

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПИЖИК ЯРОСЛАВ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 631.3.01:631.3.03

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ СЕПАРАЦІЇ ВОРОХУ
КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Я. С. Пижик

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Пижик Ярослав Сергійович. Удосконалення системи сепарації вороху картоплезбирального комбайну. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Рівень механізованого збирання картоплі в особистих та малих господарствах є дуже низьким. Це пов'язано з тим, що в щільних ґрунтах відокремлення картопляних бульб від ґрунту або стебел є недостатнім, що призводить до втрати врожаю. У даній роботі розроблено двоступеневий очищувальний картоплезбирального комбайну з хвилеподібним і роликовим механізмами сепарації, а також детально описано його загальну структуру та принцип роботи. Новий механізм очищення збільшує ефективну довжину сепарації та площу контакту суміші картопля–ґрунт, що дозволяє видаляти глину та щільний ґрунт. Основний сепаратор має структуру, яка поєднує зміщені хвилі з протилежними хвилями та шаховий порядок розташування стрижнів великого і малого діаметра. Вторинний сепаратор використовує пристрій із ліво- та правосторонніми роздільними роликами. Було створено дискретну елементну модель всієї машини, а результати теоретичного аналізу підтверджені симуляцією. Ключові фактори, що впливають на якість збирання, були проаналізовані за допомогою аналізу варіантності та методу поверхонь відгуку. Результати показали, що машина досягла рівня збирання картоплі на поверхні або поза ґрунтом 98,87%, рівня пошкодженої картоплі – 0,91%. Отримані результати надають теоретичну основу для проектування й оптимізації картоплезбиральної техніки, а також для підвищення ефективності сепарації картопля–ґрунт і якості збирання.

Ключові слова: комбайн, сепаратор, картопля; каскадний сепаратор; роздільні ролики, пошкоджуваність, щільний ґрунт.

ABSTRACT

Pyzhyk Yaroslav Serhiyovych. Improvement of the heap separation system of a potato harvester. – *Qualification work in the form of a manuscript.*

Qualification work for obtaining the Master's degree in specialty 208 "Agricultural Engineering". – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

Currently, the level of mechanized potato harvesting in private and small farms remains very low. This is due to insufficient separation of potato tubers from the soil or stems in dense soils, significant damage to the potato peel during harvesting, and the frequent loss of harvested potatoes left in the soil. This work introduces the development of a two-stage cleaning potato harvester equipped with wave and roller separation mechanisms, providing a detailed description of its overall structure and operating principle.

The new cleaning mechanism increases the effective separation length and the contact area of the potato-soil mixture, enabling efficient removal of clay and dense soil. The primary separator combines offset and opposite waves with a staggered arrangement of rods of different diameters. The secondary separator incorporates a device with left- and right-sided separating rollers. A discrete element model of the entire machine was created, and the theoretical analysis results were confirmed through simulation.

Key factors affecting harvesting quality were analyzed using variance analysis and the response surface method. Field experiments were conducted with indicators such as the cleanliness level of harvested potatoes, damage rates, and peel removal rates. The results showed that the machine achieved a harvesting rate of potatoes on the surface or outside the soil of 98.87%, a damaged potato rate of 0.91%.

The findings provide a theoretical basis and technical support for the design and optimization of potato harvesting equipment, improving the efficiency of potato-soil separation and enhancing harvesting quality.

Keywords: *harvester; separator; potato; cascade separator; separating rollers; damage rate; dense soil.*

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ВСТУП..... | 5 |
| 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ | |
| 1.1. Загальна характеристика..... | 7 |
| 1.2. відомі виробники в даному виді техніки (фірми)..... | 8 |
| 1.3. Тенденції розвитку картоплезбиральної техніки..... | 13 |
| 1.4. Висновки до розділу 1..... | 14 |
| 2. АНАЛІТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНО МАШИНИ | |
| 2.1 Структура та принцип роботи сепараційної системи машини..... | 15 |
| 2.2. Принцип роботи та основні технічні параметри..... | 17 |
| 2.3. Структурний дизайн і характеристики руху первинного хвильового пруткового сепаратора..... | 18 |
| 2.4. Аналіз характеристик руху..... | 20 |
| 2.5. Аналіз характеристик руху у процесі вібраційного сепарування..... | 23 |
| 2.6. Висновки до розділу 2..... | 27 |
| 3. РЕЗУЛЬТАТИ ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО СЕПАРАТОРА КАРТОПЛІВМІСНОГО ВОРОХУ | |
| 3.1. Умови експерименту та показники..... | 29 |
| 3.2. Структура експерименту..... | 30 |
| 3.3. Результати експерименту та аналіз..... | 31 |
| 3.4. Висновки до розділу 3..... | 36 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 38 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 39 |

ВСТУП

Актуальність теми. Урбанізація та зростання чисельності населення становлять значний глобальний виклик у досягненні сталого розвитку та забезпеченні зростаючого попиту на продукти харчування. Картопля, завдяки стабільним врожаям, високій продуктивності та багатому поживному складу, займає четверте місце серед найважливіших сільськогосподарських культур у світі після пшениці, рису та кукурудзи. Це робить картоплю ключовим елементом у забезпеченні харчування зростаючого населення планети.

Останніми роками щорічне виробництво картоплі в Україні перевищує 9 мільйонів тонн, а площа її вирощування становить 730 тис. гектарів. Однак розвиток картоплезбиральної техніки характеризується як «великий, але не потужний». Рівень механізованого збирання картоплі в країні становить менше ніж 32%.

У порівнянні з розвиненими країнами, картоплезбиральні машини мають такі проблеми, як недостатня потужність і низька ефективність відокремлення картоплі від ґрунту, що призводить до високого рівня пошкодження бульб і низького рівня чистоти зібраної картоплі. Це суттєво впливає на виробництво картоплі, а частка механізованого збирання становить менше ніж 50%. Це ускладнює використання сільськогосподарської техніки, погіршує якість обробітку та створює значні труднощі для механізованих картоплезбиральних комбайнів.

Ефективність відокремлення картоплі від ґрунту під час збирання безпосередньо визначає якість процесу збирання та впливає на врожайність картоплі.

Метою кваліфікаційної роботи є: підвищення ступеню сепарації картопляного вороху, шляхом обґрунтування раціональних параметрів системи очистки.

Необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сепараційних систем картоплезбиральних машин ;

- виконати проектування компоновочно-конструкційної схеми системи сепарації ґрунтового вороху;
- встановити оптимальні параметри роботи запропонованої схеми;
- провести дослідження ефективності застосування даних рішень.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сепарації ґрунто-картоплевмісного вороху.

Предмет дослідження – взаємозв'язок між кінематичними та технологічними параметрами системи сепарації комбайна.

Методи дослідження. Дослідження проводились із застосуванням методів механіки та моделювання, теорії розрахунку робочих органів машин, методи розв'язку оптимізаційних задач.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Пижик Я. С. Обґрунтування кінематичного режиму роботи сепаратора картопляного вороху, Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 216 - 221.
2. М. Заєць, Обґрунтування кінематичного режиму роботи сепаратора картопляного вороху / М. Заєць, Я. Пижик // Матеріали XXV міжнародного науково-практичного форуму. Львів: ЛНУП., 2024. С. 406-409.
3. Заєць М. Л., Обґрунтування кінематичного режиму роботи сепаратора картопляного вороху. / М. Заєць, Я. Пижик // Зб. тез доп. XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" НУБіПУ. Київ. 2024. С. 74-78.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 11 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 39 сторінок комп'ютерного тексту, 10 рисунків 5 таблиць.

1.ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

1.1. Загальна характеристика

Комбайн картоплезбиральний призначений для підкопування бульб попередньо прибраною або відмерлою гичкою, відділення бульб від ґрунту бадилля і бур'янів з наступним навантаженням бульб у транспортний пристрій.[1]

Застосування - усі зони оброблення картоплі на території України. Комбайн складається з наступних основних частин і вузлів; рами, призначеної для установки на ній всіх основних і допоміжних органів комбайна; ходової частини, що складає з двох коліс із пневматичними шинами; причіпної балки, призначеної для приєднання комбайна до трактора; підкопувального пристрою, призначеного для підкопування бульб у гребнях і передачі їх разом із ґрунтом на первинний (основний) транспортер, що сепарує.

На рамі пристрою змонтовані два копіюючих опорних колеса, що забезпечують необхідну глибину підкопування, чотири вертикальних диска, що підрізують гребені, два підкопувальних лемеші. Підйом платформи в транспортне положення й опускання в робоче забезпечується гідроциліндром системи гідравліки; сепаруючих транспортерів (первинного і вторинного) з гичковидаляючими і притискними вальцями для відділення від бульб ґрунту, бур'янів і гички, а також транспортування бульб по ходу технологічного процесу.

Для поліпшення сепарації ґрунту знизу транспортерів розташовані вібратори; транспортуючого пристрою, що складається з обгумованих роликів і піднімального транспортера, призначених для очищення бульб від ґрунту і дрібних рослинних домішок та подачі бульб на перебірний стіл.

- призначеного для видалення домішок, ушкоджених і хворих бульб. Стіл знаходиться у верхній частині комбайна;
- бункера, призначеного для тимчасового зберігання (до вивантаження в транспортний засіб) бульб;

- вивантажувального транспортера-елеватора, призначеного для вивантаження бульб з бункера в транспортний засіб.

Конструкція елеватора забезпечує зміну висоти вивантаження в залежності від транспортного засобу, забезпечуючи мінімальний перепад бульб з елеватора в транспортний засіб; майданчиків перевірок; пристрою горизонтування рами комбайна, призначеного для якісного збирання картоплі на поперечних схилах поля до 60°; приводу, що складається з карданних валів, редукторів, ланцюгових і пасових передач, гідромоторів і гідроциліндрів; гідросистеми; електричної системи.

1.2. відомі виробники в даному виді техніки (фірми)

1.2.1. Комбайн картоплезбиральний КПК-2

Випускається ГСКТБ по машинах для оброблення і збирання картоплі (Каталог "Сільськогосподарська техніка", т.П., 1991р. стор.65).

Комбайн КПК-2 (рис.1.1.) напівнавісний, дворядний призначений для збирання бульбоплодів на всіх типах ґрунтів з вмістом вологи до 22 % з невеликим вмістом фракції кременів розміром до 150 мм, з врожайністю до 8 т/га.



Рис. 1.1. Комбайн КПК-2

1.2.2. Комбайн картоплезбиральний трирядний КПК-3

Випускається ГСКТБ по машинах для оброблення і збирання картоплі (Каталог "Сільськогосподарська техніка", т.П.,, 1991р. стор.66).

Призначений для збирання картоплі, висадженої гребневим способом на різних типах ґрунтів. Має раму з ходовими колесами і навішеними на неї робочих органів і вузлів: Підкопувальної секції, другого елеватора, пальчикової гірки із заднім шнеком, рідкопруткового транспортера, бункера, транспортера завантаження бункера, гідросистеми, площадки комбайнера, щитової системи, приводу.

1.2.3. Комбайн рядковий картоплезбиральний рис. 1.2.



Рис. 1.2. Комбайн рядковий картоплезбиральний

Створений Українським НДІ механізації й електрифікації сільського господарства, Україна (Автор.свід. № 893162).

Багаторядний картоплезбиральний комбайн, що включає раму на опорних колесах, підкопувальні робочі органи, секційний сепарувальний елеватор, пристрій для відокремлення домішок від бульб та вивантажувальний транспортер. Особливістю є система, яка зменшує пошкодження картоплі за рахунок поділу на

фракції після початкового сепарування. Для цього пристрій для відокремлення домішок обладнаний транспортером, розташованим поперек сепарувального елеватора, для відокремлення великої фракції бульб, а також сепараторами з протилежним напрямом подачі, що вбудовані у його корпус.

У конструкції передбачено подовжній транспортер із пальчиковою гіркою, приймальна частина якого розміщена під зонами вивантаження сепараторів. Ходові колеса комбайна інтегровані у проміжки між секціями сепарувального елеватора.[2]

1.2.4. Комбайн фірми "Reekie"

Виробляється компанією "Reekie" (Англія)(рис. 1.3.). Згідно з характеристиками, цей комбайн має гідравлічну систему управління, що забезпечує високу маневреність на поворотах поля та дозволяє регулювати ширину колії відповідно до міжряддя. Основними перевагами є простота в експлуатації та обслуговуванні.



Рис. 1.3. Картоплезбиральний комбайн фірми "Reekie"

1.2.5. Картоплезбиральна машина комбайн Е-684

Комбайн Е 684 виготовляється компанією "Veb Weiman Werk2" (Німеччина). Його конструкція орієнтована на базові функції: викопування картоплі, відділення землі та видалення бадилля. Відсутність механізмів для відділення домішок робить цю машину простішою у використанні, огляді та обслуговуванні, а також підвищує її продуктивність.



Рис. 1.3. Картоплезбиральна машина Е-684

Основні характеристики:

- Кількість рядків: одночасне викопування трьох рядів.
- Ширина міжрядь: від 70 до 75 см.
- Просівання ґрунту: здійснюється двома плоскопосовими грохотами.
- Видалення бадилля:
- Виконується валиком для видалення бадилля.
- Дрібне бадилля відділяється транспортером із гумовими пальцями, який має грубопрофільовану поверхню та регульований нахил.
- Система вивантаження:

Вивантажувальний елеватор: це стрічковий транспортер із шинами, який переміщує зібраний урожай на транспортний засіб, що рухається з лівого боку комбайна.

Ця модель поєднує простоту конструкції та високу продуктивність для ефективного збирання врожаю.

Картоплезбиральна машина із боковим розташуванням викопувальної секції "Вюльмаус" 1733 Р (рис. 1.4.) [3]



Рис. 1.4. Картоплезбиральна машина із боковим розташуванням викопувальної секції "Вюльмаус" 1733 Р

Виробник: компанія Wuhlmaus (Німеччина).

Основні характеристики: Підкопування рядків: відбувається лемешем, оснащеним дисковими ножами з автоматичним регулюванням і пружинним підвісом з обох боків. Сепарація ґрунту: виконується через прутковий елеватор. Система відділення стебл: використовується перевірена часом відкрита система. Відокремлення залишкових домішок: пальчаста гумова гірка, через яку домішки продавлюються між пальцями. Гребінки та щитки спрямовують залишки на транспортер з подальшим відділенням. [3]

Базові моделі комбайнів серії "Вюльмаус 1733": призначений для роботи на будь-яких типах ґрунтів. Відокремлює грудки та камені на ґрунтах із засміченістю до 33 %. Розроблений для добре сепарованих ґрунтів із низьким рівнем засміченості грудками та камінням. Оптимальний для ґрунтів із вмістом каменів до 25 %. Оснащений високопродуктивним каменевідділювачем. [3]

Комбайн "Вюльмаус" 1733 Р відзначається надійністю, універсальністю та ефективністю при роботі в різних умовах, що робить його придатним для обробки як чистих, так і засмічених ґрунтів. [3]

1.3. Тенденції розвитку картоплезбиральної техніки

1) Ведуться дослідження і роботи, що сприяють зменшенню пошкоджуваності картоплі.

Джерело інформації - Р.Ж. «Трактори, с/г машини і знаряддя», № 7,88 р., стор.39, «Тrans.ASAE»,2017.

В об'єктах ведучих організацій (фірм) розглядається автоматична система регулювання швидкості руху першого сепаруючого елеватора комбайна. Діапазон зміни швидкості - 0.48 - 1.4 м/с. Зміна швидкості відбувається за 2 с із прискоренням 0.23 м/с. Привід елеватора від гідромотора.

В об'єктах розробки в сепаруючих елеваторах застосовані обгумовані прутки, У транспортуючому пристрої зірочки гумові. У піднімальному і вивантажувальному елеваторах робочі лопатки виконані гумовими. Бункер має гумові стрічки, що гасять удари при влученні картоплі.

У картоплезбиральному комбайні "Вюльмаус 1733", згідно проспекту фірми, безступенево-регулюючі опорні катки шляхом копіювання картопляних гребенів забезпечують точний хід по глибині підкопувального лемеша, що охороняє бульби картоплі від порізів і гарантує безперешкодне просування бульбової маси.

По статтях журналу Agrartechnik, 2017, 37, № 11, стор.498-499, на полях Німеччини ця тенденція реалізується за рахунок застосування машин, що відповідають ширині колії. На 2/3 площ застосовані комбайни Е 662, Е 684.

2) На базі картоплезбирального комбайна " Wulhmaus 1733" підвищення сепаруючої здатності, досягнуто за рахунок застосування двохрегульованих незалежних один від одного зліпсopodobних струшувачів, щодозволяє навіть наважких ґрунтах забезпечити високу якість сепарації.

У даному прикладі передбачена велика площа сепаруючого елеватора. Застосований струшувач хитного й обертового типу.

Пристрій має кривошипно-шатунний привід і пластини, з'єднані шарніром, вісь якого рівнобіжна коливним пальчастим брусам, установленим над елеватором, при цьому пластини підпружинені для підтискування до пальців, а шарнір з'єднаний із шатуном кривошипно-шатунного механізму для підйому й опускання пластин. У розробці - застосування пристрою регулювання амплітуди струшування.

3) В об'єктах ведучих організацій (фірм) для підвищення продуктивності комбайна елеватор виконаний з можливістю регулювання кута нахилу своєї прийомної частини має механізм опускання-підйому і фіксації цієї частини в зоні між вивантажувальною частиною транспортера для подачі маси, що очищається, і приймальною частиною перевантажувального транспортера.

1.4. Висновки до розділу 1

1. Аналіз тенденцій розвитку даного виду техніки показав, що основні тенденції розвитку картоплезбиральних комбайнів (зменшення пошкоджуваності картоплі, підвищення продуктивності) реалізуються в об'єкті розробки.

Порівняльний аналіз техніко-економічних показників свідчить, що за основними показниками розроблювальний картоплезбиральний комбайн відповідає аналогічним вітчизняним і закордонним комбайнам.

Отже, розроблювальний картоплезбиральний двохрядний напівначіпний комбайн знаходиться на рівні відомих вітчизняних і закордонних аналогів.

2. Загальне компонування і ряд основних вузлів не мають новизну, тому що відомі з джерел інформації, доступних необмеженому колу користувачів.

Загальне компонування, ходова частина, елеватор піднімальний і стіл перебірний відомі з технічної документації картоплезбирального комбайна ККП-2. Сепаруючі транспортери і привід відомі з проспекту фірми Рікі.

Вивантажувальний пристрій, що включає бункер і вивантажувальний транспортер, має новизну.

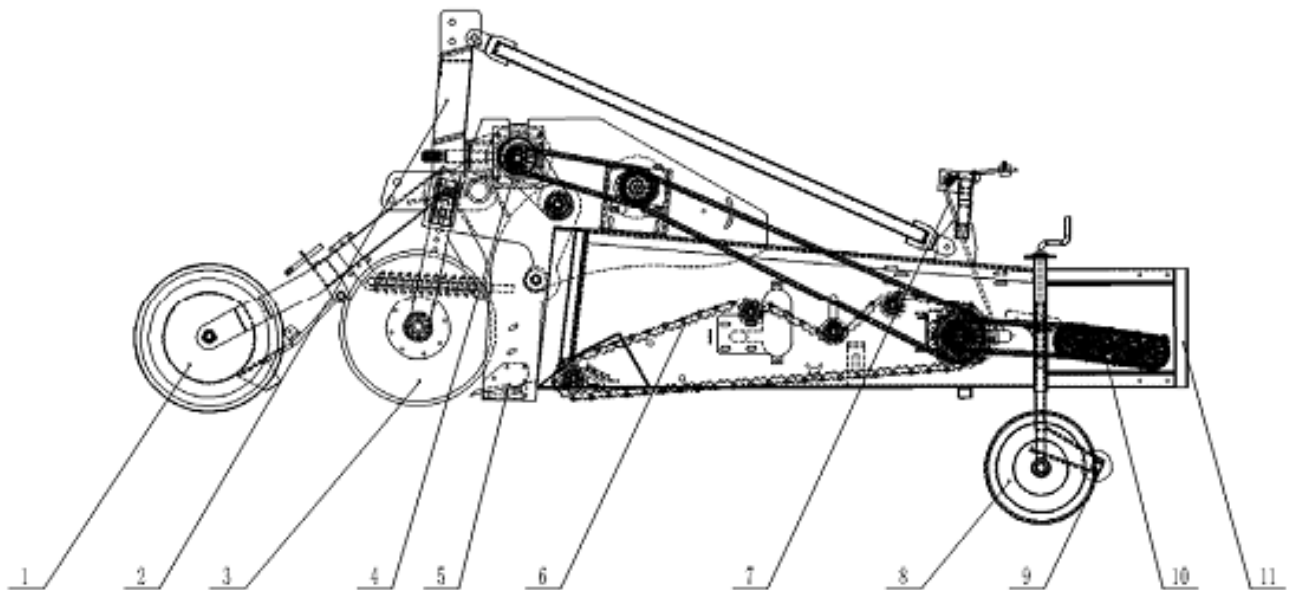
2. АНАЛІТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНО МАШИНИ

2.1 Структура та принцип роботи сепараційної системи машини

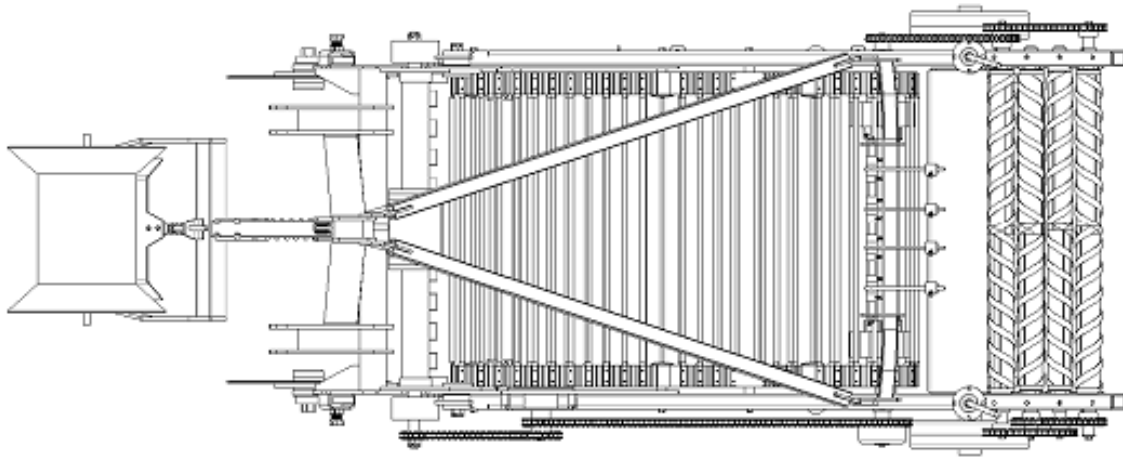
Два сегменти вібраційного та хвильового сепаратора складаються переважно з таких компонентів:

- основний хвильовий ґратчастий сепаратор для розділення картоплі та ґрунту,
- вторинний роликівий сепаратор для розділення картоплі та ґрунту,
- задній ролик,
- пристрій для видалення бадилля,
- притискне колесо,
- диск для підрізання стерні,
- ґрунтове колесо,
- ексцентрична вібраційна копачка.

Компоненти представлені на (Рис. 1.)



(а) вигляд збоку



(б) вигляд зверху

Рис. 2.1. Схема конструкції картоплезбиральної машини:

1- притискне колесо; 2-апарат для підвіски тяги; 3 - диск для підрізання стерні; 4 - колесо регулювання глибини; 5 - вібраційна копачка; 6 - основний хвильовий ґратчастий сепаратор для розділення картоплі та ґрунту; 7 - пристрій для видалення бадилля; 8 - ґрунтове колесо; 9 - задній ролик; 10 - вторинний роликовий сепаратор для розділення картоплі та ґрунту; 11 - рама.

Існуючі сепаратори для картоплі та ґрунту стикаються з суттєвими труднощами у контролі робочої швидкості та інтенсивності вібрації хвильового ґратчастого сепаратора, що призводить до пошкодження картоплі [3,4]. Для вирішення цієї проблеми складний процес було розділено на декілька простіших етапів. У цій роботі параметри хвильового ґратчастого сепаратора для первинного сепаратора були налаштовані таким чином, щоб вони працювали досить м'яко, видаляючи лише великі грудки важкого ґрунту, тоді як вторинний сепаратор видаляв ґрунт, який прилипав до поверхні картоплі.

2.2. Принцип роботи та основні технічні параметри

2.2.1. Принцип роботи

Цей пристрій є типу тяги-підвіски, що вимагає трактора потужністю приблизно 20-30 кВт для тяги. Спочатку пресувальне колесо ущільнює і ламає гребені, а диск для зрізання стебел обрізає картопляні лозини з обох боків. Ексцентричний вібраційний копач спереду викупає картопляно-грунтову суміш і подає її в основний хвилястий сито-сепаратор картопля-грунт. Під вібрацією чергуючих великих та малих діаметрів прямокутних планок, картопляно-грунтовий ворох підкидається, а грунт просипається через щілини. Над протилежними хвилями встановлений сепаратор стебел, де вони відокремлюються за допомогою руху великих та малих діаметрів прямокутних планок і пристрою для видалення бадилля. Потім картопляно-грунтовий ворох потрапляє на сепараційні ролики, де рухається по кривій на чотирьохступеневих сепараційних роликах, постійно котиться і труться, щоб зняти важкий грунт, що прилип до поверхні картоплі. Одночасно, задній несучий ролик переносаючи частину ваги машини, вирівнює поверхню ґрунту після викопування, в результаті чого картопля падає на вирівнену поверхню ґрунту, ефективно запобігаючи явищу знову похованої картоплі і покращуючи умови для фотосинтезу на ґрунті.

2.2.2. Основні технічні параметри

Дана картоплезбиральна машина призначена для збору картоплі на горбистих місцевостях з важкими ґрунтовими умовами. Незважаючи на обмеження загальної довжини машини, ефективна довжина сепарації та контактна площа картопляно-грунтового вороху було збільшено для досягнення видалення важко видаляючого ґрунту, що значно покращило як ефективність, так і якість процесу

збирання. Хід хвильового роздільно-сепараційної поверхні складав 2750 мм. Основні технічні параметри наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Основні технічні параметри двох сегментів вібраційного та хвильового сепаратора картопляного вороху

| Технічні параметри | Числове значення |
|--|------------------|
| Розмір сепаратора (довжина × ширина × висота)/(мм × мм × мм) | 1200 × 900 × 600 |
| Підтримувана потужність/(кВт) | 20–30 |
| Кількість гребенів | 1 |
| Чиста робоча продуктивність/(га/год) | 0.3–0.5 |
| Глибина копання/(мм) | 150–220 |
| Діаметр великої планки/(мм) | 20 |
| Діаметр маленької планки/(мм) | 12 |
| Центральна відстань між великою та маленькою планками/(мм) | 52 |
| Загальна довжина сепараційного екрану/(мм) | 1552 |
| Діаметр окремого сепараційного ролика/(мм) | 720 |
| Довжина окремих сепараційних роликів/(мм) | 260 |

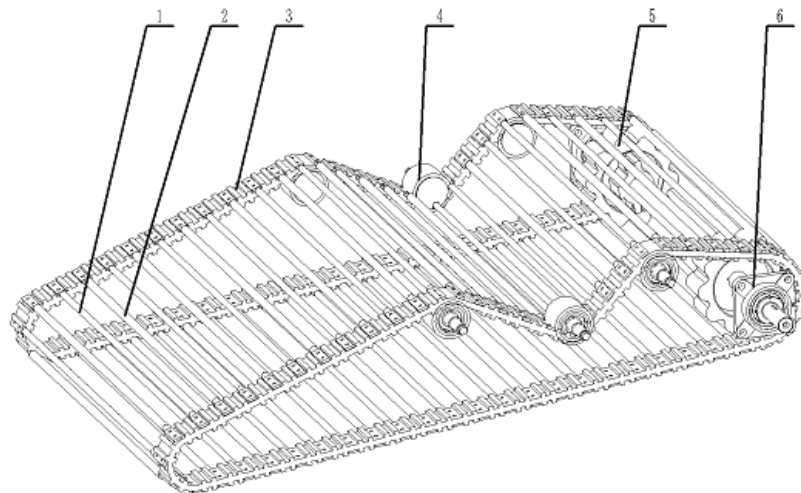
2.3. Структурний дизайн і характеристики руху первинного хвильового пруткового сепаратора

2.3.1. Компонівка системи сепарації ґрунтового вороху

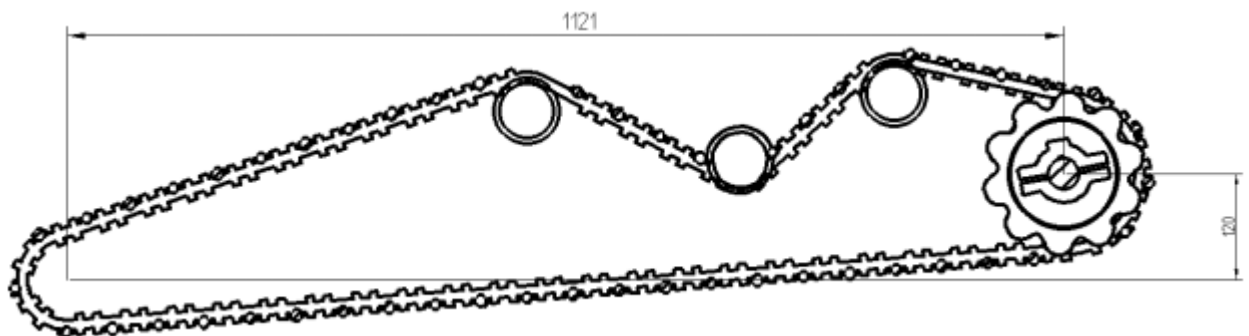
Хвильовий сепаратор картопляно-ґрунтового вороху, описаний у даній роботі, поєднує роботу зміщених хвиль з протилежними хвилями роликів сепараторів, з конфігурацією великих та малих діаметрів прямокутних планок, розташованих почергово. Різниця в діаметрах між великими та малими прямокутними планками становить 8 мм, як показано на рис. 2.2.

Прямокутні планки на хвильовій поверхні сита розташовуються по чергово великими і малими діаметрами, при цьому співвідношення кількості великих та малих планок складає 1:1.

Під час підйому картопляно-грантової суміші великі прямокутні планки забезпечують підтримку та запобігають засміченню, спричиненому зворотним потоком. Під час спуску хвиляста форма змушує картопляно-грунтову суміш постійно котитися та підскакувати, що значно підвищує ефективність сепарації при роботі у важких ґрунтових умовах. Ґрунт, що покриває бульбоплід також надає деякий захист, запобігаючи пошкодженню картоплі від зіткнень з робочими поверхнями. Дана компоновка покращує ефективність сепарації і якість збору, одночасно запобігаючи засміченню та пошкодженню картоплі.



(a) Вид спереду



(b) Вид зверху

Рис. 2.2. Схема хвильового сепаратора картопляного вороху

1 - мала прямокутна планка; 2 - велика прямокутна планка; 3 - ланцюг зубчастий; 4 - колесо натягу ланцюга; 5 – зірочка ведуча; 6 - підшипниковий вузол.

2.4. Аналіз характеристик руху

Довжина підйомної та спускної секцій протилежних хвиль дорівнювала L_1 , горизонтальна довжина - L_d , а кут з горизонтальною лінією - α_1 . Довжина підйомної секції та кут зміщених хвиль були L_2 та α_2 , а довжина спускної секції і кут L_3 та α_3 , горизонтальна довжина — L_p , як показано на рис. 2.3. Ці фактори мали ключове значення для впливу на розламування ґрунтових грудок, рух картоплі та якість збору.

Зміна кута α_2 дозволяла поділити рух картопляно-ґрунтової суміші на два режими: швидкий підйом і повільне спускання, та повільний підйом і швидке спускання [3,5].

Незалежно від режиму, необхідно було забезпечити, щоб картопля не зазнавала зворотного потоку, що могло б спричинити засмічення під час процесу розділення картопляного вороху.

Коли хвильові прямокутні планки працювали на низькій швидкості, вони могли не бути здатні підкидувати картопляно-ґрунтову суміш. На вищих швидкостях, коли вона підкидалася, її початкова швидкість дорівнювала лінійній швидкості прямокутних планок. Проектуючи це на горизонтальну площину, під час перебування всеgmentі L_2 картопляно-ґрунтова суміш здійснювала рівномірний прямолінійний рух. На хвилі суміш підкидалася вгору, спочатку зазнаючи рівномірного сповільнення у вертикальному напрямку до досягнення найвищої точки, а потім рівномірного прискорення до зіткнення з планками. Таким чином, картопляно-ґрунтова суміш здійснювала рівномірний, прискорений прямолінійний рух з певною початковою швидкістю та прискоренням.

Траекторія картопляно-земельної суміші після підкидання і до зіткнення з хвильовими прямокутними планками може бути поділена на три стадії, як показано на рис. 2.4: (1) падіння в секцію спуску зміщеної хвилі; (2) падіння в хвильову западину на перехресті зміщеної та протилежної хвиль; (3) падіння в секцію підйому протилежної хвилі.

Якщо відстань підкидання занадто велика, сила удару між картоплею і прямокутними планками збільшиться під дією сили тяжіння. І навпаки, якщо відстань підкидання занадто мала, ефективність сепарації вороху може значно зменшитися.

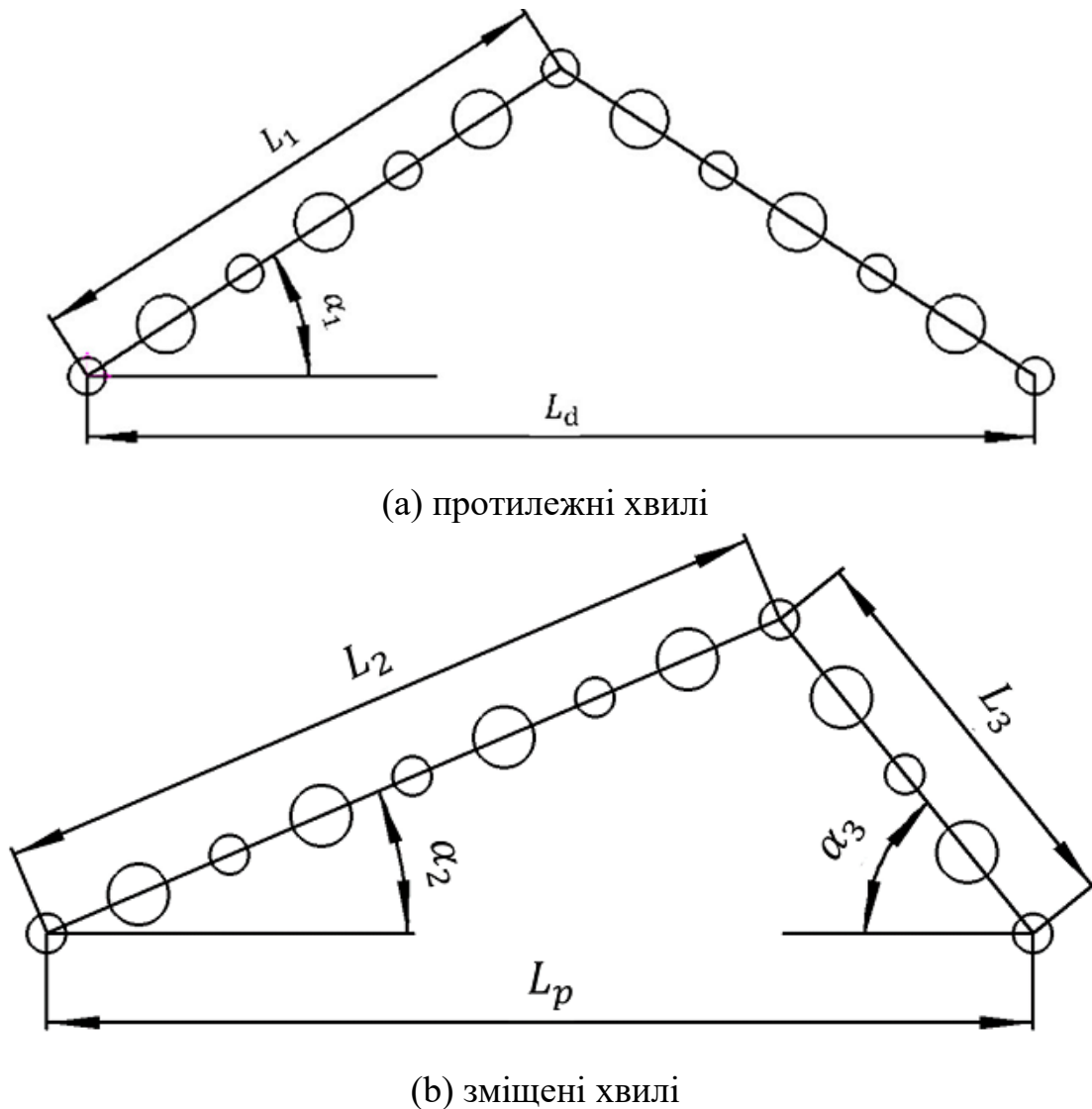


Рис. 2.3. Структурні параметри хвильової поверхні сита

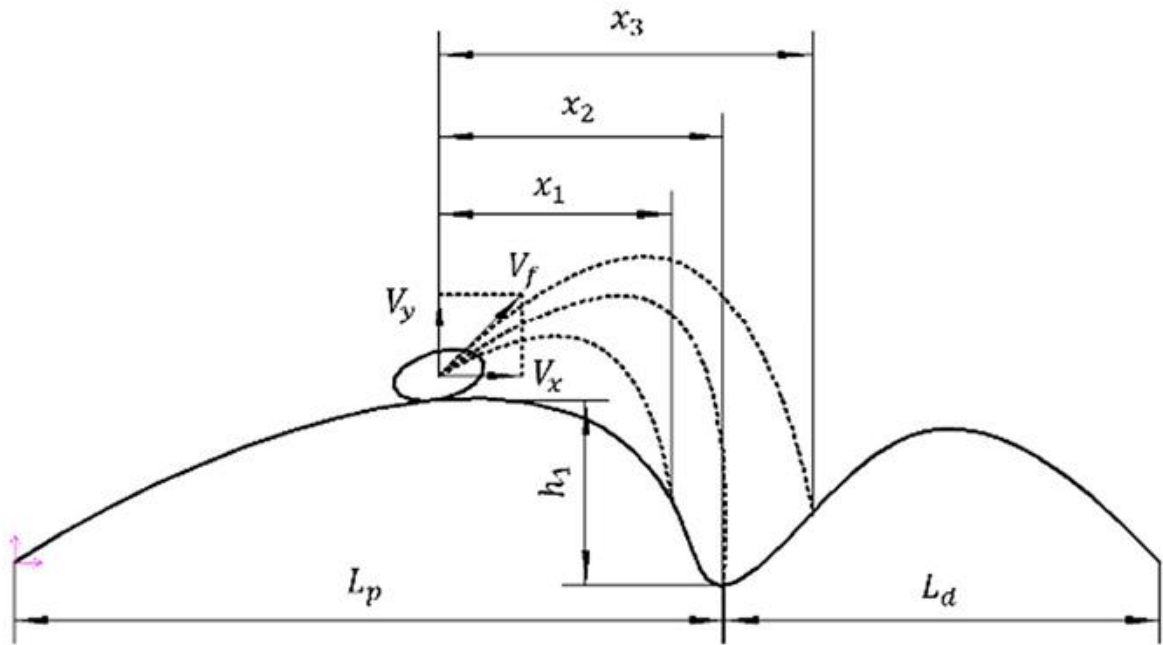


Рис. 2.4. Діаграма траєкторії підкидання картопляно-грунтового вороху та грудок

Як показано на (рис. 2.4.), горизонтальні та вертикальні компоненти лінійної швидкості картопляно-грунтового вороху безпосередньо перед підкиданням можуть бути визначені.

Горизонтальні та вертикальні компоненти швидкості в момент підкидання позначаються V_x та V_y відповідно становлять:

$$V_x = V_f \cos \alpha_2, \quad (2.1)$$

$$V_y = V_f \sin \alpha_2 \quad (2.2)$$

де V_f - лінійна швидкість руху решіткової планки, м/с,

t - час руху після підкидання бульби, с.

Горизонтальні та вертикальні зміщення x і y бульби після підкидання визначаються наступним чином:

$$x = V_f \cos \alpha_2 t, \quad (2.3)$$

$$y = V_f \sin \alpha_2 t - 0,5gt^2, \quad (2.4)$$

коли $V_y = 0$:

тоді

$$V_y^2 - V_0^2 = 2gh_0, \quad (2.6)$$

$$h_0 = \frac{V_f^2 \sin^2 \alpha_2}{2g}, \quad (2.7)$$

h_0 представляє вертикальну відстань від поверхні сита до найвищої точки. Час, потрібний для досягнення бульбою найвищої точки після підкидання, визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{V_f \sin \alpha_2}{g}, \quad (2.8)$$

Коли бульба досягла найвищої точки, вона падала під дією сили тяжіння і зрештою зіткнулася з планкою. Загальна висота падіння h визначається як:

$$h = h_0 + h_f, \quad (2.9)$$

Таким чином, у межах висоти h_0 , відстань підкидання картопляних бульб визначається як:

$$L_x = \frac{V_f^2 \sin^2 \alpha_2}{g}, \quad (2.10)$$

L_x представляє максимальну відстань підкидання картоплі при різних параметрах руху.

Під час фактичного процесу сепарації необхідно раціонально контролювати відстань підкидання, щоб зменшити пошкодження картоплі та покращити якість збору.

2.5. Аналіз характеристик руху у процесі вібраційного сепарування

У цьому дослідженні вібраційний пристрій складається з двох обертових вібраційних коліс. Частота та амплітуда вібрації можуть регулюватися шляхом зміни швидкості обертання та положення центральної осі. Під час сепарації картопляно-грунтової суміш зазнає вертикальних коливань, що сприяє відділенню ґрунтових частинок і домішок.

Частота та амплітуда вібрацій мають тісний зв'язок з ефективністю розділення ґрунту та якістю збору. Важливо дослідити взаємодію між механізмами просіювання ґрунтових частинок, характеристиками руху картоплі та якістю збору, а також визначити критичні умови, за яких бульби картоплі зазнають пошкодження шкірки внаслідок ударів. Це необхідно для наукового та обґрунтованого контролю інтенсивності вібрації під час сепарації ґрунту.

Для підвищення ефективності сепарації ґрунту основними факторами впливу є амплітуда та частота вібрації. Вищі частоти та більші амплітуди покращують ефективність просіювання ґрунтових частинок. За умов важкого та липкого ґрунту грудки більш схильні до розбиття та осипання. Однак надто високі частоти та амплітуди вібрацій збільшують рівень пошкодження картоплі та можуть спричинити зворотний потік, коли бульби картоплі багаторазово зазнають зіткнень.

Ці повторні зіткнення та тертя можуть призводити до динамічних пошкоджень, тангенціального зносу та накопичення втомних пошкоджень бульб картоплі.

Коли картопляно-ґрунтовий ворох рухається по вібраційному ситі, на нього діють не лише власна вага, але й сила реакції та тертя від поверхні сита. Ігноруючи можливу взаємодію з домішками, такими як паростки та бур'яни, рівняння сили для вороху на другій стадії вібраційного розділення виглядає так:

$$F_f - F_g - mg \cdot \sin \alpha_2 = ma_s, \quad (2.11)$$

де:

F_f - сила тертя, Н;

F_g - інерційна сила картопляно-земельної суміші, Н;

m - маса картопляно-ґрунтового вороху, кг;

α_2 - кут між напрямком вібраційного розділення та горизонтальною площиною.

На другій стадії вібраційного розділення картопляно-земельна суміш може рухатися вздовж поверхні сита лише в тому випадку, якщо її прискорення a_s перевищує прискорення a_x , спрямоване вгору, у точці контакту між вібраційним пристроєм і ситом. Формула виражається наступним чином:

$$a_s \geq a_x, \quad (2.12)$$

Таким чином, рівняння руху для картопляно-грунтової суміші вздовж поверхні вібраційного сита виражається як:

$$F_f = \mu_f \cdot F_{N1} = tg\varphi(mg \cdot \cos \alpha_2 + ma_y), \quad (2.13)$$

Де:

μ_f - коефіцієнт тертя між картопляно-грунтовим ворохом і гратчастими прутками,

F_{N1} - реакція опори гратчастих прутків на суміш, Н.

a_y - це прискорення картопляно-грунтової суміші в напрямку, перпендикулярному до поверхні сита, в м/с²,

φ - це кут тертя між бульбами та прутками.

Виходячи з цього, рівняння (2.13) для сили тертя можна записати так:

$$tg\varphi(g \cos \alpha_2 + a_y) - g \sin \alpha_2 \geq a_x, \quad (2.14)$$

На цьому етапі картопляно-грунтовий ворох може рухатися вгору по поверхні сита. Якщо $F_{N1} \geq 0$, то суміш не буде демонструвати стрибковий рух. Коли швидкість вібраційного сита низька, а амплітуда вібраційного пристрою велика при низькій частоті, висота зіткнень і стрибків картопляно-земельної суміші збільшується, що підвищує ймовірність пошкодження картоплі та може викликати явище «відтоку». Цей метод підходить для збору картоплі на важких і липких ґрунтах, які важко відокремити, але вони можуть забезпечити певний захист для бульб картоплі.

З іншого боку, коли швидкість сита низька, амплітуда вібрації мала, а частота висока, кількість зіткнень і стрибків картопляно-земельної суміші збільшується, але висота стрибків зменшується, що знижує ймовірність пошкодження картоплі. Цей

метод підходить для збору картоплі на піщаних ґрунтах з низьким вмістом вологи, що дозволяє швидко зруйнувати ґрунтові грудки.

Вторинний роликовий сепаратор, що сепарує картопляно-ґрунтовий ворох поділяється на чотири зони, кожен з яких складається з малих сепараційних роликів, розташованих у ліво- та праворачіональних конфігураціях. Усього є вісім малих сепараційних роликів. Перший та третій етапи використовують однакові ролики, що дозволяє картоплі рухатися відкритим шляхом. Другий і четвертий етапи також використовують однакові ролики, що дозволяє картоплі рухатися закритим шляхом.

Цей сепаратор, поєднуючи ліво- і правосторонні обертальні сепараційні ролики, може перетворювати лінійний рух картопляно-земельної суміші в неправильний криволінійний рух, коли довжина машини обмежена, для досягнення мети відділення важкого та глинистого ґрунту.

Конкретна структура сепаратора показана на рис. 2.5. Маленькі сепараційні ролики зліва і справа обертаються в протилежних напрямках.

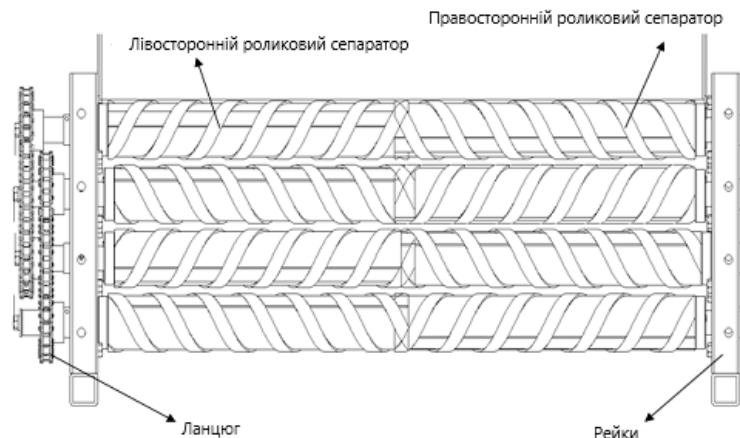


Рис. 2.5. Схема роликового сепаратора вороху

Дана компоновка ефективно запобігає засміченню та проблемам транспортування, викликаним скупченням картоплі з одного боку через рівномірне обертання. Також це забезпечує криволінійний рух картоплі, збільшуючи

ефективну довжину відділення картопляного вороху. Для забезпечення того, щоб картопля не застрягала між двома сепараційними роликами, згідно з існуючими технологіями сепарації з роликовими групами, діаметр сепараційного ролика ставить 72 мм, частота обертання становила 100 об/хв, а відстань між осями сепараційних роликів - 79 мм.

2.6. Висновки до розділу 2.

1. Було спроектовано новий тип сепаратора картоплезбиральної машини, що поєднує вібраційний і валковий механізми розділення. Вібраційний сепаратор інтегрує конструкції з відступними та протилежними хвилями з розставленими планками, а валковий сепаратор використовує поєднання лівого та правого напрямків обертання. Проведено теоретичний аналіз руху картоплі, що дає нові ідеї для проектування картоплекопалок.

2. Дана компоновка ефективно запобігає засміченню та проблемам транспортування, викликаним скупченням картоплі з одного боку через рівномірне обертання. Також це забезпечує криволінійний рух картоплі, збільшуючи ефективну довжину відділення картопляного вороху. Для забезпечення того, щоб картопля не застрягала між двома сепараційними роликами, згідно з існуючими технологіями сепарації з роликовими групами, діаметр сепараційного ролика ставить 72 мм, частота обертання становила 100 об/хв, а відстань між осями сепараційних роликів - 79 мм.

3. Для підвищення ефективності сепарації ґрунту основними факторами впливу є амплітуда та частота вібрації. Вищі частоти та більші амплітуди покращують ефективність просіювання ґрунтових частинок. За умов важкого та липкого ґрунту грудки більш схильні до розбиття та осипання. Однак надто високі частоти та амплітуди вібрацій збільшують рівень пошкодження картоплі та можуть спричинити зворотний потік, коли бульби картоплі багаторазово зазнають зіткнень.

Ці повторні зіткнення та тертя можуть призводити до динамічних пошкоджень, тангенціального зносу та накопичення втомних пошкоджень бульб картоплі.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО СЕПАРАТОРА КАРТОПЛЕВМІСНОГО ВОРОХУ

3.1. Умови експерименту та показники

Експеримент проводився на дослідному полі СТОВ «Старакотельнянське». Середній вміст води в ґрунті становив 20,9%, твердість ґрунту - 1,5 МПа, а щільність ґрунту - 1210 кг/м³. Використовувався сорт картоплі Голландія 15. Оскільки машина була розроблена для роботи в умовах зі складним рельєфом, з підйомами та спусками, було обрано трактор середнього типорозміру потужністю 20-30 кВт. Машина використовувала двоточкову навіску та однотонний комплекс для збирання картоплі з робочою шириною 900 мм. Для забезпечення належної роботи швидкість копання на полі не повинна була бути занадто високою. Робоча швидкість була встановлена в межах 0,5...1 м/с, а глибина викопування регулювалася в межах 150...220 мм. Висота хвилі варіювалася від 150 до 120 мм. Оскільки глибина садіння картоплі становить 50...150 мм, машина була оснащена хвильовим та сепараційним роликівим типом для вторинного розділення ґрунту.

Зображення машини наведено на рис. 3.1.

Польовий експеримент проводився відповідно до норм, визначених у стандарті ДСТУ 1130 - 2006 для техніки для збирання картоплі. Основними показниками ефективності для експерименту були:

$$T_0 = \frac{W_0}{W} \times 100, \quad (3.1)$$

$$T_s = \frac{W_s}{W} \times 100, \quad (3.2)$$

$$T_p = \frac{W_p}{W} \times 100, \quad (3.3)$$

$$W = W_0 + W_\omega + W_m, \quad (3.4)$$

Де:

- T_0 — показник чистоти картоплі (%),
- W_0 — маса чистої картоплі (кг),
- W — загальна маса картоплі (кг),
- T_s — показник пошкодженої картоплі (%),
- W_s — маса пошкодженої картоплі (кг),
- T_p — показник очищення картоплі від ґрунту (%),
- W_p — маса картоплі без ґрунту (кг),
- $W\omega$ — маса пропущеної картоплі (кг),
- Wm — маса картоплі, що залишилася в ґрунті (кг).



Рис. 3.1. Загальний вигляд картоплезбиральної машини

3.2. Структура експерименту

В експериментальній зоні було випадковим чином вибрано кілька невеликих ділянок. Кожна ділянка мала довжину 3 м і ширину, рівну робочій ширині машини. Основні фактори, що впливали на якість збирання, включали: швидкість руху машини, швидкість руху хвилеподібного сепаратора, інтенсивність вібрації та швидкість обертання сепараційних валів. Ці чотири фактори були досліджені, а для кожної ділянки було записано чистоту зібраної картоплі, відсоток пошкодженої

картоплі та ступінь пошкоджуваності. Таблиця з кодами експериментальних факторів наведена у табл. 3.1.

Таблиця. 3.1

Фактори експерименту

| Рівень | Робоча швидкість інструменту, м/см/с | Швидкість руху хвилеподібного сита, м/см/с | Інтенсивність вібрації (рівень) | Швидкість обертання сепараційного вала, об//хв |
|---------------|---|---|--|---|
| 1 | 0.76 | 1.03 | 1 | 60 |
| 2 | 0.945 | 1.59 | 3 | 80 |
| 3 | 1.13 | 2.15 | 5 | 100 |

Ці фактори та рівні були використані для визначення їхнього впливу на основні показники експерименту:

- Чистоту зібраної картоплі (T_0),
- Пошкодження картоплі (T_S),
- Ступінь пошкодження (T_P).

3.3. Результати експерименту та аналіз

Результати експерименту наведено в табл. 3.2., аналіз варіації для рівня чистоти картоплі наведено в табл. 3.3.

Фактори з істотним впливом:

C (інтенсивність вібрації): має дуже значний вплив.

A^2 (квадрат швидкості руху вперед): має дуже значний вплив.

B (швидкість руху хвилеподібного сита): значно впливає.

B^2 (квадрат швидкості руху хвилеподібного сита): значно впливає.

Інші фактори впливу не мають суттєвого значення.

Рівняння регресії для визначення рівня чистоти картоплі:

$$L_1 = 97,78 + 0,0667A + 0,7833B + 2,63C + 0,4417D - 0,3AB + 0,12AC - 0,175AD - 0,275BC + 0,075BD - 0,025CD - 1,77A^2 - 0,9942B^2 - 0,4817C^2 + 0,0433D^2 \quad (3.5)$$

Точні числові коефіцієнти рівняння регресії можна отримати за результатами експерименту.

Таблиця 3.2.

Результати експерименту

| Номер досліджу | Швидкість руху знаряддя (м/с) | Швидкість хвилястої решітки (м/с) | Інтенсивність вібрації (рівень) | Швидкість обертання роликів (об/хв) | Рівень пошкодження шкірки (%) | Рівень пошкодження картоплі (%) | Чистота картоплі (%) |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | 0,945 | 1,03 | 3 | 100 | 97,3 | 1,01 | 0,98 |
| 2 | 0,945 | 1,59 | 3 | 80 | 98,2 | 1,45 | 1,32 |
| 3 | 0,945 | 1,59 | 1 | 60 | 94,5 | 0,94 | 1,15 |
| 4 | 1,13 | 1,03 | 3 | 80 | 93,1 | 0,75 | 0,80 |
| 5 | 0,945 | 1,03 | 1 | 80 | 93,2 | 0,89 | 0,79 |
| 6 | 1,13 | 1,59 | 1 | 80 | 92,5 | 0,62 | 0,59 |
| 7 | 0,945 | 2,15 | 3 | 60 | 96,1 | 1,06 | 1,15 |
| 8 | 0,76 | 1,59 | 3 | 100 | 96,7 | 1,31 | 1,41 |
| 9 | 0,945 | 1,59 | 5 | 60 | 99,4 | 0,93 | 1,03 |
| 10 | 0,76 | 1,59 | 1 | 80 | 92,5 | 0,63 | 0,64 |
| 11 | 0,945 | 1,59 | 3 | 80 | 97,9 | 1,21 | 1,41 |
| 12 | 0,76 | 1,03 | 3 | 80 | 93,4 | 0,77 | 0,74 |
| 13 | 0,945 | 1,59 | 1 | 100 | 94,5 | 0,75 | 0,62 |
| 14 | 0,945 | 1,59 | 3 | 80 | 96,4 | 1,35 | 1,19 |
| 15 | 0,945 | 1,03 | 5 | 80 | 98,7 | 0,71 | 1,01 |
| 16 | 0,945 | 1,59 | 5 | 100 | 99,3 | 0,98 | 1,31 |
| 17 | 0,945 | 2,15 | 1 | 80 | 95,4 | 0,82 | 0,98 |
| 18 | 1,13 | 1,59 | 3 | 100 | 97,5 | 0,84 | 0,81 |
| 19 | 0,945 | 2,15 | 3 | 100 | 97,8 | 0,82 | 0,91 |
| 20 | 1,13 | 1,59 | 5 | 80 | 98,7 | 0,84 | 0,91 |
| 21 | 0,76 | 2,15 | 3 | 80 | 96,8 | 0,71 | 0,64 |
| 22 | 0,945 | 1,59 | 3 | 80 | 98,3 | 1,41 | 1,25 |
| 23 | 1,13 | 2,15 | 3 | 80 | 95,1 | 0,86 | 0,79 |
| 24 | 0,945 | 1,59 | 3 | 80 | 98,1 | 1,48 | 1,31 |
| 25 | 0,76 | 1,59 | 3 | 60 | 95,2 | 0,95 | 0,76 |
| 26 | 0,945 | 1,03 | 3 | 60 | 95,9 | 0,96 | 0,95 |
| 27 | 0,76 | 1,59 | 5 | 80 | 98,2 | 0,81 | 0,79 |
| 28 | 1,13 | 1,59 | 3 | 60 | 96,7 | 1,35 | 1,29 |
| 29 | 0,945 | 2,15 | 5 | 80 | 99,8 | 0,91 | 0,87 |

Ця таблиця відображає результати експерименту для різних умов роботи картоплезбиральної машини.

Таблиця 3.3.

Аналіз дисперсії для чистоти картоплі

| Джерело | Сума квадратів | Ступені свободи | Середній квадрат | F | p | Значущість |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------|--------|---------|---------------------|
| Модель | 118,37 | 14 | 8,45 | 9,19 | <0,0001 | Надзвичайно значуща |
| A | 0,0533 | 1 | 0,0533 | 0,058 | 0,8132 | Незначуща |
| B | 7,36 | 1 | 7,36 | 8,00 | 0,0134 | Значуща |
| C | 82,69 | 1 | 82,69 | 89,85 | <0,0001 | Надзвичайно значуща |
| D | 2,34 | 1 | 2,34 | 2,54 | 0,1331 | Незначуща |
| AB | 0,49 | 1 | 0,49 | 0,5325 | 0,4776 | Незначуща |
| AC | 0,0625 | 1 | 0,0625 | 0,0679 | 0,7982 | Незначуща |
| AD | 0,1225 | 1 | 0,1225 | 0,1331 | 0,7207 | Незначуща |
| BC | 0,3025 | 1 | 0,3025 | 0,3287 | 0,5755 | Незначуща |
| BD | 0,0225 | 1 | 0,0225 | 0,0244 | 0,8780 | Незначуща |
| CD | 0,0025 | 1 | 0,0025 | 0,0027 | 0,9592 | Незначуща |
| A ² | 20,3 | 1 | 20,30 | 22,06 | 0,0003 | Надзвичайно значуща |
| B ² | 6,41 | 1 | 6,41 | 6,97 | 0,0194 | Значуща |
| C ² | 1,5 | 1 | 1,5 | 1,64 | 0,2218 | Незначуща |
| D ² | 0,0122 | 1 | 0,0122 | 0,0132 | 0,9100 | Незначуща |
| Залишки | 12,88 | 14 | 0,9203 | | | |
| Невідповідність | 10,42 | 10 | 1,04 | 1,69 | 0,3239 | Незначуща |
| Похибка | 2,47 | 4 | 0,6170 | | | |
| Сума | 131,25 | 28 | | | | |

Ця таблиця демонструє аналіз дисперсії для визначення факторів, які впливають на чистоту картоплі під час збирання.

Таблиця 3.4.

Аналіз дисперсії для рівня пошкодженої картоплі

| Джерело | Сума квадратів | Ступені свободи | Середній квадрат | F | p | Значущість |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------|--------|---------|---------------------|
| Модель | 1,61 | 14 | 0,1153 | 8,88 | 0,0001 | Надзвичайно значуща |
| A | 0,0005 | 1 | 0,0005 | 0,0411 | 0,8423 | Незначуща |
| B | 0,0007 | 1 | 0,0007 | 0,052 | 0,8229 | Незначуща |
| C | 0,0234 | 1 | 0,0234 | 1,8 | 0,2007 | Незначуща |
| D | 0,0192 | 1 | 0,0192 | 1,48 | 0,2440 | Незначуща |
| AB | 0,0072 | 1 | 0,0072 | 0,5566 | 0,4680 | Незначуща |
| AC | 0,0004 | 1 | 0,0004 | 0,0308 | 0,8632 | Незначуща |
| AD | 0,1892 | 1 | 0,1892 | 14,58 | 0,0019 | Значуща |
| BC | 0,0182 | 1 | 0,0182 | 1,4 | 0,2558 | Незначуща |
| BD | 0,021 | 1 | 0,021 | 1,62 | 0,2239 | Незначуща |
| CD | 0,0144 | 1 | 0,0144 | 1,11 | 0,3101 | Незначуща |
| A ² | 0,47 | 1 | 0,47 | 36,20 | <0,0001 | Надзвичайно значуща |
| B ² | 0,5471 | 1 | 0,5471 | 42,14 | <0,0001 | Надзвичайно значуща |
| C ² | 0,7739 | 1 | 0,7739 | 59,62 | <0,0001 | Надзвичайно значуща |
| D ² | 0,0487 | 1 | 0,0487 | 3,75 | 0,0732 | Незначуща |
| Залишки | 0,1817 | 14 | 0,013 | | | |
| Невідповідність | 0,1361 | 10 | 0,0136 | 1,19 | 0,4682 | Незначуща |
| Чиста помилка | 0,0456 | 4 | 0,0114 | | | |
| Сума | 1,8 | 28 | | | | |

Ця таблиця демонструє аналіз дисперсії для визначення факторів, які впливають на рівень пошкодженої картоплі під час збирання.

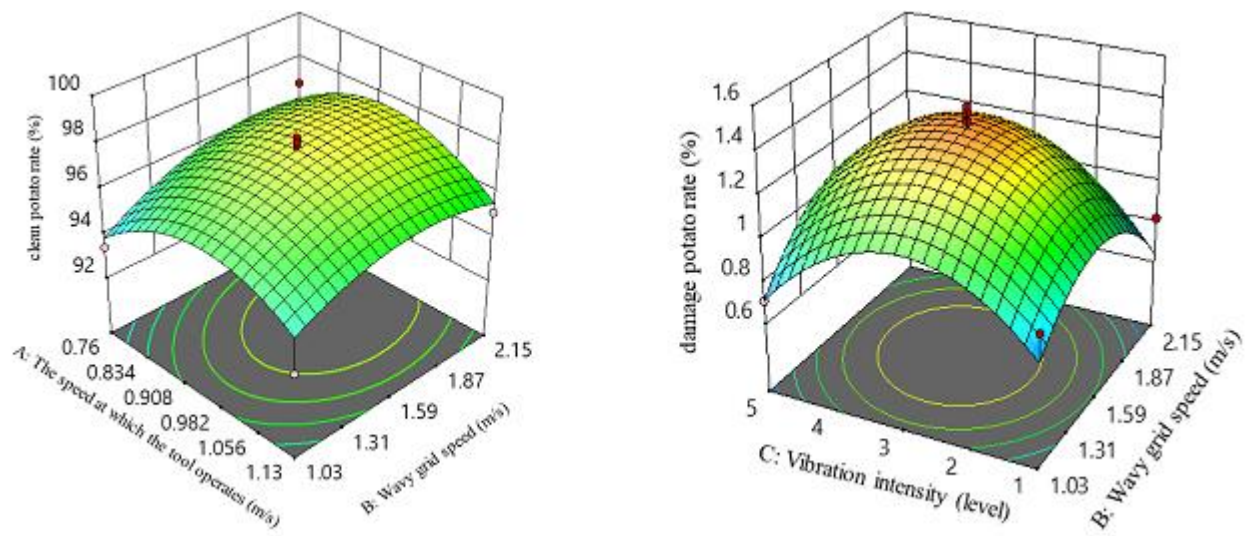
З таблиці 3.4 було встановлено, що фактори AD (взаємодія швидкості руху і швидкості валка), A² (квадрат швидкості руху), B² (квадрат швидкості хвильового екрана) та C² (квадрат інтенсивності вібрації) мали надзвичайно значний вплив на рівень пошкодження картоплі, а рівняння регресії для кожного експериментального фактора на рівень пошкодження картоплі були наступні:

$$L_2 = 1,38 + 0,0067A + 0,0075B + 0,044C - 0,04D + 0,0425AB + 0,01AC - 0,2175AD + 0,0675BC - 0,0725BD + 0,06CD - 0,269A^2 - 0,29B^2 - 0,3454C^2 - 0,0876D^2, \quad (3.6)$$

Експеримент щодо адекватності рівняння регресії показав, що різниця була $p = 0,4682 > 0,1$, і що похибка не була значною, що свідчить про те, що наведене рівняння регресії добре моделює рівень пошкодження картоплі, і що квадратична залежність у рівнянні регресії є значною.

Для визначення, чи є значущі відмінності між середніми значеннями різних експериментальних груп, у експериментальному дослідженні було використано аналіз варіацій (ANOVA). Значення p використовувалося для оцінки того, чи є ці відмінності статистично значущими. У аналізі варіацій для рівня сепарації картоплі, рівня пошкоджених бульб всі рівняння регресії були перевірені на невідповідність. Різниця невідповідності була більшою за 0,1, що вказує на те, що невідповідність не була значущою. Це свідчить про те, що рівняння регресії адекватні, та є значущими, і що результати аналізу є обґрунтованими.

За допомогою програмного забезпечення Design-Expert 13 були створені поверхні відповідуку для аналізу взаємодії різних факторів на рівень чистих картоплин, ступінь пошкоджених картоплин. Поверхні відгуку показані на рис. 3.2.



(a) Рівень чистих картоплин

(b) Рівень пошкоджених картоплин

Рис. 3.2. Поверхні відгуку залежності ступеня сепарації картоплі від швидкості руху хвильового транспортера та рівня вібрації

Відповідні параметри були оптимізовані за допомогою програми ANOVA та аналізу поверхні відповіді. Коли робоча швидкість становила 0,851 м/с, швидкість хвильового транспортера - 2,147 м/с, інтенсивність вібрації - 4,914, а частота обертання роздільних вальців - 60 об/хв, ефект роботи був достатньо хорошим, а якість збору високою. Рівень викопування картоплин міг досягати 98,87%, а ступінь пошкоджених - 0,91%; всі показники відповідали вимогам ДСТУ 2.601:2006. Технічні умови для оцінки якості картоплезбирального комбайна" [11].

Експериментальний майданчик знаходився на експериментальному полі СТОВ «Старакотельнянське». Сорт картоплі був Holland 15, вологість ґрунту становила - 20,9%, ширина захвату - 900 мм, швидкість роботи - 0,5...1 м/с, глибина викопування 150...220 мм.

Дослідження ефективності збирання показали, що проектна модель перевершує традиційні моделі за всіма ключовими показниками ефективності. Рівень сепарації картоплі для проектної моделі зріс на 6,66% порівняно з традиційними моделями, при цьому ступінь пошкоджень та залишалися на рівні близько 1%. Ефективність пристрою для відокремлення картоплі від ґрунту в проектній моделі також показала значне покращення. Під час польових випробувань умови ґрунту було важко контролювати, що призвело до значних випадкових помилок. Однак, у межах допустимої похибки, результати порівняльного тесту свідчать, що машина відповідає вимогам до ефективності при зборі картоплі. Це дослідження надає теоретичну підтримку та технічну основу для подальшої оптимізації картоплезбиральних машин, підвищуючи як ефективність відокремлення картоплі від ґрунту, так і загальну якість збирання.

3.4. Висновки до розділу 3.

1. Ефективність машини була підтверджена за допомогою симуляцій та польових випробувань. Використовуючи такі показники, як ступінь сепарації та рівень пошкодження поверхні, було проведено дисперсійний та рівневий аналіз впливу різних експериментальних факторів при середньому вмісті вологи в ґрунті

20,9%, твердості ґрунту 1,5 МПа та щільності ґрунту 1210 кг/м³. Результати показали, що оптимальна продуктивність та висока якість врожаю досягалися при робочій швидкості 0,851 м/с, швидкості хвильових планок 2,147 м/с, інтенсивності вібрації рівня 4,914 та частоти обертання валкового сепаратора становила 60 об/хв. За цих умов сепарація вороху досягала 98,87%, рівень пошкодження становив 0,91%.

2. Дослідження ефективності збирання показали, що проектна модель перевершує традиційні моделі за всіма ключовими показниками ефективності. Рівень сепарації картоплі для проектної моделі зріс на 6,66% порівняно з традиційними моделями, при цьому ступінь пошкоджень та залишалися на рівні близько 1%. Ефективність пристрою для відокремлення картоплі від ґрунту в проектній моделі також показала значне покращення. Під час польових випробувань умови ґрунту було важко контролювати, що призвело до значних випадкових помилок. Однак, у межах допустимої похибки, результати порівняльного тесту свідчать, що машина відповідає вимогам до ефективності при зборі картоплі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз тенденцій розвитку даного виду техніки показав, що основні тенденції розвитку картоплезбиральних комбайнів (зменшення пошкоджуваності картоплі, підвищення продуктивності) реалізуються в об'єкті розробки. Порівняльний аналіз техніко-економічних показників свідчить, що за основними показниками розроблювальний картоплезбиральний комбайн відповідає аналогічним вітчизняним і закордонним комбайнам. Отже, розроблювальний картоплезбиральний двохрядний напівначіпний комбайн знаходиться на рівні відомих вітчизняних і закордонних аналогів.

2. Було спроектовано новий тип сепаратора картоплезбиральної машини, що поєднує вібраційний і валковий механізми розділення. Дана компоновка ефективно запобігає засміченню та проблемам транспортування, викликаним скупченням картоплі з одного боку через рівномірне обертання.

3. Для забезпечення того, щоб картопля не застрягала між двома сепараційними роликками, згідно з існуючими технологіями сепарації з роликковими групами, діаметр сепараційного ролика ставить 72 мм, частота обертання становила 100 об/хв, а відстань між осями сепараційних роликів - 79 мм.

4. Ефективність машини була підтверджена за допомогою симуляцій та польових випробувань. Використовуючи такі показники, як ступінь сепарації та рівень пошкодження поверхні, було проведено дисперсійний та багаторівневий аналіз впливу різних експериментальних факторів при середньому вмісті вологи в ґрунті 20,9%, твердості ґрунту 1,5 МПа та щільності ґрунту 1210 кг/м³. Результати показали, що оптимальна продуктивність та висока якість врожаю досягалися при робочій швидкості 0,851 м/с, швидкості хвильових планок 2,147 м/с, інтенсивності вібрації рівня 4,914 та частоти обертання валкового сепаратора становила 60 об/хв. За цих умов сепарація вороху досягала 98,87%, рівень пошкодження становив 0,91%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каталог "Сільськогосподарська техніка", т. II ., 1991р.
2. Horst Eichhorn (Hrsg.): Landtechnik. 7. Auflage. Ulmer, Stuttgart 1952/1999, [ISBN 3-8001-1086-5](#).
3. Paul Schweigmann: Die Landmaschinen und ihre Instandhaltung. 1. Auflage. Pfanneberg, Gießen 1955. (Nachdruck durch Bulldog-Press, Limburg a. d. Lahn 1993, [ISBN 3-9803332-1-3](#))
4. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.В. Сільськогосподарські машини. - К.: Врожай, 1993.-492с.
5. Петров Г.Д. Картоплезбиральні машини. Розрахунок і проектування. - М: Машинобудування, 1972. – 392 с.
6. Глухих Б.А. Дослідження з механізації збирання та прибирання картоплі – К.: ІКХ., 2000. – 217 с.
7. Митрофанов В.С. Фізико-механічні властивості картоплі. - К: Машгіз, Т5, 1990.-518 с.
8. Табачук В.Й. Дослідження пошкоджуваності бульб при збиранні. Праці сільськогосподарського інституту Т2. вип.7,1993. – 347 с.
9. Тимофеев А.М. До методики визначення пошкоджень картоплі Залежно від механічних факторів. - К: урожай, Т3, 1996. - 283 с.
10. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. –К.: Каравела, 2008. – 552с.
11. ДСТУ 2.601:2006. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи (ГОСТ 2.601-2006, ІДТ)