сепаратора не можна підходити до робочих органів, поки привід ВВП не зупинений. Ремонтні та регулювальні роботи виконуються тільки після відключення гідросистеми і блокування навісного механізму. Періодичне проведення інструктажу для персоналу знижує ризик травмування та підвищує дисципліну в польових роботах [9].

Після завершення роботи в полі агрегат очищують від залишків рослинності та ґрунту, що накопичилися на елементах копача. Для цього використовують щітки й стислий повітряний струмінь. Залишки вологи змивають водяною мийкою під низьким тиском, уникаючи прямого попадання струменя на підшипникові вузли. Далі фахівці обробляють трибоспряження мастилом з антикорозійними присадками, особливо на елеваторних ланцюгах та підшипниках. Металеві поверхні рами змащують солідолом або аналогом згідно з рекомендаціями заводу-виготовлювача. Технічний огляд включає перевірку рівня гідравлічної рідини в бачку трактора й стану фільтрів [6].

Тривале зберігання КТН-1,0М поза сезонний період передбачає розбирання основних вузлів: елеватора, ножів і бітера. Металеві поверхні обробляють протиржавіючим складом і зберігають у сухому приміщенні з температурою $+5...+20^{\circ}\text{C}$. Гідросистему навішування трактора зливають відпрацьовану рідину, замінюють фільтри й консервують внутрішні канали гліцериновою консистентною пастою. Перед початком сезону навішування проводять випробування під навантаженням, щоб переконатися у відсутності протікань і корозійних пошкоджень [5].

Ефективність технології копання картоплі агрегатом МТЗ-82 + КТН-1,0М оцінюють за показниками продуктивності 0,3–0,4 га/год та якості калібровки бульб із вмістом механічних домішок не більше 5 %. Коефіцієнт використання часу роботи становить 0,85–0,90, що вказує на високу експлуатаційну готовність агрегату. Витрати пального на обробку одного гектара не перевищують 8–10 л, що забезпечує економічність процесу. Чистота відділення бульб із середнім вмістом ґрунту 8–10 % сприяє підвищенню якості насінневого матеріалу та тривалому зберіганню [3].

Таким чином, застосування навісного картоплекопача КТН-1,0М у поєднанні з трактором МТЗ-82 забезпечує ефективну та безпечну операційну технологію копання картоплі. Основні переваги – універсальність налаштувань глибини та ширини захвату, надійність конструкції та висока продуктивність на рівнинних і пересічних ділянках. Виконання чітких регламентів технічного обслуговування та дотримання норм безпеки гарантує тривалий термін служби агрегату. Рациональна організація праці операторів і збиральників сприяє мінімізації втрат продукції. Застосування технології забезпечує стабільність виробництва і високу якість картоплі як для харчових, так і для насіннєвих цілей [2].

Розрахунок операційно-технологічної карти представлено в додатку В, результати відображено на аркуші графічної частини.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Оцінка конструкцій картоплезбиральних машин

Детальніше вивчення конструкцій картоплезбиральних машин наведено в додатку Ж [1-16].

3.2 Технічні вимоги до картоплекопача та його конструкція

Роторний однорядний картоплекопач призначений для підкопування картоплі, часткового відокремлення бульб від ґрунту та подачі їх в бік зібраного поля для подальшого збору вручну. Цей тип копача застосовується в усіх зонах вирощування картоплі [3].

Копач має бути начіпним і здійснювати переведення з транспортного в робоче положення та назад за допомогою гідравлічної системи трактора [2].

Робочі органи, що підкопують, повинні мати можливість регулювання глибини підкопування. Конструкція копача повинна забезпечувати легкий та безпечний доступ до основних вузлів та деталей для проведення профілактичних заходів, а також для їх заміни у разі несправностей [4].

Робочі органи копача повинні бути від'єднувані від рами, і їх налаштування не повинно вимагати використання спеціальних інструментів.

Усі деталі кріплення (болти, гвинти, шпильки, гайки, шайби, шплінти, а також пружини) повинні бути покриті металевим антикорозійним покриттям. Місця для змащування мають бути позначені фарбою, яка має контрастний колір по відношенню до загального забарвлення машини. Продуктивність копача за годину основного часу повинна становити не менше 0,35 га. Робоча швидкість має бути в межах 6-6,5 км/год, а транспортна – до 20 км/год [3].

Робоча ширина захвату картоплекопача варіюється в залежності від ширини міжрядь і може становити 0,6 м, 0,7 м або 0,9 м. Копач призначений

для підкопування бульб на глибині до 25 см. Ширина підкопування рядка лемешем має бути не менше 0,4 м, а мінімальна ширина міжрядь — 0,6 м. Конструктивна маса копача не повинна перевищувати 180 кг [4].

Картоплекопач повинен ефективно працювати на всіх типах ґрунтів за таких умов:

- твердість ґрунту не більше 1,4 МПа;
- вологість ґрунту в межах 8–30%;
- урожайність картоплі до 0,6 т/га, включаючи відмерле, зібране і незібране бадилля;
- засміченість ґрунту камінням розміром до 50 мм — не більше 8 т/га загальної маси;
- глибина залягання нижніх бульб до 20 см;
- ширина міжрядь не менше 60 см;
- поперечний схил поля до 6%;
- можливість агрегування з трактором класу 0,6.

Удосконалена модель картоплекопача, що базується на роторному копачі КТН-1,0, включає такі основні компоненти та вузли:

- рама, яка є основною несучою металоконструкцією і служить для монтажу всіх основних і допоміжних органів машини;
- підкопувальний робочий орган коритоподібної форми, що відповідає за підрізання ґрунту, де знаходяться кущі картоплі, і його подачу до ротора;
- пристрій для регулювання глибини підкопування, що представляє собою гвинтовий механізм, здатний переміщувати копіювальне колесо вгору або вниз відносно рами;
- ротор, що здійснює відокремлення бульб від ґрунту та подачу їх в бік від підкопуваного рядка на викопане поле.

Ротор картоплекопача складається з барабана, на якому закріплено вісім кидальних гребінок. Кожна гребінка містить чотири зігнуті сталеві пальці. Кожен палець обвивається навколо труби при наближенні до барабана, що

надає йому пружну конструкцію, завдяки чому пальці можуть відхилятися назад за потреби. На кінцях пальців нанесена гумова накладка [2].

Для запуску ротора в дію копач оснащений карданним валом, на якому змонтована запобіжна муфта. Вона необхідна для припинення передачі крутного моменту у разі заклинювання ротора або інших непередбачених ситуацій [4].

Щоб знизити колову швидкість та підвищити крутний момент, картоплекопач оснащений ланцюговою передачею, що захищена від впливу навколишнього середовища [6].

Під час удосконалення цієї машини, як і в разі будь-якої сільськогосподарської техніки, основну увагу було приділено тим частинам та вузлам, які визначають якість роботи. Зокрема, важливими аспектами стали зниження опору при агрегуванні, зменшення маси, спрощення складних вузлів, заміна дорогих матеріалів на більш доступні та удосконалення елементів, що контактують з оброблюваним продуктом і впливають на його якість [7].

До таких елементів у картоплекопачі відносяться: леміш, пальці ротора та привід ротора (редуктор).

Леміш, як підкопуючий робочий орган, безпосередньо взаємодіє з ґрунтом, і від його форми залежить рівень опору, що чиниться ґрунтом під час руху машини. Оптимізація форми цього елемента дозволить знизити енергетичні витрати при агрегуванні копача.

Пальці ротора, які розбивають ґрунт і контактують з картоплею, є основними джерелами пошкоджень бульб при збиранні. Більшість пошкоджень відбувається через удари пальців об поверхню бульби. Для усунення цієї проблеми було застосовано гумові насадки на кінці пальців, що знижує ймовірність пошкодження картоплі.

У старій конструкції редуктор ефективно передавав крутний момент, але його значна маса, наявність оливи, необхідність підтримувати її рівень для нормальної роботи передачі та можливість протікання через ущільнювальну

прокладку, що призводить до забруднення навколишнього середовища, змусили замінити циліндричну передачу на ланцюгову.

Таким чином, розробка картоплекопача на базі машини КТН-1,0 передбачає низку зазначених удосконалень. У загальному підсумку ці зміни мають позитивно вплинути як на експлуатаційні характеристики, так і на агротехнічні властивості машини [9].

3.3. Обґрунтування основних конструктивних параметрів лемеша копача

Протягом тривалого часу в практиці розробки картоплезбиральних машин існувала тенденція створити універсальний робочий орган, який би працював ефективно в різних умовах, мав просту конструкцію, високу довговічність і не пошкоджував бульби. Однак до сьогодення не вдалося розробити ідеальний універсальний робочий орган. Спроби вирішити це завдання призвели до створення великої кількості різних робочих органів, які були розглянуті під час аналізу конструкцій картоплезбиральних машин. Проте лише деякі з них знайшли широке застосування на практиці.

Робочі органи, що були розглянуті під час аналізу конструкцій картоплезбиральних машин, характеризуються високою складністю, громіздкістю та наявністю великої кількості компонентів. Крім того, вони містять безліч шарнірних з'єднань, які піддаються інтенсивному абразивному зношуванню. Це призводить до того, що навіть при впровадженні таких конструкцій у виробництво їхній ресурс і надійність залишаються недостатніми, а високі витрати на ремонт і експлуатацію роблять ці конструкції економічно недоцільними.

На основі викладеного, розробка нових робочих органів для сепарації бульбоносної маси, які повинні поєднувати простоту конструкції, низьку енергоємність та високу продуктивність, є важливою і актуальною задачею.

Основне завдання лемеша картоплезбиральної машини полягає в підкопуванні шару ґрунту, в якому містяться бульби, частковоВВПу або повному його руйнуванні та передачі матеріалу наступним робочим органам. Конструкція лемеша повинна забезпечити мінімальний захват ґрунту, при цьому не залишати не підкопаних або пошкоджених бульб. Для визначення оптимальної форми лемеша необхідно провести комплексний аналіз вимог до цього елемента та умов його експлуатації.

З цією метою запропоновано робочий орган, що підрізає ґрунт з пасивним вплиВВП лемеша. Основою такого органа є двогранний клин, який здійснює лобове підрізання. Форма леза робочого органу має відповідати перерізу куща бульб.

Як відомо, характер деформацій ґрунту при впливі клина залежить від величини кута α (рис. 3.1), званого кутом різання. Для досягнення мінімальних витрат на підрізання шару, кут α має бути мінімальним. Щоб підняти шар ґрунту на необхідну висоту H при мінімальному значенні α і оптимальній довжині лемеша L , можуть бути застосовані клини з різними значеннями кута α по довжині (рис. 3.2).

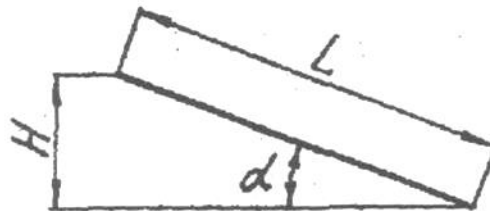


Рис. 3.1. Діаграма для встановлення оптимальної конфігурації леміша.

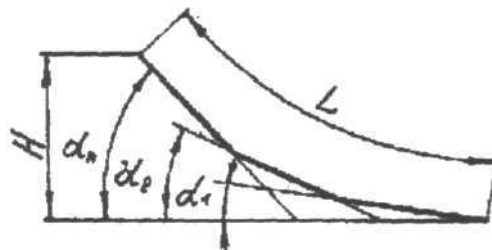


Рис. 3.2. Діаграма для встановлення оптимальної форми лемеша

Кут α також визначає кут кришення. Коли підкопана маса рухається уздовж стандартного лемеша з постійним кутом, вона не піддається додатковим взаємодіям. Очевидно, що для подальшого впливу на піднятий шар необхідно використати новий клин з більшим кутом кришення.

Для забезпечення безперервного процесу кришення та запобігання залипанню клина ґрунтом, слід застосовувати плавну криволінійну поверхню у вигляді відповідної частини параболи.

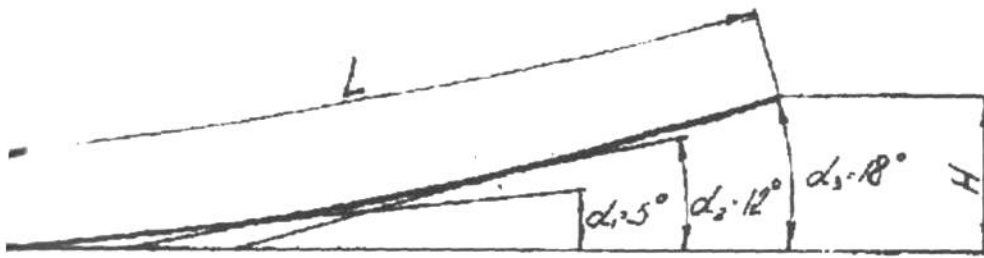


Рис. 3.3 Пропонована форма повздовжнього перерізу.

Довжину лемеша L та висоту розташування заднього обріза лемеша H , виходячи з попередньої конструкції та конструктивних вимог, визначаємо як $L = 280$ мм, $H = 55$ мм.

Ширина коритоподібного лемеша (рис. 3.4) розраховується за формулою:

$$B = b + 2\delta \quad (4.1)$$

де b – ширина залягання бульб в куці. За даними Е.А. Глухих [4], максимальна ширина куца варіюється від 23 до 32 см.

δ – зміщення осі рядка відносно осі лемеша, яке може виникати через криволінійність рядка та неточності руху машини. Прийmemo це значення рівним 11 см. Таким чином:

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

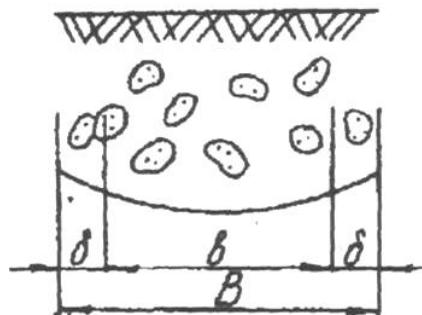


Рис. 3.4. Діаграма для розрахунку ширини лемеша.

Переміщенню ґрунтового шару по лемешу суттєво заважає наявність рослинності (коріння). Для уникнення цього кут сходу (рис. 3.5) має бути:

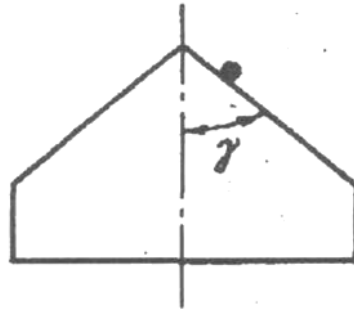


Рис. 3.5 Діаграма для визначення кута сходу леміша.

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \varphi \quad (3.2)$$

де φ – де – кут тертя рослинних стебел або кореневищ по лезу. За результатами експериментів кут тертя коріння по лезу складає 45° [1]. $\varphi = 45^\circ$ [1]. Звідки:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - 45 = 45^\circ.$$

Для пасивних лемешів, що використовуються в сучасних картоплезбиральних машинах.

3.4 Розрахунок основних параметрів ротора картоплекопача

Основна функція пальців ротора – це розбивання ґрунтового шару, в якому знаходяться бульби, їх винос і рівномірний розподіл по поверхні поля. Оскільки пальці виготовлені зі сталі, при їхньому контакті з поверхнею бульб можуть виникати пошкодження.

Для мінімізації пошкоджень необхідно використовувати матеріали, які або зовсім не будуть спричиняти пошкодження бульб, або спричинятимуть їх значно менше. Одним із таких матеріалів є прогумована тканина ДСТУ. Цей матеріал складається з гуми, вкрита прошарком тканини для підвищення міцності.

Прогумовувати палець повністю не потрібно, а лише ту його частину, що безпосередньо контактує з бульбами, тобто частину, яка рухається в шарі ґрунту. Довжина прогумованої частини пальця має становити близько 25 см.

Швидкість обертання ротора є ключовим чинником, що визначає ефективність відокремлення ґрунтового шару, в якому містяться бульби, а також впливає на рівень їх механічних пошкоджень. Недостатня частота обертів може спричинити як неповне вивільнення бульб, так і їх втрати, тому ротор повинен функціонувати в оптимальному режимі, який забезпечує ефективне прочісування і мінімізує травмування врожаю.

Відповідно до агротехнічних норм, рекомендована робоча швидкість агрегату, яка визначає і швидкість надходження ґрунтової маси до зони дії ротора, становить 6–6,5 км/год. Для подальших розрахунків приймаємо максимальне значення – 6,5 км/год, що еквівалентно 1800 мм/с. За такої швидкості ґрунтовий шар проходить ділянку довжиною 186 мм (рис. 4.6) приблизно за 0,10 секунди.

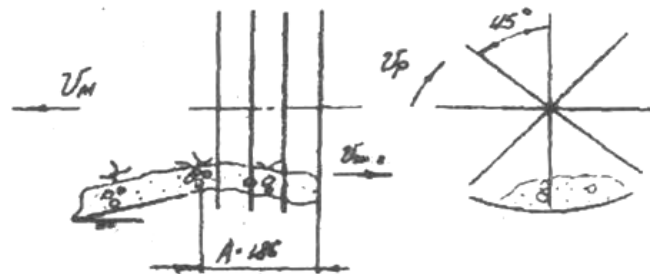


Рис. 3.6. Кінематична схема визначення необхідної частоти обертання ротора.

Для ефективного вилучення бульб з ґрунтової маси та запобігання їх втратам, робочі елементи ротора — гребінки — повинні занурюватися в ґрунт з інтервалом, що не перевищує 0,10 секунди.

Конструктивно ротор оснащено вісьмома гребінками, розташованими рівномірно по колу з кутовим кроком 45°. Виходячи з цієї конфігурації, обертова швидкість ротора повинна забезпечувати таку частоту входження

гребінок у ґрунт, яка відповідає вказаному часоВВПу інтервалу. На цій основі визначається необхідна кутова швидкість його обертання.

$$\omega = \frac{45^0}{0,10} = 7,853 \text{ рад/сек.}$$

Для розрахунку необхідної частоти обертання ротора скористаємося відповідним аналітичним виразом [5]:

$$n_n = \frac{\omega_n \cdot 30}{\pi} = \frac{7,853 \cdot 30}{\pi} = 75,0 \text{ об/хв.}$$

З метою гарантованого та стабільного перебігу технологічного процесу частоту обертання ротора доцільно підвищити на 20 %.

Таким чином:

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

Таким чином, оптимальна частота обертання ротора становить 90 обертів за хвилину.

Необхідна потужність для його приводу витрачається переважно на подолання опору ґрунту під час взаємодії з пальцями, а також на відкидання бульб і частинок ґрунту вбік.

$$N = N_o + N_e \quad (3.4)$$

Отже, маємо справу з витратами потужності, пов'язаними з деформацією ґрунту та відкиданням маси [9].

де N_o і N_e - втрати енергії, пов'язані з деформацією ґрунту та його відкиданням, розподіляються за відповідними напрямками впливу [8].

$$N_o = 10^{-4} \cdot k \cdot c \cdot h \cdot z \cdot n \cdot \alpha / 6 \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де k – питомий опір деформації ґрунту;

$k = 2 \cdot 10^{-2}$ МПа – легкі групи;

$k = 4,9 \cdot 10^{-2}$ МПа – середні групи;

$k = 7,64 \cdot 10^{-2}$ МПа – важкі групи;

c – площа зрізу ґрунтового масиву, який руйнується окремим робочим елементом $c = 55 \text{ см}^2$;

h – товщина ґрунтового шару, який обробляється пальцем, дорівнює найбільшій глибині заглиблення робочого органа, $h=25$ см;

Z – загальна кількість пальців, $Z=32$;

n – частота обертання пальців ротора;

α – коефіцієнт, який відображає фізичний стан ґрунту в зоні впливу пальців. З огляду на те, що ґрунт попередньо розрізано та частково подрібнено лемішем, $\alpha=0,7$.

Отже маємо для легких ґрунтів [9]:

$$N_{\delta} = 10^{-4} \cdot 2,04 \cdot 10^{-2} \cdot 55 \cdot 32 \cdot 90 \cdot 0,7/6 = 0,942 \text{ кВт.}$$

Для середніх :

$$N_{\delta} = 10^{-4} \cdot 4,9 \cdot 10^{-2} \cdot 55 \cdot 32 \cdot 90 \cdot 0,7/6 = 2,26 \text{ кВт.}$$

Для важких:

$$N_{\delta} = 10^{-4} \cdot 7,84 \cdot 10^{-2} \cdot 55 \cdot 32 \cdot 90 \cdot 0,7/6 = 3,62 \text{ кВт.}$$

Потужність, необхідна для переміщення і викидання бульб разом із ґрунтовою масою [8].

$$N_{\epsilon} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \delta \cdot Q_n \cdot V_p^2, \text{ кВт} \quad (3.6)$$

де δ – коефіцієнт відкидання, що залежить від форми робочого органу, $\delta=0,5$;

Q_n – Кількість маси бульб і ґрунту, що переміщується в процесі відкидання протягом однієї секунди,

$Q_n=45.03$ – легкі ґрунти;

$Q_n=54.83$ – середні ґрунти;

$Q_n=61.83$ – важкі ґрунти;

V_p – колова швидкість ротора, $V_p=4,23$ м/с.

Отже, маємо для легких ґрунтів:

$$N_{\epsilon} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 45,02 \cdot 4,23^2 = 0,201 \text{ кВт.}$$

Для середніх:

$$N_{\epsilon} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 54,82 \cdot 4,23^2 = 0,245 \text{ кВт.}$$

Для важких:

$$N_g = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 61,82 \cdot 4,23^2 = 0,274 \text{ кВт.}$$

Таким чином, сумарна потужність, споживана ротором при роботі на легких ґрунтах, становить повне значення енергозатрат на подолання опору середовища:

$$N = 0,942 + 0,201 = 1,142 \text{ кВт.}$$

Для середніх:

$$N = 2,26 + 0,245 = 2,505 \text{ кВт.}$$

Для важких:

$$N = 3,62 + 0,274 = 3,896 \text{ кВт.}$$

Для наступних розрахунків приймаємо граничне значення потужності на рівні 3,89 кВт. Потужність, що передається від вала відбору потужності (ВВП), розраховується за формулою [9]:

$$N_{ввп} = \frac{N}{\eta_l^2 \cdot \eta_m}, \text{ кВт} \quad (3.7)$$

де η_l – ККД ланцюгової передачі, $\eta_l = 0.96$;

η_m – ККД запобіжної муфти, $\eta_m = 0.98$.

$$N_{ввп} = \frac{3,89}{0,96^2 \cdot 0,98} = 4,30 \text{ кВт.}$$

Гранична потужність, що має бути забезпечена на валу відбору потужності трактора для ефективної роботи агрегата – 4,30 кВт.

3.5 Проектування геометричних характеристик первинної ланцюгової передачі

Базові вихідні дані:

колова швидкість вала ведучої зірочки $\omega_1 = 56,52 \text{ рад/с}$;

- потужність, що надходить на вал ведучої зірочки, відповідає вихідній потужності ВВП трактора з урахуванням втрат у запобіжній муфті, $N_1 = 4.22$ кВт;

- встановлюємо величину передавального відношення $U = 3$.

Розрахунки виконуємо на підставі джерела [7]. Визначаємо ключовий параметр ланцюгової передачі – величину кроку:

$$t = 280 \cdot \sqrt[3]{\frac{N_1 \cdot K_3}{Z_1 \cdot \omega_1 \cdot [p] \cdot m_p}}, \text{ мм}, \quad (3.8)$$

де K_3 – коефіцієнт експлуатації,

$$K_3 = K_\delta \cdot K_{рег} \cdot K_n \cdot K_{см} \cdot K_{реж} \cdot K_a,$$

де K_δ – множник, що враховує особливості режиму навантаження, $K_\delta = 1.25$;

$K_{рег}$ – показник, обумовлений методом налаштування натягу ланцюга $K_{рег} = 1.0$;

K_n – коефіцієнт, що враховує характер навантаження ланцюга, $K_n = 1.0$;

$K_{реж}$ – показник, який відображає вплив тривалості експлуатації, $K_{реж} = 1.0$;

K_a – сисловий множник, що характеризує загальну протяжність ланцюга. (при $a_1 = 19.16$), $K_a = 1.0$.

Звідкілля, $K_3 = 1.25 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 1.25$.

Z_1 – фіксуємо обране число зубців на ведучій зірочці $Z_1 = 15$;

Фіксуємо число зубців на веденій зірочці:

$$Z_2 = Z_1 \cdot U < Z_{2\max},$$

де $Z_{2\max}$ – Задаємо максимально допустиму кількість зубців на веденій зірочці, $Z_{2\max} = 120$.

Маємо $Z_2 = 45$.

$[p]$ – Гранично допустиме значення питомого тиску в шарнірних з'єднаннях при $\omega = 56.52$ м/с, $[p] = 24$ МПа;

m_p – показник рядності.

Звідкіля:

$$t = 280 \cdot \sqrt[3]{\frac{4,22 \cdot 1,25}{15 \cdot 56 \cdot 24 \cdot 1,0}} = 17,85, \text{ мм.}$$

Вибираємо ланцюг ПР-19,05-3180 ДСТУ.

Параметри ланцюга: $t = 19.05$ мм; $b_1 = 12.7$ мм; $d_1 = 11.91$ мм; $P_1 = 22.78$ мм; $b_4 = 26.9$, погонна маса $q = 1.9$ кг/м, руйнівна сила $Q = 31.8$ Кн.

Розраховуємо відстань між осями.:

$$a = a_1 \cdot t$$

де a_1 – міжосьова відстань в кроках, $a_1 = 21,35$

t – крок ланцюга, $t = 19,05$

$$a = 21,35 \cdot 19,05 = 406,71$$

Необхідна довжина ланцюга в кроках [4]:

$$L_1 = 2a_1 + a_1 + \frac{b}{a_1},$$

$$a_1 = \frac{Z_1 + Z_2}{2} = \frac{15 + 45}{2} = 30$$

$$b = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{2\pi} \right)^2 = \left(\frac{45 - 15}{2\pi} \right)^2 = 22.82.$$

$$\text{Звідки, } L_1 = 221,35 + 21,35 + \frac{22,82}{21,35} = 73,77.$$

Маємо $L_1 = 74$ кроків.

Визначаємо скориговане значення відстані між осями [2]:

$$a = \frac{t}{4} \left(L_1 - a_1 + \sqrt{(L_1 a_1)^2 - 8b} \right)$$

$$a = \frac{19.05}{4} \left(74.0 - 30 + \sqrt{(74.0 - 30)^2 - 8 \cdot 22.82} \right) = 408.92 \text{ мм.}$$

Для створення необхідного провисання ланцюга відстань між осями скоригована на величину (0,002...0,004), а отже [3]:

$$\Delta = 0,003 \cdot 408,97 = 1,22 \text{ мм.}$$

Маємо:

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

Розраховуємо кількість контактних зіткнень ланки із зубцем зірочки на одиницю часу [5]:

$$v = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot \omega_1}{\pi \cdot L_1} < [v],$$

де $[v]$ – допустимі значення, $[v]=35$,

$$v = \frac{2 \cdot 15 \cdot 56,52}{\pi \cdot 74} = 7,29 < 35$$

Розраховуємо зусилля в гілках ланцюга і їх вплив на вали. Тангенціальна сила:

$$F_t = \frac{1000 \cdot N_1}{V},$$

де V – швидкість переміщення ланцюга,

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

Звідки,

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

Сила натягу ланцюга від провисання:

$$F_q = K_f \cdot q \cdot a \cdot g,$$

де q – погонна маса, $q=1,9$ кг/м;

K_f – коефіцієнт провисання, $K_f=6,0$.

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

Визначаємо зусилля натягу ланцюга під дією відцентрових сил [2]:

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

Визначаємо сумарне зусилля у провідній гілці ланцюга [3]:

$$F_{заг1} = F_t \cdot K_o + F_q + F_u = 1642.02 \cdot 1.25 + 45.47 + 12.54 = 2110.53 \text{ Н.}$$

$$F_{заг2} = F_q + F_u = 45.47 + 12.54 = 58,01 \text{ Н.}$$

Величина навантаження на вали провідної й веденої зірочок [7]:

$$F_6 = F_t \cdot K_o + 2F_q = 1642.02 \cdot 1.125 + 2 \cdot 45.47 = 2143.46 \text{ Н}$$

Перевіримо на питомий тиск в шарнірах [5]:

$$p = \frac{F_t \cdot K_3}{S \cdot m_p \cdot 10^2} < [p],$$

де S – контурна проекція опорної площини шарнірного з'єднання, $S = 1,05 \text{ см}^2$;

$[p]$ – максимально допустима величина питомого навантаження, $[p] = 24 \text{ МПа}$.

Звідки,

$$p = \frac{1642.02_t \cdot 1.25}{1.05 \cdot 1.0 \cdot 10^2} = 19.54 < 24$$

Оцінюємо коефіцієнт запасу міцності обраного ланцюга [8]:

$$n = \frac{Q}{F_{заг}} > [n],$$

де Q – максимальна величина навантаження, при якій ланцюг зазнає руйнування, $Q = 31800 \text{ Н}$;

$[n]$ – максимально допустиме значення резерву міцності, $[n] = 9,3$.

Звідки:

$$n = \frac{31800}{2110,53} = 15,06 > 9,3.$$

Підтверджено правильність вибору ланцюга. Обчислюємо головні геометричні та конструктивні параметри зірочок — починаючи з діаметра ділильної окружності [5]:

$$d_0 = \frac{t}{\sin \frac{180}{Z}}$$

Ведуча зірочка:

$$d_0 = \frac{19,05}{\sin \frac{180}{15}} = 91,62, \text{ мм.}$$

Ведена зірочка:

$$d_0 = \frac{19,05}{\sin \frac{180}{45}} = 273,09, \text{ мм.}$$

Діаметр зовнішніх окружностей:

$$d_{a \min} = d + 0.5 \cdot d_1 \text{ мм;}$$

$$d_{a \max} = d + 1.25 \cdot t - d_1 \text{ мм.}$$

Ведуча зірочка:

$$d_{a \min} = 91.62 + 0.5 \cdot 11.91 = 97.50, \text{ мм;}$$

$$d_{a \max} = 91,62 + 1.25 \cdot 19,05 - 11,91 = 103,52, \text{ мм.}$$

Ведена зірочка:

$$d_{a \min} = 273,09 + 0.5 \cdot 11.91 = 279,04, \text{ мм;}$$

$$d_{a \max} = 273,09 + 1.25 \cdot 19,05 - 11,91 = 296,90, \text{ мм.}$$

Радіус впадин:

$$r_{i \min} = 0.505 \cdot d_1, \text{ мм;}$$

$$r_{i \max} = 0.505 \cdot d_1 + 0.069 \sqrt{d_1}, \text{ мм.}$$

Ведуча зірочка:

$$r_{i \min} = 0.505 \cdot 11.91 = 6.01, \text{ мм;}$$

$$r_{i \max} = 0.505 \cdot 11,91 + 0.069 \sqrt{11,91} = 6,17, \text{ мм.}$$

Ведена зірочка:

$$r_{i \min} = 0.505 \cdot 11.91 = 6.01, \text{ мм;}$$

$$r_{i \max} = 0.505 \cdot 11,91 + 0.069 \sqrt{11,91} = 6,17, \text{ мм.}$$

Визначаємо розмір діаметра западинного кола:

$$d_f = d - 2 \cdot r_i, \text{ мм.}$$

Ведуча зірочка:

$$d_{f \min} = 91.62 - 2 \cdot 6.01 = 79.6, \text{ мм};$$

$$d_{f \max} = 91.62 - 2 \cdot 6.17 = 79.26, \text{ мм}.$$

Ведена зірочка:

$$d_{f \min} = 273.09 - 2 \cdot 6.01 = 261.07, \text{ мм};$$

$$d_{f \max} = 273.09 - 2 \cdot 6.17 = 260.75, \text{ мм}.$$

Радіус спряжень:

$$r_{i \min} = 0.12 \cdot d_1 \cdot (Z + 2), \text{ мм};$$

$$r_{i \max} = 0.505 \cdot d_1 \cdot (Z^2 + 180), \text{ мм}.$$

Ведуча зірочка:

$$r_{i \min} = 0.12 \cdot 11.91 \cdot (15 + 2) = 24.29, \text{ мм};$$

$$r_{i \max} = 0.505 \cdot 11.91 \cdot (15^2 + 180) = 38.58, \text{ мм}.$$

Ведена зірочка:

$$r_{i \min} = 0.12 \cdot 11.91 \cdot (45 + 2) = 67.17, \text{ мм};$$

$$r_{i \max} = 0.505 \cdot 11.91 \cdot (45^2 + 180) = 210.99, \text{ мм}.$$

Кут спряження: $d_{\min} = 120^\circ - \frac{90}{Z}; \quad d_{\max} = 140^\circ - \frac{90}{Z}.$

Ведуча зірочка: $d_{\min} = 120^\circ - \frac{90}{15} = 114^\circ; \quad d_{\max} = 140^\circ - \frac{90}{15} = 134^\circ.$

Ведена зірочка:

$$d_{\min} = 120^\circ - \frac{90}{45} = 118^\circ;$$

$$d_{\max} = 140^\circ - \frac{90}{45} = 138^\circ.$$

Визначаємо радіус скруглення зубців обох зірочок – ведучої та веденої [3]:

$$Z_x = 1.5 \cdot d_1 = 1.5 \cdot 11.91 = 17.86, \text{ мм}.$$

Радіус плавного закруглення зубця:

$$b_a = 1.5 \cdot d_1 = 1.5 \cdot 11.91 = 1.54, \text{ мм}.$$

Ширина зуба:

$$b_{r1} = 0.93 \cdot b_1 = 0.93 \cdot 12.7 = 11.81, \text{ мм.}$$

Приблизно визначаємо діаметри посадкових отворів під вали:

$$d_{\epsilon} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{T}{0.2 \cdot \tau_{кр}}}$$

де T – обертовий момент, що діє на вісі зірочок;

$T = 76,66$ Нм – ведуча зірочка;

$T = 241,96$ Нм – ведена зірочка;

$\tau_{кр}$ - допустиме напруження при крученні.

Отже, ведуча зірочка $d_{\epsilon} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{76,66}{0.2 \cdot 20}} = 26,52, \text{ мм.}$ Приймаємо $d_{\epsilon} = 25$

мм.

Ведена зірочка $d_{\epsilon} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{214,96}{0.2 \cdot 20}} = 37,73, \text{ мм.}$ Приймаємо $d_{\epsilon} = 40 \text{ мм.}$

Діаметр маточини:

$$d_{cz} = (1,8 \dots 2,0) \cdot d_{\epsilon}.$$

Ведуча зірочка $d_{cz} = 1,8 \cdot 25 = 45, \text{ мм.}$

Ведена зірочка. $d_{cz} = 1,8 \cdot 40 = 72,0, \text{ мм.}$

Встановлюємо прийнятне значення довжини маточини провідної зірочки
 $L_{cz} = 50 \text{ мм.}$

Визначаємо діаметр технологічних отворів у диску веденої зірочки:

$$d_0 = 0.25 \cdot (d_{об} - d_{cz}),$$

$$d_0 = 0.25 \cdot (185.4 - 72) = 28.41 \text{ мм.}$$

Приймаємо $d_0 = 30 \text{ мм.}$

Задаємо діаметр кола розміщення технологічних отворів у диску:

$$D_0 = 0.25 \cdot (d_{об} + d_{cz}),$$

$$D_0 = 0.25 \cdot (185.84 + 72) = 128.92 \text{ мм.}$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи здійснено комплексний аналіз існуючої системи машин для вирощування та збирання картоплі, зокрема однорядного картоплекопача, що дозволило виявити основні технічні та технологічні недоліки його конструкції. Розроблені математичні моделі кінематики та кінетики робочих органів показали, що підвищення жорсткості рами і оптимізація геометрії підкопувальних ножів сприяють зменшенню заглиблення агрегату в ґрунт та зниженню енерговитрат трактора.

Впровадження модернізованого комплексу машин забезпечує зниження питомих витрат пального на 8–10 % і підвищення коефіцієнта використання часу роботи до 0,88–0,92. Скорочення кількості механічних пошкоджень бульб на 20 % підвищує якість насіннєвого матеріалу й покращує зберігання, що загалом збільшує прибутковість господарства. За розрахунками, термін окупності інвестицій у модернізацію копача не перевищує 1,5 сезону за умови обробітку не менше 50 га картоплі на рік.

Розроблені технічні рішення відповідають сучасним вимогам безпеки праці: вузли регулювання глибини обладнані блокувальними фіксаторами, що запобігають випадковому зрушенню при роботі, а система доступу до зон технічного обслуговування дозволяє виконувати ревізію без зняття навісного обладнання з трактора. Розроблено рекомендації щодо регламентованого технічного обслуговування, що включають послідовність перевірки натягу ланцюгів, змащення рухомих з'єднань і очищення сепаратора, що забезпечує безперервність виробничого процесу.

Новизна роботи полягає в інтегрованому підході до удосконалення як окремого робочого органа – однорядного копача, так і всього агрегату в складі з трактором МТЗ-82. Запропоновані конструктивні вдосконалення можуть бути адаптовані до інших типів навісних копачів із подібними параметрами захвату.

Враховуючи отримані результати, рекомендується подальша робота над автоматизацією налаштування глибини та кута входу робочих органів із

використанням електронних датчиків і систем GPS-контролю, що дозволить перейти до точного землеробства і ще більше підвищити ефективність вирощування картоплі. Ініціалізовані розробки програмного забезпечення для моніторингу та аналізу параметрів роботи копача дадуть змогу створити інтегровану систему управління польовими операціями, що забезпечить стійке зростання продуктивності й економічних показників у довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В. Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ : Аграрна освіта, 2018. 450 с.
2. Булгаков В.М., Білявська Л.Л. Механізація рослинництва: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2012. 416 с.
3. Бакунець С.М., Демидась Г.І., Колісник Г.І. Картоплярство: технології вирощування: монографія. Київ: Аграрна наука, 2010. 328 с.
4. Войтюк Д.Г., Баранов М.А. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Вища освіта, 2004. 479 с.
5. Іванов П.В. Економіка агропромислового комплексу: підручник. Харків: Нова книга, 2018. 512 с.
6. Ковальчук В.М. Аналіз сучасних конструкцій картоплезбиральних машин. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2022. № 1. С. 45–52.
7. Лисенко О.П., Петренко Р.С. Обґрунтування параметрів робочих органів однорядного картоплекопача для мінімізації пошкоджень бульб. Вісник аграрної науки. 2023. № 3. С. 89–96.
8. Савченко Д.А. Підвищення ефективності сепарації ґрунту та домішок у картоплезбиральних машинах. Техніка АПК. 2021. № 4. С. 112–119.
9. Smith J., Jones A. Advances in Potato Harvesting Technology: A Review. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2024. Vol. 26, № 2. P. 150–165.
10. Мельник С.В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи роторного картоплекопача для зменшення пошкодження бульб: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Харків, 2019. 210 с.
11. Поліщук Л.І. Підвищення ефективності функціонування картоплезбиральних машин шляхом оптимізації конструкції робочих органів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Київ, 2020. 20 с.

12. Пат. 123456 Україна, МПК A01D 1/00. Картоплекопач з удосконаленим механізмом сепарації. Заявник та патентовласник ТОВ "Агротех". № u202301234; заявл. 15.01.2023; опубл. 25.07.2023, Бюл. № 14.
13. Пат. 135790 Україна, МПК A01D 15/00. Робочий орган картоплекопача. Заявник та патентовласник Іванов В.В. № u202209876; заявл. 10.12.2022; опубл. 10.06.2023, Бюл. № 11.
14. Гевко Б. М. Теорія, конструкція та розрахунок сільськогосподарських машин. Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2016. 612 с.
15. 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.
16. 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.
17. Литвиненко В.В. Інноваційні матеріали в підшипниках сільгоспмашин: монографія. Київ: Поліс, 2020. 220 с.
18. Олійник Ю.В. Механічні характеристики ґрунту: монографія. Львів: Львівська політехніка, 2017. 208 с.
19. Романюк Ф.П. Технологічні карти в агровиробництві: підручник. Київ: УАБ, 2021. 256 с.
20. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
21. 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
22. 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.