

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

Кафедра сільськогосподарських машин та системотехніки
ім. акад. П.М. Василенка
УДК 631.358.44/45

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-
технологічного факультету
професор, д.т.н.

_____ **Братішко В.В.**

“ ” _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувача кафедри
сільськогосподарських машин
та системотехніки
ім. акад. П.М. Василенка
доцент к.т.н.

_____ **Гуменюк Ю.О.**

“ ” _____ 2026 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему “ **Обґрунтування параметрів і режимів роботи сепаруючого
пристрою машини для збирання картоплі** “

Спеціальність Н7 «Агроінженерія»
Магістерська програма дослідницької спеціалізації – Оптимізація процесів,
параметрів і режимів роботи техніки АПК

Гарант освітньої програми:

Доктор технічних наук, . професор _____ **Генадій Голуб**

(підпис)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

к.т.н., доцент _____ **Онищенко Б. В.**

Виконав: студент 2 року навчання,

Мельник Т.О

Київ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
сільськогосподарських машин та
системотехніки ім. акад.
П.М.Василенка
Гуменюк Ю.О.
“ ” 2025 року

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Мельник Тимофій Олександрович

Спеціальність Н7 «Агроінженерія»
Магістерська програма дослідницької спеціалізації – Оптимізація процесів,
параметрів і режимів роботи техніки АПК

**Тема роботи “ Обґрунтування параметрів і режимів роботи
сепаруючого пристрою машини для збирання картоплі ”**

затверджені наказом вищого навчального закладу від 13.11 2024р. №2038 С”
Термін подання студентом роботи 16.05.2026 р.

1. Вихідні дані до роботи Технології збирання картоплі, конструкції технічних засобів для збирання картоплі та їх технічні характеристики
2. Зміст пояснювальної записки (перелік питань які потрібно розробити)
Розділ 1. Огляд зарубіжних та вітчизняних машин. Аналіз конструкцій робочих органів для збирання картоплі.
Розділ 2. Обґрунтування параметрів та режимів роботи машини для збирання картоплі.
Розділ 3. Програма та методика експериментальних досліджень.
Розділ 4. Експериментальні дослідження процесу розподілення і сепарації картопляного вороху.
Розділ 5. Економічний ефект.

Висновки.

Додатки.

Список використаної літератури.

3. Перелік обов'язкових листів презентації:

Слайд 1. Основні технології збирання картоплі.

Слайд 2. Робочі органи машин для збирання картоплі.

Слайд 3. Функціональна схема картоплезбиральної машини

Слайд 4,5,6. Обґрунтування удосконаленого сепаруючого пристрою

Слайд 7,8,9. Дослідження технічних і технологічних параметрів

Слайд 10. Економічний ефект

Слайд 11. Висновки

4. Дата видачі завдання 15.09.2025р.

Керівник магістерської роботи _____ Онищенко Б. В

Завдання прийняв до виконання _____ Мельник Т.О.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РЕФЕРАТ	7
1. Огляд технологій і техніки для збирання картоплі	8
1.1 Аналіз конструкцій картоплезбиральної техніки	8
1.2. Способи сепарації картопляного вороху	13
1.3. Способи руйнування твердих грудкових утворень	18
1.4. Обґрунтування необхідності створення пристрою для сепарації картопляного вороху	19
1.5. Агротехнічні вимоги до машин для копання картоплі	19
Висновки по розділу 1	21
2. Обґрунтування рівномірності розподілення і сепарації картопляного вороху	23
2.1. Обґрунтування технологічного процесу рівномірного розподілення картопляного вороху для сепарації	23
2.2. Кінематичний аналіз роботи розрихлювача-вирівнювача	28
2.3. Енергетична оцінка роботи розрихлювача-вирівнювача	36
Висновки до другого розділу	39
3. Програма та методика експериментальних досліджень	41
3.1. Опис лабораторно-польової установки	42
4. Експериментальні дослідження процесу розподілення і сепарації картопляного вороху	47
4.1. Ефективність сепарації картопляного вороху	47
Висновки до четвертого розділу	57
5. Техніко-економічна ефективність	59
5.1 Розрахунок економічної ефективності застосування комбінованого сепаратора картопляного вороху	66
Загальні висновки	68
Список використаних джерел	72

ВСТУП

Картопля - одна з основних сільськогосподарських культур, що вирощується в Україні, Вона використовується як продукт харчування, цінний корм для тварин та сировина для промисловості. В Україні посівні площі картоплі у 2007 році склали 1453 тис. га, з них 98% припадали на присадибні ділянки населення та дрібні, фермерські господарства, площа яких же перебільшує 10 га. Це складає 17,9 % від загальної площі господарств. Середня урожайність картоплі досягає 131 ц/г [17]. Приведена структура господарств вимагає створення нових, малогабаритних, недорогих конструкцій машин для вирощування і збирання картоплі.

На сьогодні в основному використовуються технології і засоби механізації, ще радянського виробництва або закордонних фірм. Це пояснюється відсутністю нових конструктивних рішень, які могли бути використані при виробництві перспективної техніки [16].

Якість бульб і собівартість виробництва картоплі в значній мірі визначається технологічним процесом збирання, на який припадає майже 45 - 70% всіх затрат [1,3]. З них. 50% - це затрати енергії, що йдуть на сепаруючі робочі органи. Такий розподіл енерговитрат пояснюється тим, що в бульбомісткому шарі ґрунту міститься всього 1,5 — 3 % картоплі [7]; Отже, відділення картоплі від ґрунту призводить до зниження енергозатрат в технологічному процесі, що представляє собою актуальне наукове завдання.

В останній час увага дослідників, що займаються удосконаленням конструкцій картоплезбиральних машин, була зосереджена на створенні пристроїв, які активно діють на підкопаний бульбомісткий шар ґрунту [18], тим самим сприяють його рихленню та інтенсивному просіюванню на сепаруючих пристроях. Але внаслідок ряду недоліків такі пристрої не знайшли широкого застосування на сучасних картоплезбиральних машинах.

Створення нового пристрою для сепарації картопляного вороху, який працюватиме якісно, високопродуктивно, без пошкоджень, незалежно від умов збирання, обґрунтування його параметрів і дослідження процесу сепарації є

актуальною проблемою в галузі механізації сільського господарства і конструювання сільськогосподарських машин для збирання картоплі.

Мета роботи - підвищення якісних та кількісних показників технологічного процесу сепарації картопляного вороху шляхом розробки конструкції та оптимізації параметрів і режимів роботи розрихлювача-вирівнювача картопляного вороху.

Задачі досліджень:

– провести аналіз існуючих способів і пристроїв для сепарації картопляного вороху, вдосконалити їх класифікацію, проаналізувати наукові розробки з дослідження технологічного процесу сепарації та виявити шляхи підвищення його ефективності;

- Обґрунтувати технологічний процес рівномірного розподілення картопляного вороху;
- Встановити залежності впливу для визначення конструктивно-технологічних параметрів запропонованого розрихлювача-вирівнювача на сепарацію, пошкодження бульб, а також енергоємність процесу;
- Провести техніко-економічну оцінку розрихлювача-вирівнювача картопляного вороху.

Об'єкт досліджень – технологічний процес та технічні засоби сепарації картопляного вороху.

Предмет досліджень – визначення закономірності взаємодії розрихлювача-вирівнювача з картопляним ворохом, а також вплив його параметрів і режимів роботи на показники якості сепарації.

Методи досліджень – теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки. Експериментальні дослідження проводились в лабораторно-польових умовах на експериментальному зразку з використанням положень планування багатofакторного експерименту.

РЕФЕРАТ

Основний зміст магістерської роботи викладено на 72 сторінках друкованого тексту і складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, містить 4 таблиць і 31 рисунок.

Матеріали магістерської викладені в наступних розділах:

Розділ 1. Огляд зарубіжних та вітчизняних машин. Аналіз конструкцій робочих органів для збирання картоплі.

Розділ 2. Обґрунтування параметрів та режимів роботи машини для збирання картоплі.

Розділ 3. Програма та методика експериментальних досліджень.

Розділ 4. Експериментальні дослідження процесу розподілення і сепарації картопляного вороху.

Розділ 5. Економічний ефект.

Висновки.

Додатки.

Список використаної літератури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ; КОНСТРУКЦІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ; ПАРАМЕТРИ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ; СЕПАРАЦІЯ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІКИ ДЛЯ ЗБИРАННЯ КАРТОПЛІ

1.1. Аналіз конструкцій картоплезбиральної техніки

Технологічний процес збирання полягає у відділенні бульб картоплі від ґрунту, рослинних домішок, каміння. Так, при урожайності 50 ц/га від кожної тони картоплі, що збирається, необхідно відокремити до 24 тон ґрунту і домішок [15]. Ускладнюється цей технологічний процес необхідністю забезпечити неушкодженість бульб.

Збирання картоплі досить трудомісткий процес, що залежить від багатьох факторів, які істотно впливають на пошкодження картоплі. В багатьох випадках процес збирання залежить від виконання попередніх технологічних операцій, вологості ґрунту урожайності картоплі, технічного стану машин для збирання та інше [1,13,14].

При збиранні, також, слід врахувати час, що відведений на дану технологічну операцію. Занадто раннє збирання призводить до значного пошкодження бульб та погіршення їх якості. Пізнє збирання - підвищує стійкість бульб до пошкоджень, але погодні умови можуть створити серйозні перешкоди для якісного виконання технологічного процесу, оскільки зниження температури може погіршити якість урожаю, а надмірна кількість опадів ускладнює прохід агрегату по полю та сепарацію картопляного вороху [18].

Технологічний процес збирання передбачає наступні операції [3]:

- скошування гички та видалення її із зони копання;
- підкопування бульбомісткого шару ґрунту та подачу його на сепаруючі органи;
- сепарування картопляного вороху, тобто, відокремлення ґрунту, рослинних домішок, каміння від бульб картоплі;
- сортування урожаю картоплі та завантаження його у тару або транспортний засіб.

Виходячи з вищевикладеного для збирання картоплі можна скласти таку функціональну схему машин (рис. 1.1).

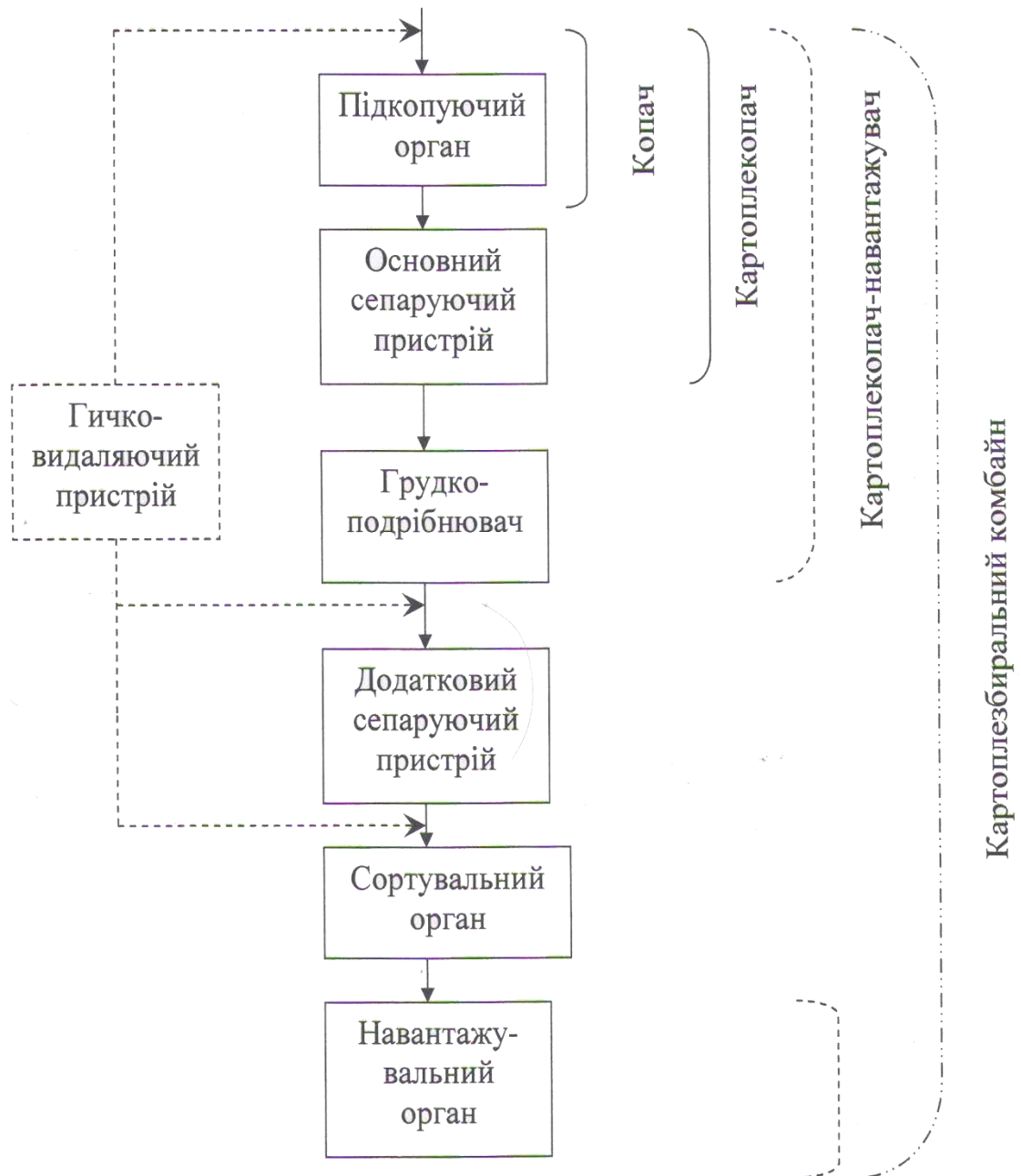


Рис. 1.1. Функціональна схема картоплезбиральної машини

Аналізуючи функціональну схему (рис. 1.1.), можна зробити висновок, що найпримітивнішою машиною для збирання картоплі є копач, що має тільки підкопуючий орган. Як тягову силу для копачів застосовують кінську тягу або

малопотужні трактори [8]. До недоліків копачів можна віднести відсутність сепаруючих пристроїв, що призводить до великих втрат [7].

Картоплекопачі є більш досконалою машиною, оскільки в них присутній сепаруючий орган.

Аналізуючи номенклатуру картоплекопачів можна скласти наступну класифікацію (рис. 1.2.). Велика різноманітність картоплекопачів дозволяє вибрати оптимальну конструкцію залежно від умов копання: типу ґрунту та його вологості, урожайності картоплі, кількості каміння в ґрунті і т.д.

Світовими лідерами з виробництва картоплезбиральної техніки є компанії: німецькі „Grimme”, „Dewulf” та „Holmer”, бельгійська „AVR”, палійські „ІМАС” і „АМАС”, канадська „Thomas”, норвезька „Kvemeland”, американська „Dahlman” та інші [10,13].

На пострадянському просторі провідними заводами, що проектують її виробляють картоплезбиральну техніку є: ВАТ “Борекс”, ВАТ „Львівсільмаш”, ПКБ „Прогрес” (Миколаїв), ВАТ „Ковельсільмаш” [22].

Найдосконалішою машиною для збирання картоплі слід вважати картоплезбиральний комбайн, що виконує практично всі технологічні операції, що пов’язані з процесом збирання (рис. 1.5). Комбайни - технічно складні машини, що мають у своєму складі, як правило, декілька сепаруючих пристроїв, переборочні столи, для здійснення сортування картоплі та гичковиделяючі органи, що конструктивно можуть бути розміщені, як на початку машини, так і в системі сепарування [3]

Виходячи зі статистичних, даних можна зробити висновок про значні площі картоплі у приватному секторі, де площа під картоплю на одному полі не перевищує 5 га [8]. Використання картоплезбиральних комбайнів на площах такого розміру не є ефективним. Також, слід відмітити, що при вирощуванні посадкового матеріалу картоплі не доцільне використання картоплезбиральних комбайнів, оскільки втрати та пошкодженість при їх використанні занадто високі, що впливає на збереженість та, як результат, на появу неякісних сходів та урожайність [1,15,21].

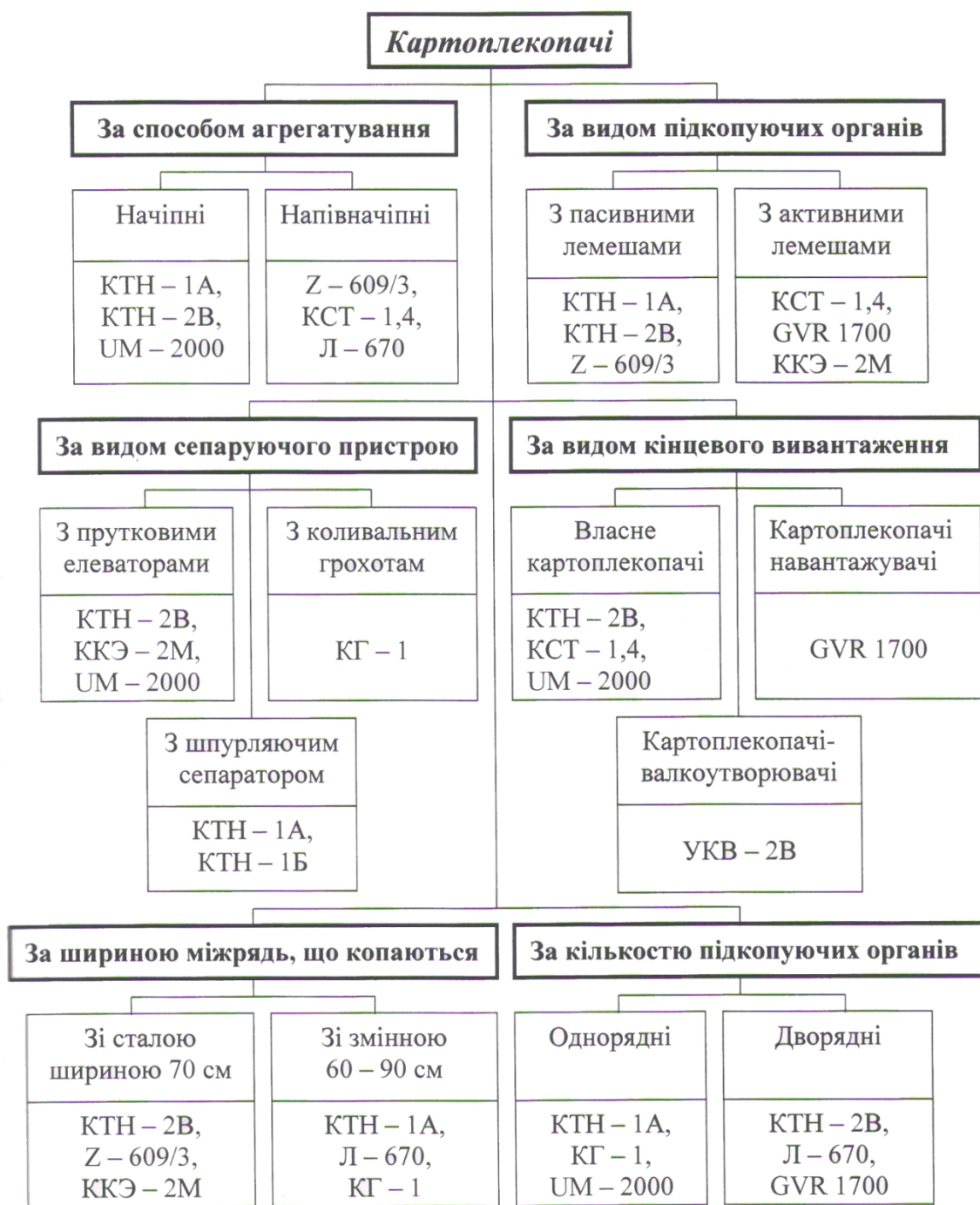


Рис. 1.2. Класифікація картоплекопачів

А тому з утворенням в Україні значної кількості малих фермерських господарств картоплекопачі стали найбільш поширеною технікою для збирання картоплі. Широко представлені в нашій країні картоплекопачі білоруських виробників. Найпоширенішими є: морально застарілі КТН - 2В, КСТ - 1,4, КТН

- 1 А, але їх кількість в Україні досить значна. Більш сучасною машиною є Л-670 (рис. 1.3.), що створена на базі КСТ - 1,4.



Рис. 1.3. Загальний вигляд картоплекопача Л-670

Польська компанія „Агромет-Піонер” пропонує картоплекопачі марок: Z — 649, Z - 609/3.

Німецька компанія „Grimme”, що є лідером виробництва техніки для збирання картоплі у Європі, пропонує картоплекопачі GVR 1700 (рис. 1.6.) та RL 1700.

На присадибних ділянках широкого застосовуються однорядні картоплекопачі шпурляльного типу та грохотного типу.

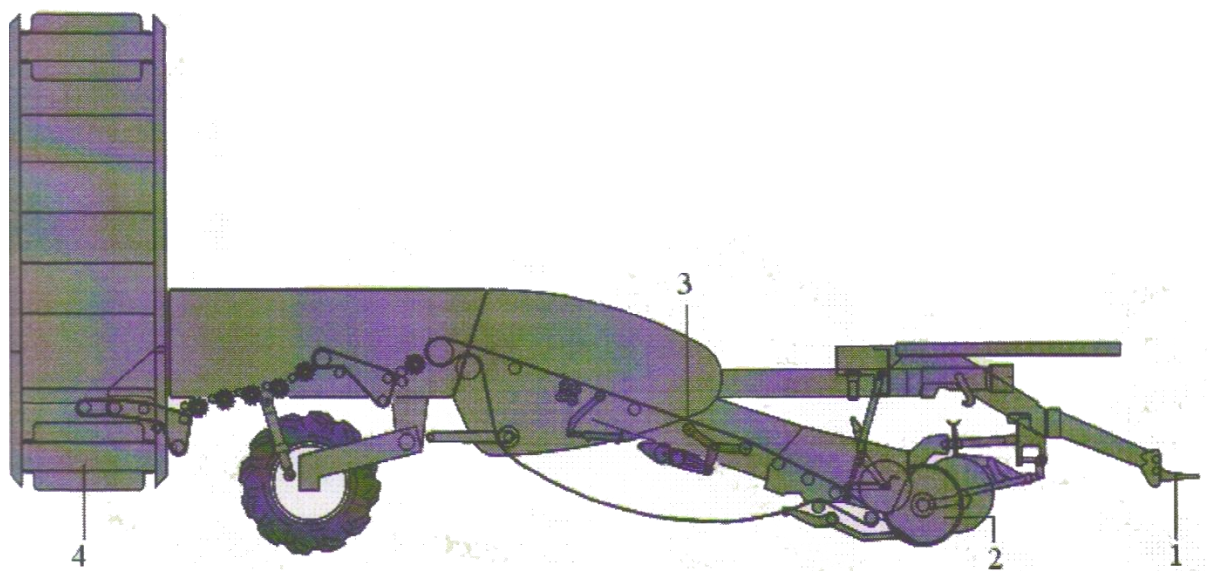


Рис. 1.4. Конструктивна схема картоплекопача-навантажувача GVR 1700 фірми „Grimme”

1 - причіпний пристрій; 2 - підкопувальний пристрій; 3 - основний елеватор;
4 - вивантажувальний пристрій.

Аналіз картоплезбиральної техніки, показує про значну кількість використання картоплекопачів в нашій країні. Найбільш поширеними є напівпричіпні двохрядні картоплекопачі з активними лемешами, прутковими елеваторами у якості сепаруючого робочого органу, що призначені для копання картоплі з міжряддям 70 см. Але недоліком таких машин є присипання картоплі в процесі викопування та пошкодженість бульб, тому виникає потреба у їх вдосконаленні шляхом інтенсифікації сепарації картопляного вороху.

1.2. Способи руйнування твердих грудкових утворень

Над проблемою теоретичного дослідження процесу сепарації картопляного вороху працювали та працюють багато вчених, зокрема

В.П. Горячкин, Г.Д. Петров, М.Е. Мацапура, В.М. Чаус, О.А. Сафразбекян, І.Р. Размислович та ін [23,34,].

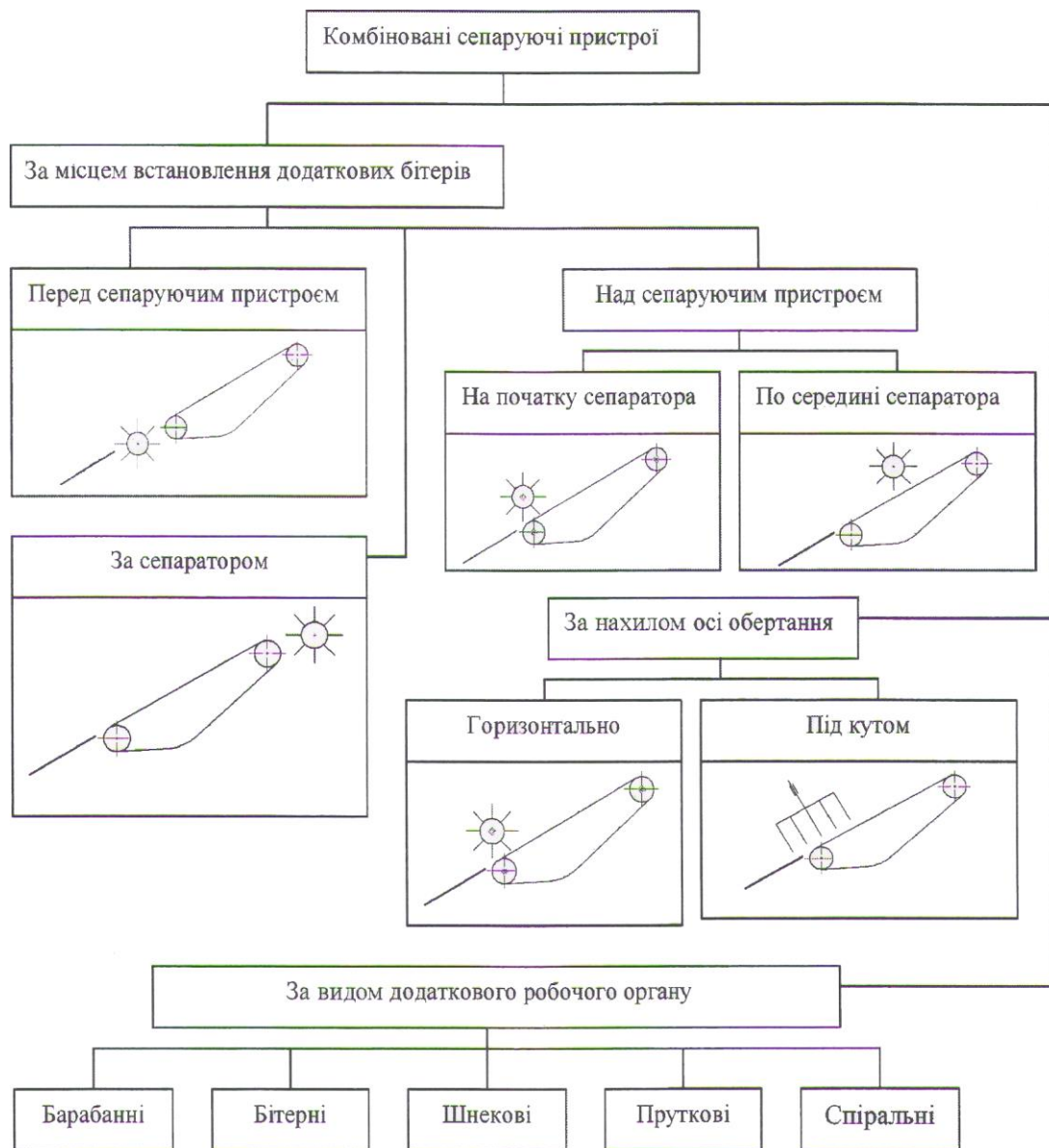


Рис. 1.5. Класифікація комбінованих сепаруючих пристроїв

Більшість вчених працювали над створенням теоретичних основ, що пояснюють процес сепарації та дозволяють визначити основні режими і параметри роботи сепаруючих пристроїв, використовуючи основи теоретичної механіки та технологічних властивостей матеріалів.

Ефективність робочого процесу сепарації визначається його сепаруючою здатністю, яка характеризується коефіцієнтом сепарації T . Найбільш близьким математичним виразом просіювання ґрунту є формула для сепарації на прутковому елеваторі [9]:

$$\eta = \frac{a \cdot L_e}{1 + a \cdot L_e^b}, \quad (1.1)$$

де L_e - довжина елеватора; a - коефіцієнт, що характеризує швидкість просіювання ґрунту в залежності від його фізичного стану; b - коефіцієнт, що залежить від завантаження і місця розташування робочого органу в технологічній схемі.

Таким чином одним з визначальних факторів при визначенні сепаруючої здатності пруткового елеватора є його довжина. О.А. Сафразбекян [16] розглядаючи процес сепарації на прутковому елеваторі за допомогою рівнянь, які характеризують роботу соломотряса, визначив необхідну довжину елеватора:

$$L_e = \frac{1}{\mu} \ln \frac{q_1}{q_2}, \quad (1.2)$$

де q_1, q_2 - маса вороху, що поступає на сепаратор і маса вороху, що сходить із сепаратора; μ — коефіцієнт пропорційності, який залежить від типу робочого органу, його кінематичних і конструктивних параметрів. Так, при оптимальних параметрах пруткового елеватора він складає $0,73 \dots 1,75 \text{ м}^{-1}$, причому менше значення відповідає роботі на супіщаних ґрунтах, більше на суглинистих.

Приділяючи увагу підвищенню сепаруючої здатності картоплезбиральних машин, необхідно звертати увагу на необхідність якісного протікання процесу, тому для оцінки роботи сепаруючих пристроїв використовують загальний коефіцієнт розділення [16]:

$$\xi = 100 - (b_6 + \lambda b_d), \quad (1.3)$$

де b_6 — доля помилково відсортованих бульб, %; b_d - доля помилково відсортованих домішок, %; λ - засміченість вхідного матеріалу, %.

Якісне протікання технологічного процесу сепарації картопляного вороху на всіх видах сепаруючих пристроїв в значній мірі залежить від наявних у воросі твердих грудкових утворень. Цей процес ускладнюється великою

твердістю грудок, однаковими розмірами з бульбами та схильністю картоплі до травмування при контакті з робочими органами машини [15].

В даний час роботи з вирішення цієї проблеми ведуться в двох напрямках: руйнування грудок механічними способами, що дозволяє їх відокремити на сепараторах просіюючого типу, а також створення автоматичних пристроїв, які відділяють тверді грудкові утворення за фізико-механічними властивостями [6].

В сучасних картоплезбиральних машинах застосовують три основні методи руйнування грудок: попереднє руйнування в гребенях, перед початком викопування, шляхом прикочування різними видами катків (рис. 1.13); руйнування грудкових утворень статичним стисненням за допомогою гумових балонів в середині технологічного процесу сепарації (рис. 1.14), а також метод динамічного руйнування, шляхом дії на грудку робочого органу [6,8].

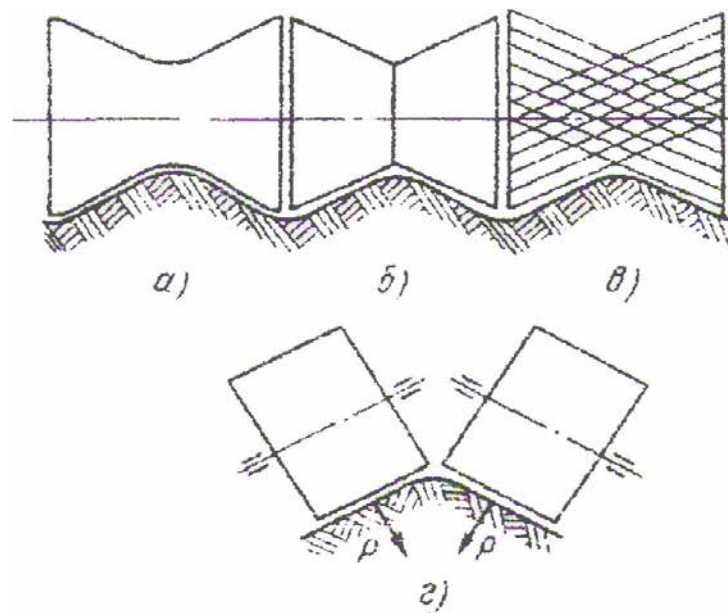


Рис. 1.6. Типи катків для руйнування грудок в гребенях

а - ввігнутий; б - з двох зрізаних конусів; в - прутковий; г - оприсовувальний.

Перші два способи сприяють руйнуванню тільки неміцних грудкових утворень, а в деяких випадках створюють зворотній ефект ущільнення, особливо при підвищеній вологості на важких ґрунтах.

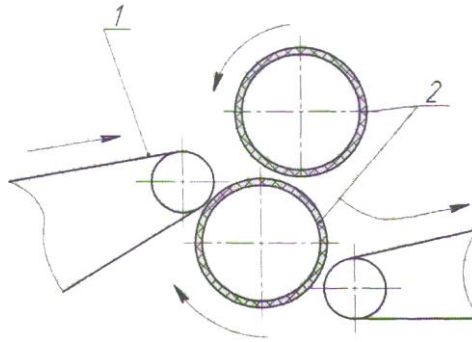


Рис.1.7. Циліндричні вальцеві гумові барабани

1 - швидкісний (подаючий) елеватор; 2 - вальцеві барабани

Третій спосіб найбільш дієвий, але використання його досить обмежене, що пов'язано із пошкодженням бульб, які мають допустиме зусилля співудару до 0,25 кН, а необхідне зусилля для руйнування грудок іноді досягає 0,35 кН, тому даний вид руйнування доцільно застосовувати на початку технологічного процесу сепарації, де спостерігається ефект «грунтової подушки» і удар по бульбі не такий відчутний [67].

Таким чином, можна виділити п'ять основних способів механічного руйнування твердих грудкових утворень (рис. 1.13.) [12].

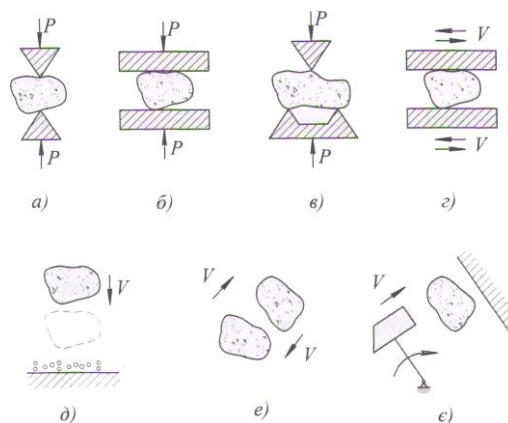


Рис. 1.8. Способи механічного руйнування твердих грудкових утворень

а - розколювання; б - роздавлювання; в - злом; г - стирання; д - удар об тверду поверхню; е - удар між собою; є - удар робочим органом

Кожен вид руйнування заснований на різних видах навантажень, що призводить до руйнування: при розколюванні грудка руйнується на частини в місцях концентрації найбільших навантажень викликаних робочим органом; при роздавлюванні руйнування відбувається під дією статичного навантаження, що викликає напруження стиснення; при зломі в грудковому утворенні виникають згинаючі напруження; при стиранні руйнування відбуваються в основному від напружень зсуву; при ударі під дією динамічних навантажень виникають динамічні напруження, що призводить до руйнування. Удар розділяють вільний та обмежений [7]. Звичайно при обмеженому ударі відбувається краще руйнування грудкових утворень, але це може призвести до пошкодження бульб картоплі.

При руйнуванні твердих грудкових утворень необхідно визначити оптимальну величину ступеню подрібнення, що дає змогу оцінити процес з енергетичної точки зору. В картоплезбиральних машинах оптимальним є забезпечення розміру грудкових утворень після подрібнення, який дозволить їм просіятись через зазори сепаруючих пристроїв, а з іншої точки зору при цьому необхідно забезпечити найменші затрати енергії і максимальну швидкість протікання процесу. Але статичні методи руйнування не дають змогу цього зробити [12].

В. Мельников запропонував формулу для визначення роботи на подрібнення залежно від ступеню подрібнення [12].

Таким чином, для визначення роботи, що затрачається на руйнування твердих грудкових утворень необхідно врахувати їх міцнісні характеристики, а також неможливість чистого протікання процесу.

1.3. Обґрунтування необхідності створення пристрою для сепарації картопляного вороху

Як показав аналіз, на картоплезбиральних машинах в якості сепаруючих пристроїв у 80% використовуються пруткові елеватори.

Таким чином, при використанні пруткових елеваторів виникає необхідність підвищення їх сепаруючої здатності шляхом введення в дію додаткового робочого органу, що дасть змогу підвищити ступінь руйнування твердих грудкових утворень, а також в повній мірі використовувати робочу поверхню елеватора, при цьому необхідно забезпечити збереженість бульб картоплі.

Отже, перед додатковим пристроєм, що буде працювати як розрихлювач-вирівнювач ставляться наступні вимоги:

- забезпечити якісне кришіння пласта, що потрапляє на сепаруючий елеватор, в поперечному напрямку;
- розподілити картопляний ворох рівномірно за шириною елеватора, що дасть змогу в повній мірі використати робочу поверхню останнього;
- зруйнувати тверді грудкові утворення на фракції, що можуть бути просіяні на елеваторі, тобто до розміру 20 мм;
- забезпечити якісне протікання процесу без втрати пропускної спроможності сепаратора і як наслідок підвищення продуктивності картоплезбиральної машини;
- знизити затрати енергії на технологічний процес сепарації, шляхом підвищення інтенсифікації відділення домішок на початкових етапах сепарації;
- забезпечити регулювання розрихлювача-вирівнювача при різних умовах роботи картоплезбиральної машини.

1.4. Агротехнічні вимоги до машин для копання картоплі.

Збереженість бульб картоплі значною мірою залежить від якості збирання [3]. Тому машини для збирання повинні забезпечити якісне збирання при зменшенні пошкодженості бульб картоплі.

Відповідно до [14] для картоплезбиральних машин висувається ряд вимог:

- картоплезбиральні машини повинні бути розраховані на збирання картоплі, що посаджена з міжряддями 60 і 70 см. Крім цього, вони

повинні мати пристрої, що дозволяють використовувати їх при міжряддях 90 см;

- картоплезбиральні машини повинні забезпечувати викопування бульб картоплі з глибини 21 см при ширині бульбових гнізд до 40 см;
- картоплекопач повинен витягати на поверхню поля не менше 95% бульб. При визначенні втрат бульби масою до 20 г на враховуються. Бульби, викопані двохранним копачем просіюючого типу, повинні бути вкладені смугою не більше 1 м;
- при роздільному способі збирання картоплекопачі повинні вкладати викопані бульби у валки з двох, чотирьох або шести рядків; при цьому повинні залишатися проходи для коліс комбайна-підбирача. Товщина шару ґрунту і бульб у валках не повинна перевищувати 10 см. Ширина валка, утвореного з двох викопаних рядків, повинна бути не більше 70 см, а з чотирьох-шести рядків - не більше 90 см;
- при роботі картоплекопачів допускається пошкодження бульб не більше 3% бульб по масі. До пошкоджених відносяться бульби розчавлені, розрізані та надрізані, з тріщинами при довжині по хорді більше 20 мм, з виривами та потемніннями м'якоті від ударів глибиною більше 5 мм і зідраною шкірою в сумі більше ніж ¹/Л поверхні бульби;
- картоплезбиральний комбайн повинен збирати в бункер не менше 97% картоплі. Втрати всіх видів не повинні перевищувати 3%. Чистота картоплі в тарі повинна бути не менше 95%. Кількість механічних пошкоджень бульб всіх видів допускається не більше 12%;
- картоплекопачі доцільно агрегатувати з тракторами класу 0,9 або 1,4. Піднімання та опускання лемешів картоплекопачів повинно здійснюватись за допомогою гідросистеми трактора; однорядні комбайни доцільно агрегатувати з тракторами класу 0,9; 1,4 або 2,0; двохранні - з тракторами 1,4; 3,0;
- підкопуючі органи комбайну повинні добре пристосовуватись до мікрорельєфу поля і забезпечувати рівномірну глибину ходу при різних

заглибленнях. Відхилення глибини ходу лемешів від встановленої допускається не більше ± 2 см;

- робочі органи картоплезбиральних машин повинні мати запобіжні пристрої, що виключають їх поломку при попаданні каміння і інших сторонніх предметів;
- кількість обслуговуючого персоналу для однорядного комбайну повинна бути не більше чотирьох чоловік, а для двохрядного не більше шести (враховуючи робітників, що зайняті на переборочному столі);
- продуктивність двохрядних картоплекопачів за годину змінного часу встановлена не менше 0,4 га, а картоплезбиральних комбайнів не менше 0,15 га на кожен рядок;
- строк служби картоплезбиральних машин повинен бути не менше 7 років. Без заміни швидкозношуваних деталей картоплекопачі повинні працювати не менше 100 га, а комбайни не менше 50 га;
- при роздільному способі збирання картоплезбиральний комбайн з підбираючим пристроєм повинен збирати з валка, що утворений копачем-валкоутворювачем з двох або чотирьох - шести рядків, не менше 95% бульб. Продуктивність комбайна за годину змінного часу при підборі валка, утвореного з двох рядків повинна бути не менше 0,3 га, з чотирьох рядків - 0,6 га, з шести - 0,9 га;

Висновки по розділу 1.

Проаналізувавши існуючі конструкції сепараторів картопляного вороху можна зробити наступні висновки:

1. Можливість використання тієї чи іншої конструкції сепараторів картопляного вороху в значній мірі залежить від типу ґрунту, вмісту в ґрунті домішок, вологості та біологічної стиглості бульб.
2. Використання сепараторів, що розділяють ворох на фракції, залежно від геометричних розмірів є найбільш поширеним та задовольняє більшість агротехнічних вимог при нормальних умовах збирання картоплі.

3. Основними робочими органами для сепарації картопляного вороху є сепаратори просіюючого типу. Прутковий елеватор є найбільш розповсюдженим робочим органом такого типу, що обумовлюється простотою конструкції.
4. Для поліпшення роботи пруткових елеваторів застосовуються декілька шляхів: використанням сил інерції, струшуванням робочих частин, введенням додаткового транспортуючого елемента або встановленням додаткових пристроїв.
5. Основним недоліком роботи пруткових елеваторів є: швидкий знос деталей, що труться в абразивному середовищі, забивання та поломки при роботі на кам'янистих ґрунтах, неповне використання робочої поверхні сепаратора, неякісне руйнування твердих грудкових утворень.

2. ОБГРУНТУВАННЯ РІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛЕННЯ І СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

2.1 Обґрунтування технологічного процесу рівномірного розподілення картопляного вороху для сепарації

Одним з основних завдань при обробці потоку картопляного вороху є рівномірне його розподілення по ширині захвату елеватора. Це відкриває можливість використання повної його площі, а значить отримання максимальної продуктивності і якості сепарації.

Технологічний процес роботи сепаратора полягає в наступному. При русі машини леміш 2 (рис. 2.1), що встановлений на відповідну глибину копання, підрізає рядок і спрямовує скибу на сепаруючий прутковий елеватор 3. При [одночасній обробці двох рядків лемеші встановлені один від одного на відстані ширини міжрядь рядків картоплі і картопляний ворох потрапляє на сепаруючий елеватор у вигляді двох скиб, розміщених одна від одної на цій відстані. Таким чином, центральна і бокові площі поверхні елеватора фактично залишаються незадіяними в процесі сепарації.

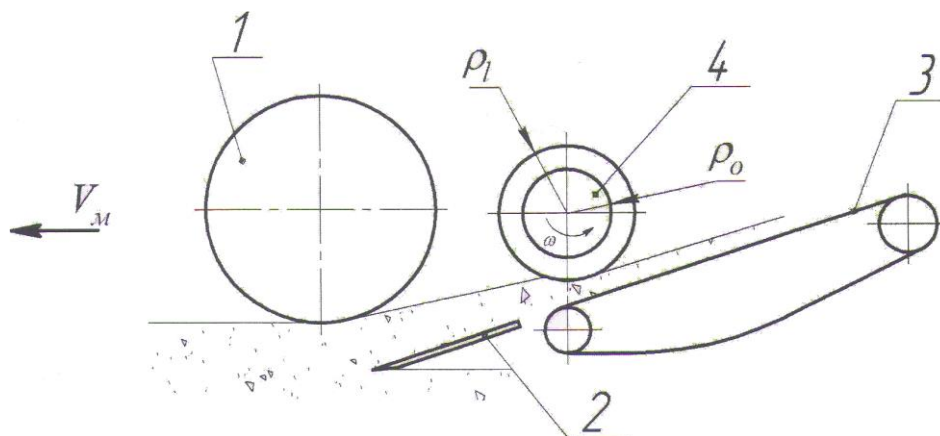


Рис. 2.1. Схема встановлення розрихлювача-вирівнювача

- 1 - опорне колесо, 2 - підкопуючий леміш, 3- транспортер-сепаратор,
4 - розрихлювач-вирівнювач

Для усунення цього недоліку доцільно ввести додатковий активний робочий орган у вигляді розрихлювача-вирівнювача (поз. 4, рис. 2.1), який,

згідно виконуємого технологічного процесу, повинен знаходитись на початку сепаруючого елеватора 3.

Крім цього, розрихлювач-вирівнювач здійснює руйнування ґрунтових утворень, а запропоноване його розміщення, як уже зазначалось в розділі 1.3, забезпечить ефект «ґрунтової подушки».

Ідея вирівнювання скиби ґрунту полягає у його рівномірному розподіленні по ширині сепаруючого елеватора.

$$h_o = \frac{h^2}{(H-l)tg\alpha + 2h}. \quad (2.1)$$

Очевидно, що товщина шару h_o , що формується розрихлювачем-вирівнювачем і подається на сепаруючий елеватор повинна мати максимальний намір самої великої картоплини з додатковими технологічними припусками на відсутність забивання робочого органу. Це відкриває можливість, задавшись доцільним значенням розміру товщини шару h_o , знайти необхідну ширину транспортера H . Тоді, загальна висота шару скиби h залежить від вибраної продуктивності машини.

Визначаємо ширину транспортера-сепаратора, що забезпечує безперебійний технологічний процес роботи.

$$H = \frac{h^2 - 2hh_o}{h_o tg\alpha} + l. \quad (2.2)$$

Визначення можливої мінімальної ширини транспортера дає:

$$\frac{dH}{dh} = \frac{1}{h_o tg\alpha} (2h^2 - 2h_o) = 0. \quad (2.3)$$

Звідкіля H_{min} досягається, коли $h = h_o$, тобто коли з самого початку скиба вороху розкладається шаром необхідної товщини h_o для подальшої ефективної сепарації.

Зі збільшенням товщини шару H ширина транспортера-сепаратора нелінійно та інтенсивно зростає (рис. 2.2).

Область значень, коли $h < h_0$ немає практичної реалізації, так як не відповідає фізичній сутності поставленої задачі, коли мінімальний розкладаємий на транспортері шар вороху повинен мати граничну кінцеву величину h_0 , обумовлену геометричними розмірами бульб картоплі. Однак, для обґрунтування раціональних параметрів розрихлювача-вирівнювача визначимо вплив кінцевої товщини шару h_0 на робочу ширину транспортера H (рис.2.2).

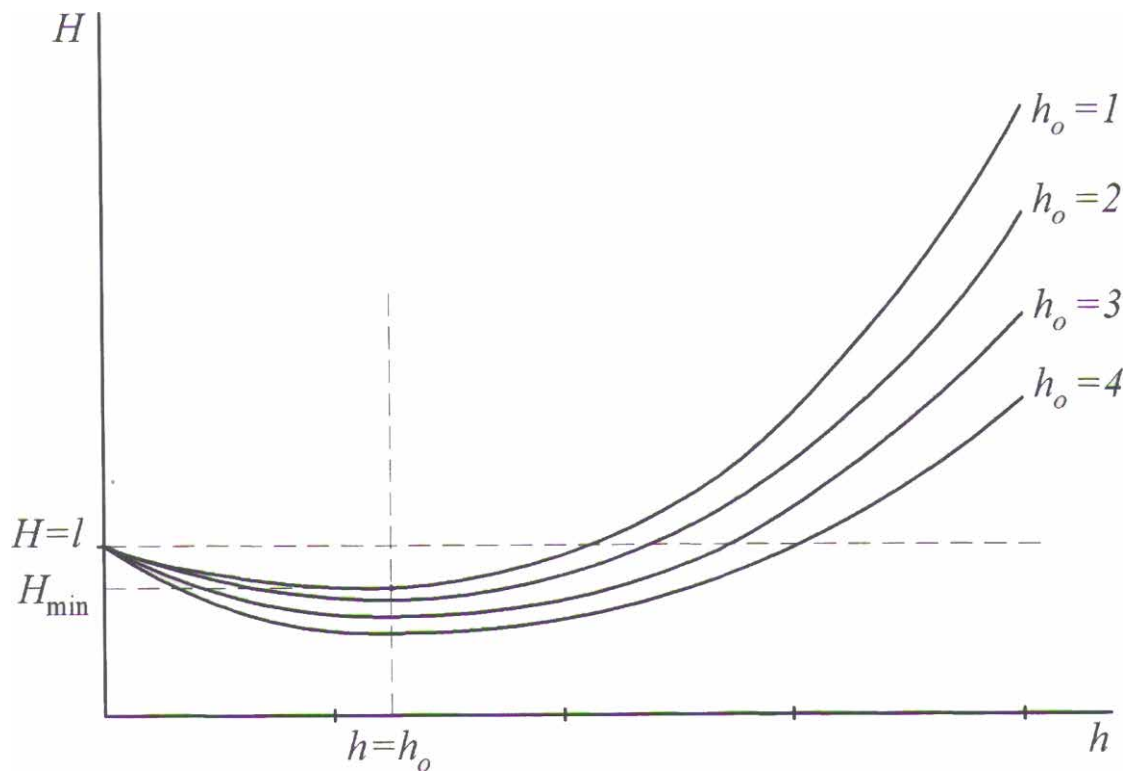


Рис. 2.2. Залежність зміни ширини транспортера-сепаратора H від висоти скиби вороха h .

Якісний аналіз показує, що збільшення товщини шару h_0 принципово не змінює загального вигляду кривої, але призводить до зниження ширини H . Це природно, оскільки для укладання одного і того ж об'єму вороху з більшою кінцевою товщиною \ потрібно менша загальна ширина транспортера-сепаратора.

Таким чином, організація технологічного процесу переміщення ґрунто-картопляної суміші для подальшої сепарації передбачає фактично створення конструкції диференціального розподільювача-вирівнювача. Він має безумовні переваги стосовно досягнення необхідної рівномірності розподілу суміші.

Представлена теорія допускає конструктивну реалізацію парних робочих органів з $2, 4, 6 \dots n$ робочими елементами. Безумовно збільшення кількості елементів ускладнює конструкцію, але відкриває можливість досягнення більшої рівномірності розподілення вороху на стрічці транспортера-сепаратора. Очевидно, що переміщення шарів вороху на сторони при обертотому русі робочого органу спряжене з необхідністю встановлення робочих елементів під деяким кутом до осі вала обертання.

Найпростішою конструктивною реалізацією розрихлювача-вирівнювача може бути дволопатевий робочий орган, що працює на повну глибину захвату скиби. Схема такого робочого органу представлена на рис.2.3.

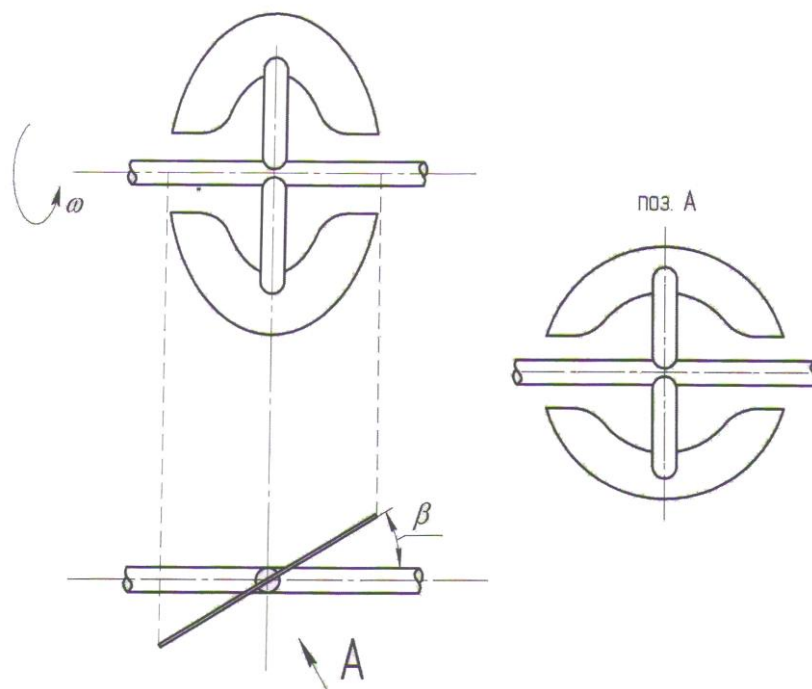


Рис. 2.3. Схема дволопатевого робочого органу розрихлювача- вирівнювача двосторонньої дії

Лопаті зміщені одна відносно одної на 180° і при обертанні валу по чергово взаємодіють зі скибою відокремлюючи на сторони захвачені ними частини. Конструктивно лопаті можуть бути виконані по різному в тому числі і у вигляді суцільного диска, косо поставленого на валу обертання під кутом β (рис. 2.3).

З урахуванням проведеного огляду і аналізу існуючих конструкцій транспортерів-сепараторів картоплезбиральних машин (розділ 1) існують варіанти їх рішень, коли привід пруткового елеватора здійснюється по боковим сторонам транспортерної стрічки. Доцільним в таких випадках стає розподілення скиби вороху не на два боки відносно її центру, а на один - в середину транспортера. Дане рішення обумовлене необхідністю не направляти ґрунто-картопляну суміш в крайні зони стрічки, де працюють елементи приводу транспортера, щоб не ускладнювати його роботу.

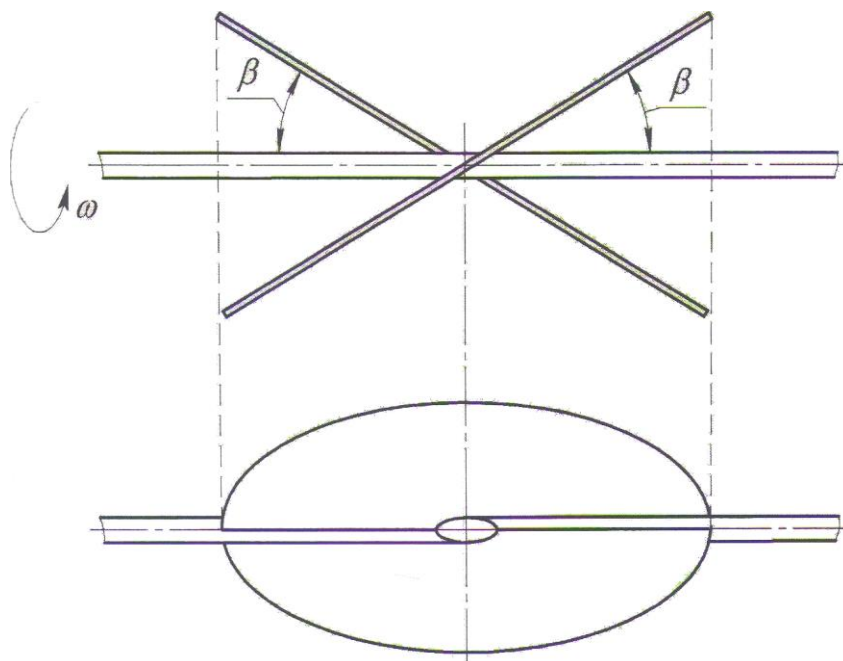


Рис.2.4. Схема дволопатевого робочого органу розрихлювача-вирівнювача односторонньої дії

В даному технічному рішенні робочий орган складається з двох елементів (напівдисків) закріплених на загальному валу. Диски встановлені під кутом β в зустрічних напрямках з кутових інтервалом 180° . Можливі рішення робочих органів і з більшою кількістю робочих елементів (дисків лопатей). Як і в попередньому технічному рішенні робочого органу двосторонньої дії (рис.2.4) збільшення кількості парних лопатей сприяє покращенню розподілення картопляного вороху на стрічці транспортера-сепаратора.

При обертанні робочого органу даної конструкції лопаті почергово взаємодіють із скибою вороху переміщуючи захвачений шар маси в одному і тому ж напрямку від периферії (зони приводу) стрічки до її центру. При цьому скиба рівномірно розподіляється по ширині транспортера-сепаратора заданою товщиною h_0 .

2.2. Кінематичний аналіз роботи розрихлювача-вирівнювача

Призначенням робочих елементів розрихлювача-вирівнювача є така взаємодія з ґрунто-картопляною сумішшю, при якій можна було б відокремлювати частину скиби і змішувати її по боках формуючи рівний шар по всій ширині транспортера-сепаратора. Для кінематичного аналізу роботи вирівнювача розглянемо рух частинки (бульби) з якою взаємодіє робочий елемент при виконанні технологічного процесу.

Схема роботи вирівнювача представлена на рис. 2.5.

Абсолютне переміщення частинки в просторі під дією робочої поверхні лопаті складається з переносного руху, що отримує частинка разом з машиною і відносного в переміщенні частинки по поверхні лопаті.

Для просторового аналізу переміщень введемо дві системи координат: нерухому x, y, z і рухому x_1, y_1, z_1 , що переміщується разом з робочим органом. Тоді, в розкладі по координатам загальне переміщення частинки можна визначити рівняннями слідкуючої системи:

$$\begin{cases} x_a = x_n + x_e; \\ y_a = y_n + y_e; \\ z_a = z_n + z_e. \end{cases} \quad (2.4)$$

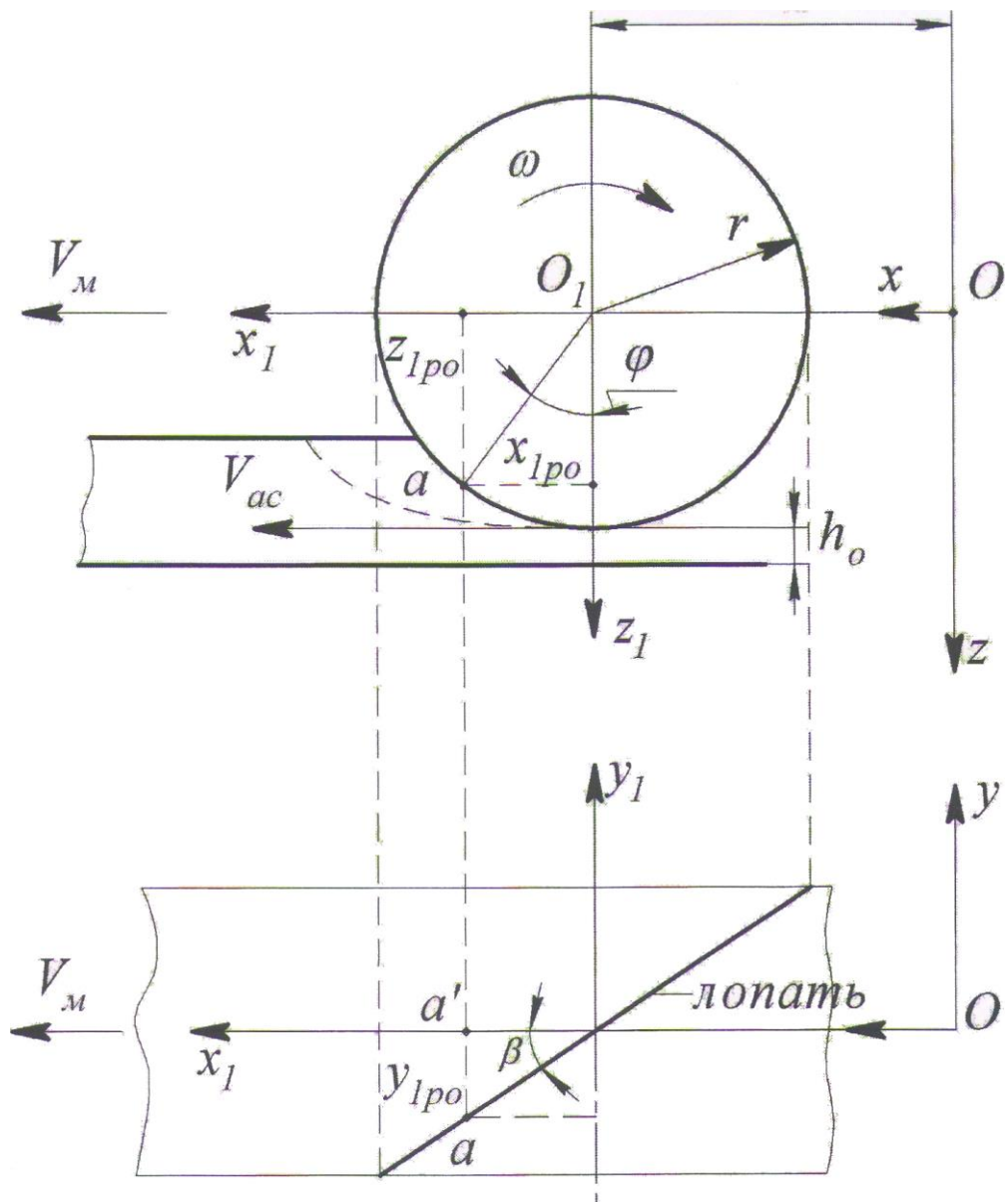


Рис. 2.5. Схема для проведення кінематичного аналізу роботи розрихлювача-вирівнювача

В дослідженні при визначенні руху прийняті наступні обмеження і припущення:

1. Частинка скиби представляється матеріальним тілом з незначними у порівнянні з робочим органом геометричними параметрами, величиною яких можна знехтувати;
2. В своєму переміщенні частинка в основному рухається поступально. Обертовий рух в складі потоку з іншими частинками практично відсутній.
3. Взаємодією частинки » іншими суміжними частинками можна знехтувати.

В довільний момент часу t в довільному перерізі частинка, що знаходиться на робочій поверхні на відстані r від осі робочого органу має наступні переносні переміщення.

Якщо прийняти за початок переміщення шлях пройдений від центра O (рис. 2.5), то переносне переміщення разом з машиною вздовж осі Ox складає:

$$X_{n.m} = V_m \cdot t, \quad (2.5)$$

де V_m - швидкість переміщення картоплезбиральної машини.

За цей же період переносне переміщення по осі Ox за рахунок дії активного робочого органу розрихлювача-вирівнювача дорівнює:

$$X_{n.p.o.} = X_{1.p.o.} = r \cdot \sin(\omega t). \quad (2.6)$$

У вертикальному напрямку по осі Oz маємо:

$$Z_{n.m} = 0;$$

$$Z_{n.p.o.} = Z_{1.p.o.} = r \cdot \cos(\omega t).$$

В поперечному напрямку вдовж осі Oy запишемо:

$$Y_{n.m} = 0;$$

$$Y_{n.p.o.} = Y_{1.p.o.} = 0.$$

У відносному русі частинки по поверхні робочого органу можна вважати, по переміщення у вертикальній площині вдовж осей Ox_I , і Oz_I , незначні. Тобто, частинка за рахунок зчеплення з поверхнею повністю розділяє рух робочого органу в цих напрямках. Тоді:

$$x_{\epsilon} = x_{1O} = 0;$$

$$z_{\epsilon} = z_{1O} = 0$$

і тільки в напрямку осі Oy_I при відповідному куті нахилу робочої поверхні β буде відчутніше переміщення по сторонах, яке і забезпечує необхідне розподілення ґрунто-картопляної суміші.

$$y_{\epsilon} = y_{1O} = \operatorname{tg} \beta \cdot x_{n.p.o.} = \operatorname{tg} \beta \cdot r \cdot \sin(\omega t).$$

Таким чином, виявлені всі складові переміщення частинки при взаємодії з робочим органом. Звертає на себе увагу те, що переносне переміщення

складається з двох частин: переміщення машини і переміщення активного робочого органу при його обертотому русі.

$$\begin{cases} x_a = V_m \cdot t + r \cdot \sin(\omega t); \\ z_a = r \cdot \cos(\omega t). \end{cases} \quad (2.7)$$

В загальному випадку це є циклоїда, форма якої залежить від співвідношення поступальної швидкості машини і лінійної швидкості робочого органу:

$$\lambda = \frac{r \cdot \omega}{V_m}. \quad (2.8)$$

Однак, для робочого органу розрихлювача-вирівнювача величина кінематичного параметру λ не має вирішального значення, так як робочий процес захвату і переміщення частини скиби відбувається на витягнутій ділянці траєкторії (протилежній миттєвому центру швидкостей)» Безумовно форма кривої (її кривизна) впливає на ефективність підбору і відокремлення частини скиби, але більш важливим в цьому випадку є визначення абсолютної швидкості взаємодії робочого органу з бульбами картоплі для запобігання їх пошкоджень.

Згідно результатів досліджень представлених в роботах [4,5,9,19] величина кута встановлення γ при складних траєкторіях руху робочих органів визначається відношенням вертикальної швидкості переміщення до горизонтальної. Тобто, предметно до розглянутої задачі можна записати:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{V_{za}}{V_{xa}} \quad (2.9)$$

Підставляючи значення швидкостей з рівняння (2.14) у співвідношення маємо:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{-r \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)}{V_m + r \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)}. \quad (2.10)$$

З урахуванням (2.10) отримаємо:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{-\omega \cdot r \cdot \sin \varphi}{V_m + r \cdot \omega \cdot \cos \varphi}. \quad (2.11)$$

Очевидно, що на початку руху, коли $\varphi = 0$ кут встановлення також дорівнює $\gamma = 0$.

Виходячи з формули (2.11) кут встановлення постійно збільшується зі збільшенням кута повороту робочого органу і досягає свого максимуму, коли робочий елемент виходить з маси скиби, тобто коли $\varphi = \varphi_{\text{вих}}$. Значення кута виходу можна знайти згідно представленої схеми (рис. 2.6).

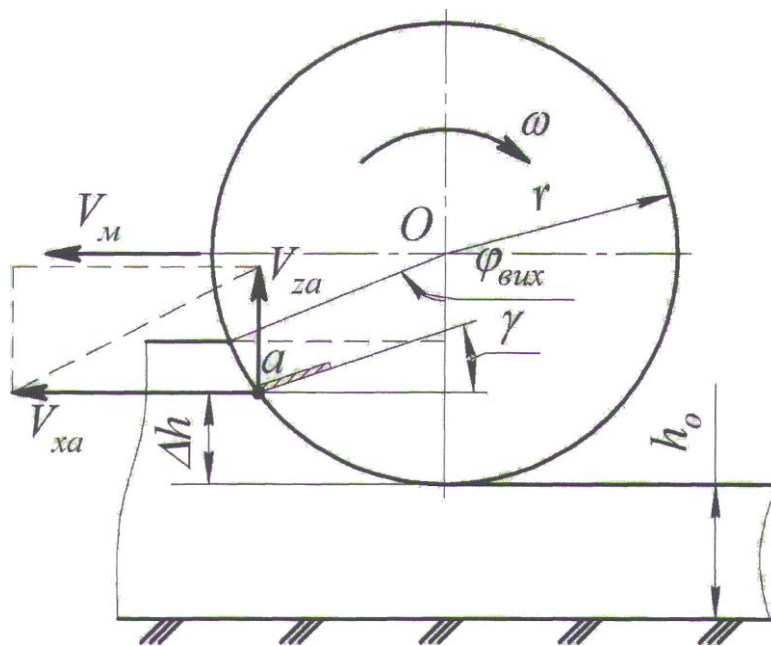


Рис. 2.6. Схема для визначення кута встановлення робочого елемента розрихлювача-вирівнювача

Величина кута виходу $\varphi_{\text{вих}}$ буде дорівнювати:

$$\frac{r - \Delta h}{r} = \cos \varphi_{\text{вих}}$$

$$\varphi_{\text{вих}} = \arccos \left(\frac{r - \Delta h}{r} \right). \quad (2.12)$$

В кінцевому вигляді:

$$\gamma_{\max} = \arctg \left(\frac{\omega \cdot r \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r - \Delta h}{r} \right)^2}}{V_m + r \cdot \omega \cdot \frac{r - \Delta h}{r}} \right). \quad (2.13)$$

Вплив основних конструктивних параметрів робочого органу на величину кута встановлення може бути виявлений на основі якісного аналізу отриманої формули (2.13). Важливим параметром, що може змінюватись і входить у формулу, є товщина знімаємого шару Δh . Залежність кута встановлення від зміни товщини шару представлена графіком на рис 2.7 (крива 1).

Як видно з графіка залежність має нелінійний характер. При загальному збільшенні кута встановлення з ростом товщини знімаємого шару, спостерігається поступове зниження приросту величини кута установки. У всьому інтервалі зміни товщин шару величина кута встановлення змінюється практично у 2 рази з 16° до 33° . Зважаючи на те, що приведені дані відносяться до максимальних значень кута встановлення на виході робочого елемента з маси вороху, природньо, що на інших ділянках робочого циклу, умова незатирання задньої поверхні робочого елемента «зрізом» моноліту скиби, тим більше задовольнятиметься.

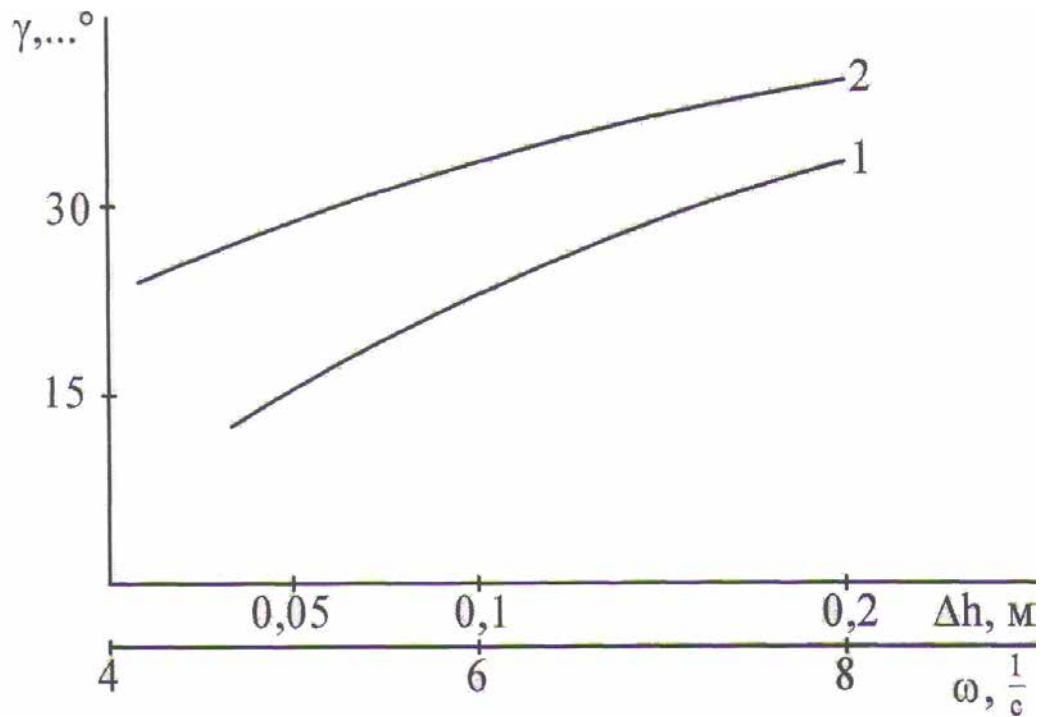


Рис. 2.7. Залежність кута встановлення γ від товщини знімаемого шару скиби Δh (крива 1) та від кутової швидкості обертання робочого органу ω (крива 2); ($r = 0,3$ м; $V_m = 2$ м/с).

Принциповим згідно проведеного аналізу є те, що ідеальному входженню в масу відповідає робочий елемент зі змінним кутом встановлення, який міняється від $\gamma = 0^\circ$ при $\varphi = 0^\circ$ до $\gamma = \gamma_{max}$ при $\varphi = \varphi_{max}$. Це вказує на доцільність використання робочого елемента з криволінійним профілем, в будь-якій точці контакту якого з монолітом скиби виконується умова:

$$\gamma = \arctg \frac{V_z}{V_x}. \quad (2.14)$$

Загальне схематичне зображення такої можливої геометрії робочого органу показано на рис. 2.8.

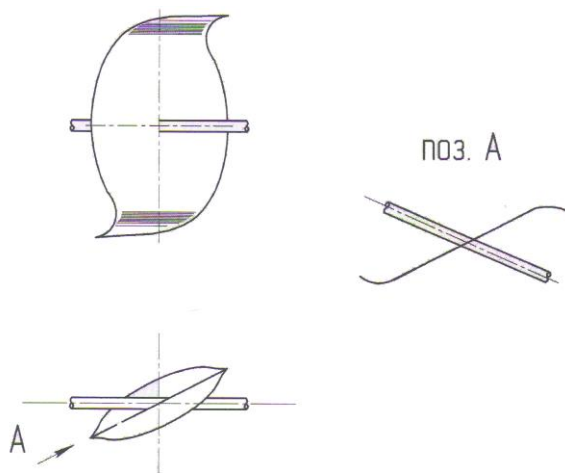


Рис. 2.8. Схема експериментального робочого органу розрихлювача-вирівнювача

Збільшення кутової швидкості обертання робочого органу також призводить до росту кута встановлення (крива 2, рис.2.7), але цей ріст менш інтенсивний ніж попередній для товщини відокремлюваного шару. За своєю фізичною сутністю вплив кутової швидкості ω як і радіуса робочого елемента r однаковим чином входять в структуру залежності (2.14), відображує фактично вплив лінійної швидкості робочого елемента на величину кута його встановлення γ .

В роботі розрихлювача-вирівнювача важливим є мінімальне травмування або пошкодження бульб картоплі. Для запобігання цих явищ необхідно по можливості усунути зусилля стиску, замінивши їх на розтягування і ворошіння. Це досягається вибором відповідного напрямку вектора абсолютної швидкості робочого органу, коли захват шару вороху відбувається знизу-вверх як показано на рис. 2.1. та 2.5.

2.3. Енергетична оцінка роботи розрихлювача-вирівнювача

Енергія, яка необхідна для роботи розрихлювача-вирівнювача в основному витрачається на переміщення відокремлених частин скиби. При цьому величина роботи, що виконується дорівнює:

$$A = \sum F \cdot V_a \cdot t, \quad (2.15)$$

Де $\sum F$ – сума сил, що діють на елемент скиби.

Відповідно потужність складає:

$$N = \sum F \cdot V_a. \quad (2.16)$$

Сумарне зусилля пов'язане з абсолютною величиною прискорення a_x і шобою елемента скиби m відомим рівнянням динаміки руху:

У вертикальному напрямку уздовж осі Oz насамперед діє сила тяжіння:

$$G = m \cdot g, \quad (2.17)$$

де g - прискорення вільного падіння.

Ця сила зрівноважена реакцією нижнього шару скиби. В результаті між ними при відносному переміщенні виникає сила тертя, величина якої може бути визначена згідно формули:

$$F_G = f \cdot G, \quad (2.18)$$

де f - коефіцієнт тертя між шарами скиби ґрунто-картопляної суміші.

Сила тертя напрямлена в напрямку протилежному вектору абсолютної швидкості V_a спроектованому в горизонтальну площину xOy і може в цій площині розкладатися по осях Ox та Oy :

$$F_{Gx} = f \cdot G \cdot \cos(V_a, V_x);$$

$$F_{Gy} = f \cdot G \cdot \cos(V_a, V_y).$$

Основною силою, що діє на робочий орган, є сила опору його переміщенню, яка згідно ідеї, що закладена в основу функціонування розрихлювача-вирівнювача, повинна переважно діяти в горизонтальній площині xOy . При цьому вертикальне переміщення відокремленого пласта є І другорядним і може призводити до зайвих витрат енергії. Таким чином, основним є технологічно необхідне переміщення, що направлене вздовж осі Oy .

Однак, визначення сили опору ґрунто-картопляної маси і її складових по осях переміщень теоретичним шляхом представляє суттєву складність і

очевидно в більшій мірі, з урахуванням всіх факторів, що діють, це є задача експериментальних досліджень.

В теоретичному дослідженні, користуючись загальним законом динаміки руху тіл, сили, що діють по складовим напрямку руху, можна визначити через масу скиби вороху, що відокремлюється і її прискорення по осях координат в абсолютному русі.

В даному випадку виконуваних досліджень такий підхід виправданий тим, що завданням є не встановлення характеристик руху частинки вороху (траєкторії, дальності, часу переміщення тощо), а потужність, що витрачається робочим органом на виконання технологічного процесу.

Для виявлення сумарних складових проекцій сил достатньо при наявності прискорень встановити величину маси скиби вороху, що відокремлюється (рис. 2.9).

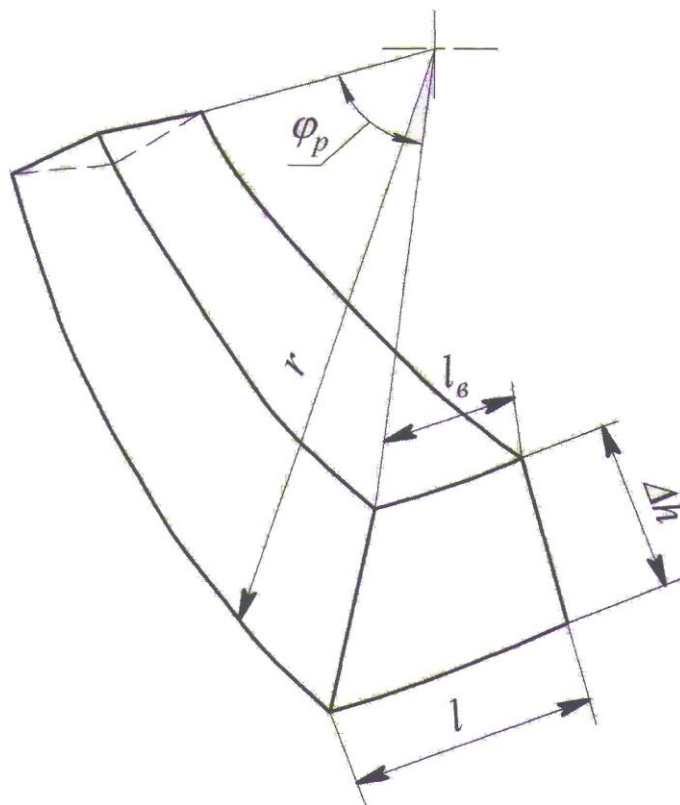


Рис. 2.9. Схема до визначення маси частини вороху, що відокремлюється робочим органом.

В першому наближенні масу частини вороху, що відокремлюється, можна визначити через об'єм Q і щільність q матеріалу:

$$m = Q \cdot q \quad (2.19)$$

В свою чергу об'єм дорівнює усередненій площі перерізу скиби на її довжину:

$$Q = W_{\text{ши}} \cdot r \cdot \varphi_p, \quad (2.20)$$

де $\varphi_p = \varphi_{\text{вих}} - \varphi_{\text{вх}}$ - кут повороту робочого органу при відокремленні і переміщенні частини скиби.

Площа перерізу розраховується згідно формули (2.3) отриманої в розділі 2.1. Тоді, при $i = 1$ (одноразове відокремлення), можемо записати:

$$Q = (l_s \cdot \Delta h + \Delta h^2 \cdot \text{ctg} \alpha) \cdot r \cdot \varphi_p. \quad (2.21)$$

При $\varphi_{\text{вх}} = 0$, як прийнято в дослідженні $\varphi_p = \varphi_{\text{вих}}$, а загальна маса частини скиби, що відокремлюється визначається рівнянням:

$$m = (l_s \cdot \Delta h + \Delta h^2 \cdot \text{ctg} \alpha) \cdot r \cdot \varphi_{\text{вих}} \cdot q. \quad (2.22)$$

Загальна потужність, що витрачає робочий орган на виконання технологічного процесу по розподіленню скиби вороху рівним шаром заданої товщини для подальшої сепарації дорівнює сумі отриманих потужностей:

$$N = N_x + N_y + N_z. \quad (2.23)$$

Після приведення і спрощення маємо:

$$N = (l_s \cdot \Delta h + \Delta h^2 \cdot \text{ctg} \alpha) \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot q \cdot \arccos\left(\frac{r - \Delta h}{r}\right) \cdot \sin(\alpha) \times \\ \times \{V_m + r \cdot \omega \cdot \cos(\alpha) [2 + \text{tg}^2 \beta]\} \quad (2.24)$$

Отримане рівняння при вибраних параметрах робочого органу розрихлювача-вирівнювача дає змогу визначити потужність, що необхідна для виконання технологічного процесу по розподіленню скиби вороху з метою наступної його сепарації повною площею транспортера-сепаратора. Це

відкриває можливість підвищення ефективності і продуктивності роботи картоплезбиральної машини.

Висновки по другому розділу.

1. Рівномірне розподілення картопляного вороху по площі транспортера-сепаратора може бути досягнуто послідовним пошаровим зчісуванням частин скиби спеціальним активним робочим органом. В загальному вигляді робота розрихлювача-вирівнювача математично моделюється отриманим в дослідженні рівнянням (2.7).
2. Конструктивно розрихлювач-вирівнювач може бути виконаний в різних рішеннях: диференційний робочий орган, двосторонньої, односторонньої дії, або 2-х, 4-х і т.д. лопатевим, в залежності від загального рішення і компоновки картоплезбиральної машини.
3. Доцільно лопаті робочих органів розрихлювача-вирівнювача орієнтувати під кутом встановлення γ (рівняння 2.17), що визначається співвідношенням швидкостей обертального руху і поступального переміщення машини.
4. Кінематичним параметром, що обмежує взаємодію робочого органу розрихлювача-вирівнювача з ґрунто-картопляним ворохом є визначена абсолютна швидкість $V_{p.o}$ (рівняння 2.20), не перебільшення якої запобігає травмуванню окремих бульб картоплі.
5. Потужність на привід робочого органу розрихлювача-вирівнювача в основному витрачається на переміщення відокремленої частки скиби і подолання сил тертя. Вона визначається згідно рівняння (2.24),

3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є перевірка і доповнення результатів отриманих теоретичних положень, встановлення значень раціональних конструктивно-технологічних параметрів запропонованого розрихлювача-вирівнювача та підтвердження ефективності виконання технологічного процесу сепарації картопляного вороху.

В польових умовах програмою передбачається:

- перевірка ефективності процесу руйнування твердих грудкових утворень і сепарації ґрунтових домішок на сепаруючому пристрої;
- проведення досліджень по впливу параметрів і режимів роботи картоплезбиральної машини з встановленим розрихлювачем-вирівнювачем картопляного вороху на ступінь сепарації та пошкодженість бульб картоплі;
- проведення порівняльних досліджень серійної і експериментальної картоплезбиральної машини з встановленим розрихлювачем-вирівнювачем;
- дослідження впливу параметрів і режимів роботи комбінованого сепаратора на потужність, що витрачається на привід картоплезбиральної машини.

Якість роботи розрихлювача-вирівнювача залежить від багатьох факторів, що характеризують умови його використання (тип ґрунту, його вологість, засміченість поля камінням, бур'янами і т.д.). Також слід відмітити значний вплив конструктивних (діаметр барабана, кут нахилу півдисків до осі барабана, висота півдисків) та кінематичних (частота обертання розрихлювача-вирівнювача) параметрів сепаруючого пристрою, що впливають на процес відділення бульб картоплі від наявних домішок. Істотно також впливають на

процес сепарації технологічні параметри картоплезбирального агрегату (швидкість руху агрегату по полю, подача картопляного вороху).

Для визначення показників якості роботи сепаруючого пристрою проводяться дослідження при таких змінних факторах, що визначаються методом апіорного ранжування: кут нахилу півдисків до осі барабана β , частота обертання розрихлювача-вирівнювача $n_{роз}$ та швидкість руху агрегату по полю V_m .

При цьому якість роботи комбінованого сепаратора досліджується за такими показниками: коефіцієнт сепарації η_c та пошкодженість бульб картоплі $П_б$. Енергетична оцінка проводилась через потужність, що витрачається на привід робочих органів $N_{пр}$.

3.2. Опис лабораторно-польової установки

Лабораторно-польові дослідження проводяться на макетному зразку картоплекопача КСТ-1,4А з встановленим на ньому комбінованим сепаратором картопляного вороху (рис.3.1), який складається з наступних основних вузлів: копіювального колеса 1, за допомогою якого регулюється глибина підкопування гребенів, залежно від глибини залягання бульб картоплі, активних лемешів, що підкопують грядку та коливаються з амплітудою 14 мм та частотою $9,4 \text{ с}^{-1}$, розрихлювача-вирівнювача 3, що разом з швидкісним елеватором 4 складають комбінований сепаратор, основного елеватора 5, що рухається зі швидкістю 2,26 м/с, каскадного елеватора 7, ходових коліс 6 та відбивачів 8, що вкладають бульби у рядок на поверхні поля.

Картоплезбиральна машина працює наступним чином. Під час переміщення машини по полю лемеші, що встановлені на відповідну глибину копання, підрізають два суміжні рядки і спрямовують скибу на швидкісний елеватор.

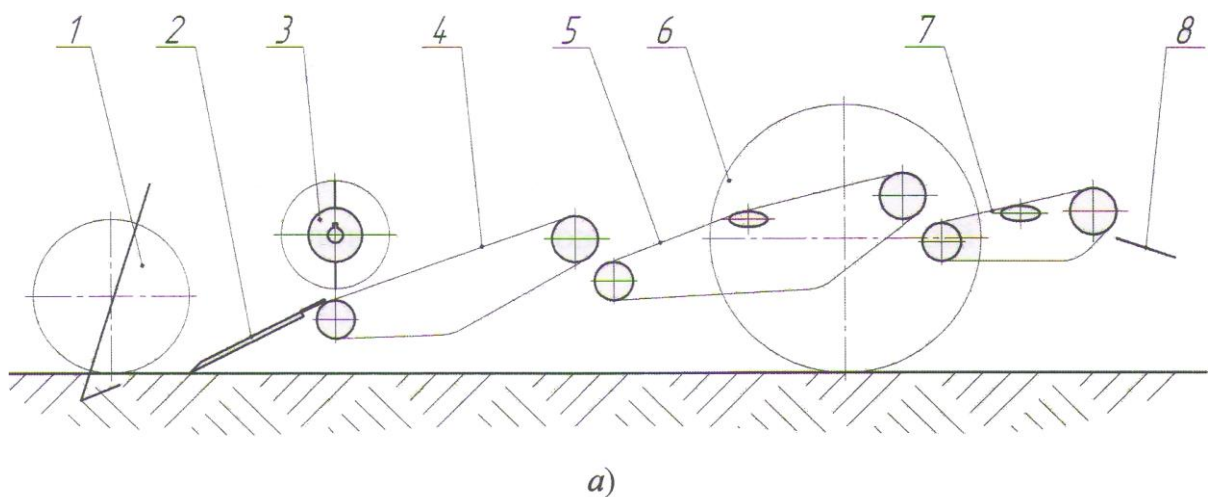


Рис. 3.1. Лабораторно-польова установка для випробування комбінованого сепаратора: *а* — схема; *б* - загальний вигляд; 1 — копіювальне колесо; 2 - підкопуючі лемеші, 3 - розрихлював-вирівнювач; 4 - швидкісний елеватор; 5 — основний елеватор; 6 - опорне колесо; 7 каскадний елеватор; 8 - відбивачі

За рахунок розрихлювача-вирівнювача скиба руйнується та вирівнюється за шириною робочої поверхні швидкісного елеватора і оскільки його швидкість більша ніж поступальна швидкість агрегату не створюється нагромадження вороху в приймальній частині машини. На швидкісному елеваторі відбувається інтенсивне відділення домішок від бульб картоплі. Із швидкісного елеватора маса надходить до основного елеватора, де бульби відокремлюються від ґрунту, за рахунок струшування полотна елеватора, еліптичними струшувачами. В

подальшому маса потрапляє на каскадний елеватор. Останній спрямовує їх на поверхню поля, а відбивачі звужують валок до ширини 60 - 90 см.

Комбінований сепаруючий пристрій [57,58,61] складається з сепаруючого елеватора та розрихлювача-вирівнювача (рис. 3.2), який активно діє на бульбоносний шар, руйнуючи тверді грудкові утворення та розрівнюючи його за шириною сепаруючого елеватора

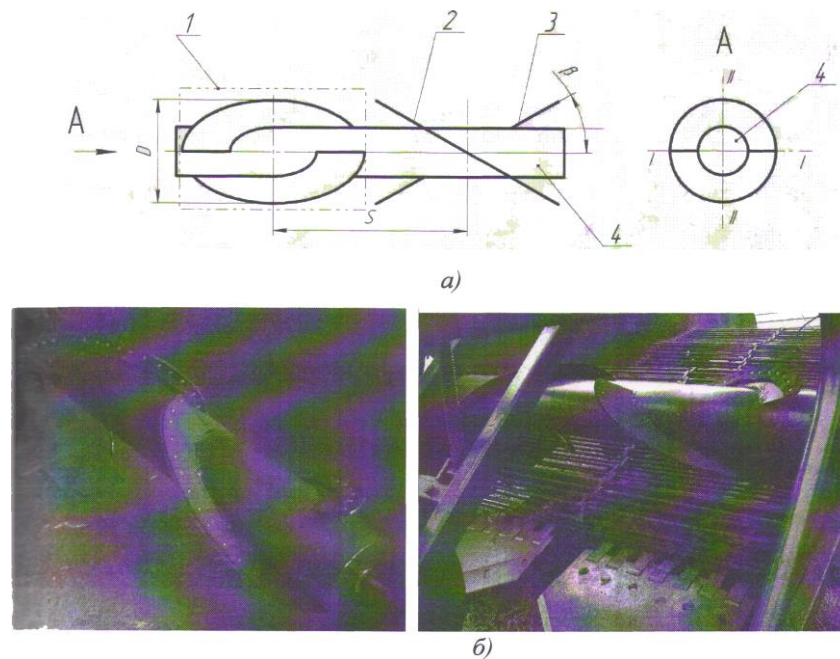


Рис. 3.2. Розрихлювач-вирівнювач комбінованого сепаратора:

а - схема розрихлювача-вирівнювача; б - загальний вигляд; 1 -розрихлюючий елемент; 2,3 - півдиски; 4 - барабан

за допомогою розрихлюючих елементів 1, які жорстко встановлені на барабані 4. Кожен розрихлюючий елемент створений з двох півдисків 2, 3, що направляють бульбоносний шар до вентральної частини сепаруючого елеватора.

Розрихлюючі елементи 1 виконані у вигляді двох півдисків лівого 2 та правого 3, причому кожний з них встановлений на валу під кутом β . Великі осі цих півдисків знаходяться в одній площині, а їх проекція на горизонтальну площину в положенні, коли площина, через яку проходять великі осі півдисків, перпендикулярна горизонтальній площині, вписується у еліпс.

Розрихлюючі елементи встановлені на відстані ширини міжрядь рядків картоплі таким чином, що площини, в яких знаходяться великі осі півдисків в кожному розрихлюючому елементі, перпендикулярні одна одній.

Привід розрихлювача-вирівнювача здійснюється від гідравлічної системи відбору потужності трактора МТЗ-82. На рис. 3.3 приведена схема гідравлічного приводу установки.

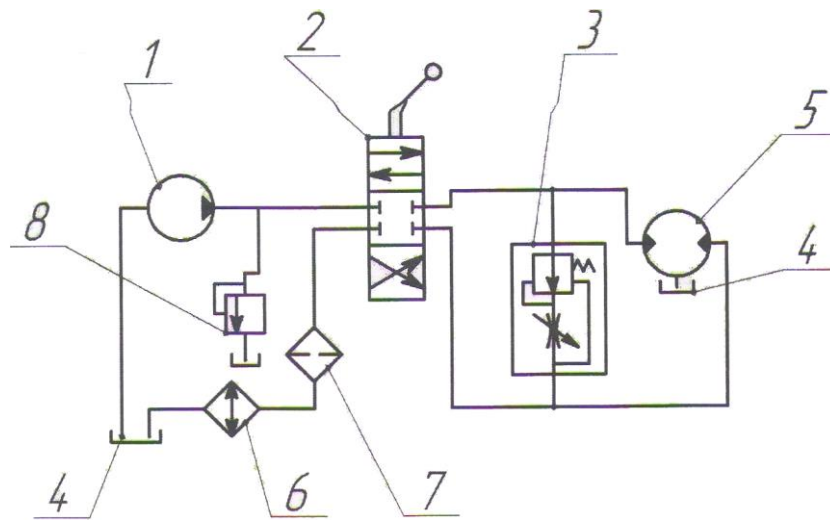


Рис. 3.3. Гідравлічна схема розрихлювача-вирівнювача.

1 - насосна станція; 2 розподільник; 3 ^ регулятор потоку рідини відро дросель); 4 - бак для рідини; 5 - гідромотор; 6 - охолоджувач; 7- фільтр; 8— запобіжний клапан.

Крім вузлів та агрегатів стандартної тракторної гідравлічної системи привід включає в себе - регулятор потоку рідини (гідродросьель) 3 та планетарний гідромотор МІ 11-80 5. Вся гідравлічна система з'єднана трубопроводами високого тиску з прохідним перерізом $0,016 \text{ м}^2$. Розподільний золотник обладнаний бустерним пристроєм, що дозволяє здійснювати повернення золотника в нейтральне положення при тиску більше $15,7 \text{ МПа}$.

Гідравлічний дросель приладу КИ-1097-1 дає змогу вимірювати тиск масла, що надходить на робочі органи до $16,5 \text{ МПа}$ при класі точності манометра 2,5, та регулювати потік рідини в діапазоні $10 \dots 90 \text{ л/хв.}$, з інтервалом 5 л/хв.

Технічна характеристика лабораторно-польової установки наведена в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Технічна характеристика лабораторно-польової установки

Показник	Значення
Продуктивність , га/год	0,3
Ширина захвату, м	1,4
Ширина міжрядь, см	70
Число оброблюваних рядків	2
Агрегатується з трактором класу	1,4
Привід розрихлювача-вирівнювача	гідравлічний
Габаритні розміри, мм	5000x1690x1200
Маса	1 121

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛЕННЯ І СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

4.1 Ефективність сепарації картопляного вороху.

Згідно прийнятої програми досліджень був реалізований багатофакторний експеримент виду 2^3 з трьохкратною повторністю для отримання математичних залежностей впливу параметрів розрихлювача-вирівнювача на ступінь сепарації картопляного вороху. За показник якості процесу сепарації згідно програми досліджень був прийнятий коефіцієнт сепарації η_c .

Модель, яка описує вплив факторів на параметр оптимізації має вигляд:

$$y = b_0 + b_1\beta + b_2n_{роз} + b_3V_m + b_{12}\beta n_{роз} + b_{13}\beta V_m + b_{23}n_{роз}V_m + b_{11}\beta^2 + b_{22}n_{роз}^2 + b_{33}V_m^2 \quad (4.1)$$

В результаті проведення експерименту отримані наступні результати (табл. 4.3).

Таблиця 4.1

Матриця планування експериментів і результатів дослідів

№ точки плану	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Результати дослідів			Середнє значення Y_{cp}
											Y_1	Y_2	Y_3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0,94	0,89	0,9	0,91
2	1	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0	0,69	0,8	0,7	0,73
3	1	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0	0,83	0,9	0,82	0,85
4	1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	0,86	0,85	0,84	0,85
5	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,91	0,85	0,88	0,88
6	1	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0,82	0,83	0,84	0,83
7	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0,95	0,94	0,9	0,93

8	1	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0,65	0,64	0,78	0,69
9	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0,83	0,9	0,88	0,87
10	1	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1	0,86	0,87	0,91	0,88
11	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1	0,96	0,91	0,92	0,93
12	1	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1	0,8	0,75	0,82	0,79
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,91	0,91	0,88	0,9
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	0,92	0,89	0,91
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0,87	0,89

Подальша обробка експериментальних даних проводилась за допомогою ПЕОМ та прикладних програм Microsoft Excel та Maple 11i; Отримані результати представлені у вигляді рівняння регресії в закодованому вигляді:

$$y = 0,9 + 0,058x_1 + 0,038x_2 - 0,0425x_3 - 0,015x_1x_2 + 0,0225x_1x_3 + 0,0075x_2x_3 - 0,05x_1^2 - 0,015x_2^2 - 0,0175x_3^2 \quad (4.2)$$

Сума квадратів, що характеризує похибку досліду, $S_E = 0,00127$ та сума квадратів, що пов'язана з дисперсією неадекватності $S_{LF} = 0,00020$.

Для перевірки гіпотези про адекватність порівнюємо розрахункове значення F-критерія Фішера з табличним [37]:

$$F_{\text{табл}} = 2,1 > F_{\text{розрах}} = 0,532$$

Таким чином гіпотезу про адекватність математичної моделі можна прийняти.

З рівняння 4.2 видно, що найбільший вплив на коефіцієнт сепарації картопляного вороху здійснює кут встановлення півдисків розрихлювача, що пояснюється тим, що в процесі роботи розрихлювача даний кут впливає на рівномірність розподілення вороху за шириною полотна елеватора. Найменше на коефіцієнт сепарації впливає парна взаємодія частоти обертання розрихлювача та швидкості руху картоплезбиральної машини. Це пояснюється тим, що швидкість руху машини компенсується частотою обертання розрихлювача.

В подальшому проводився розрахунок довірчих інтервалів для прийнятої математичної моделі. Результати розрахунків зведені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.2

Результати регресійного аналізу

Змінна	Параметр				
	Число дослідів	Значення коефіцієнта регресії	Похибка коефіцієнта регресії	Довірчий інтервал коефіцієнта регресії	Значимість коефіцієнта регресії
1	2	3	4	5	6
b_0	15	0,9	0,00030	$\pm 0,00129$	значимий
b_1		0,058	0,00105	$\pm 0,00452$	значимий
b_2		0,038	0,00105	$\pm 0,00452$	значимий
b_3		-0,0425	0,00105	$\pm 0,00452$	значимий
b_{12}		-0.015	0.000225	± 0.0009	значимий
b_{13}		0.0225	0.000225	± 0.00097	значимий
b_{23}		0.0075	0.000225	± 0.00097	значимий
b_{11}		0.05	0.0001598	± 0.00069	значимий
b_{22}		-0.015	0.0001598	± 0.00069	значимий
b_{33}		-0.0175	0.0001598	± 0.00069	значимий

Після проведення розкодування рівняння (4.2) отримано математичну модель впливу факторів на ступінь сепарації:

$$\begin{aligned} \eta = & -1,1713 + 0,1301\beta + 0,0126n_{роз} - 0,3528V_m - 0,00015\beta n_{роз} + 0,0184\beta V_m + \\ & + 0,0015n_{роз} V_m + 0,002\beta^2 + 0,000037n_{роз}^2 + 0,2915V_m^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Рівняння 4.3 дає змогу визначити коефіцієнт сепарації для різних значень факторів і може бути використане для практичних цілей. Але воно не дає змоги визначити раціональні параметри факторів, при яких значення критерію оптимізації (коефіцієнту сепарації) є найбільшим. Для цього необхідно

визначити область екстремуму. Згідно методики викладеної в третьому розділі складаємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dx_1} &= 0,058 - 0,015x_2 + 0,0225x_3 - 0,1x_1 = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} &= 0,038 - 0,015x_1 + 0,0075x_3 - 0,03x_2 = 0, \\ \frac{dy}{dx_3} &= -0,0425 + 0,0225x_1 + 0,0075x_2 - 0,035x_3 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

Розв'язок системи 4.4 привів до визначення координат екстремуму поверхні. В ньому спостерігається максимум критерія оптимізації. Після розкодування параметри розрихлювача-вирівнювача, що приводять до екстремуму складають: $\beta = 31$ град, $V_m = 0,69$ км/год, $n_{роз} = 119$ об/хв.

коефіцієнт сепарації (критерій оптимізації) в даній точці дорівнює $\eta_c = 0,94$.

Перевішивши рівняння (4.2) до канонічного вигляду отримуємо:

$$Y - 0,94 = 0,04481X_1^2 - 0,0000854X_2^2 - 0,1272X_3^2. \quad (4.5)$$

Подальше дослідження математичної моделі проводили за допомогою методу двохмірних перерізів [37] поверхні відгуку, що відкрив можливість характеризувати показник коефіцієнту сепарації картопляного вороху в залежності від кута нахилу півдисків розрихлювача (x_2) та частоти обертання розрихлювача (x_3). Для отримання даного перерізу підставимо значення % на рульовому рівні в рівняння (4.2). В результаті маємо:

$$y = 0,9 - 0,058x_1 + 0,0388x_2 - 0,015x_1x_2 + 0,05x_1^2 + 0,015x_2^2. \quad (4.6)$$

Визначаємо координати центру поверхні продиференціювавши рівняння (4.6) і вирішивши систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dx_1} &= 0,058 - 0,015x_2 + 0,1x_1 = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} &= 0,0388 - 0,015x_1 + 0,03x_2 = 0, \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

$$x_{1S} = 0,417; x_{2S} = 1,085.$$

Підставивши значення x_{1S} та x_{2S} в рівняння (4.6), отримаємо значення коефіцієнту сепарації у центрі поверхні - $\eta_c = 0,933$.

Провівши канонічне перетворення рівняння (4.6), шляхом вирішення характеристичного рівняння:

$$f(B) = \begin{pmatrix} -0,05 - B & -0,0075 \\ -0,0075 & -0,015 - B \end{pmatrix} = 0, \quad (4.8)$$

отримуємо рівняння в канонічному вигляді:

$$Y - 0,933 = -0,0135 X_1^2 - 0,0515 X_2^2$$

Слід відзначити, що розв'язки характеристичного рівняння є від'ємними величинами, а отже центр поверхні є точкою максимуму.

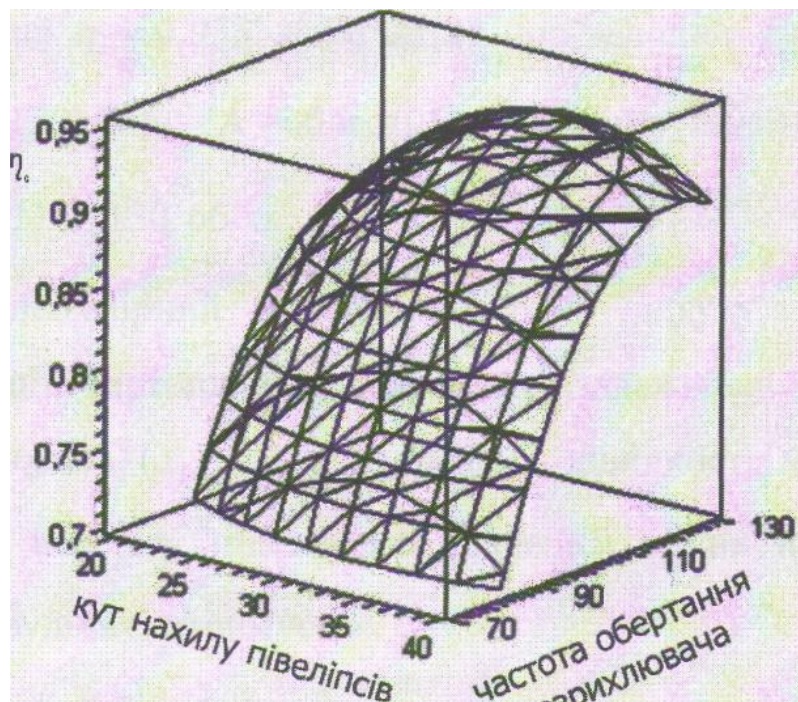


Рис. 4.1. Поверхня відгуку впливу кута нахилу півдисків розрихлювача-вирівнювача та частоти його обертання на коефіцієнт сепарації картопляного вороху

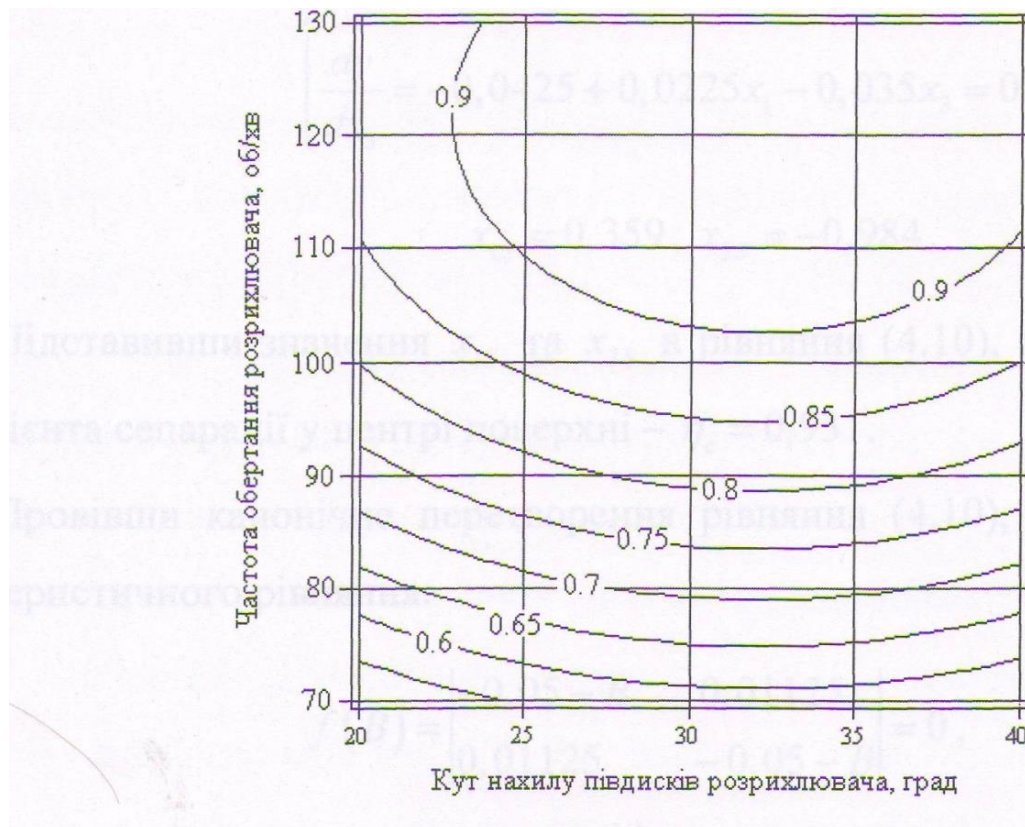


Рис.4.2. Контурний графік впливу кута нахилу півдисків розрихлювача-вирівнювача та частоти його обертання на ступінь сепарації картопляного вороху

Аналіз отриманого двохмірного перерізу, показує на спільний вплив взаємодії факторів (x_1 та x_2) в області екстремуму. Максимальне значення коефіцієнта сепарації $\eta_c = 0,933$ досягається при величині факторів відповідно $\beta = 32^\circ$ та $n_{роз} = 120$ об/хв. А область екстремуму знаходиться в межах $\beta = 25 \dots 35^\circ$ і $n_{роз} = 110 \dots 130$ об/хв.

Побудуємо двохмірний переріз поверхні відгуку, що характеризує коефіцієнт сепарації картопляного вороху в залежності від кута нахилу півдисків розрихлювача (x_1) та поступальної швидкості машини (x_3). Для отримання даного перерізу підставимо значення x_2 на нульовому рівні в рівняння (4.2). в результаті отримуємо:

$$y = 0,9 + 0,058x_1 - 0,0425x_3 + 0,0225x_1x_3 - 0,05x_1^2 - 0,0175x_3^2. \quad (4.10)$$

Визначаємо координати центру поверхні продиференціювавши рівняння (4.10) за факторами x_1 та x_3 і вирішивши систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = 0,058 + 0,0225x_3 - 0,1x_1 = 0; \\ \frac{dy}{dx_3} = -0,0425 + 0,0225x_1 - 0,035x_3 = 0. \end{cases}$$

$$x_{1S} = 0,359; \quad x_{3S} = -0,984.$$

Підставивши значення x_{1S} та x_{3S} в рівняння (4.10), отримаємо значення коефіцієнта сепарації у центрі поверхні $\eta_c = 0,931$

Провівши канонічне перетворення рівняння (4.10), шляхом вирішення характеристичного рівняння:

$$f(B) = \begin{vmatrix} -0,05 - B & 0,01125 \\ 0,01125 & -0,05 - B \end{vmatrix} = 0$$

отримуємо рівняння в канонічному вигляді:

$$Y - 0,931 = -0,0139X_1^2 - 0,0535X_3^2. \quad (4.13)$$

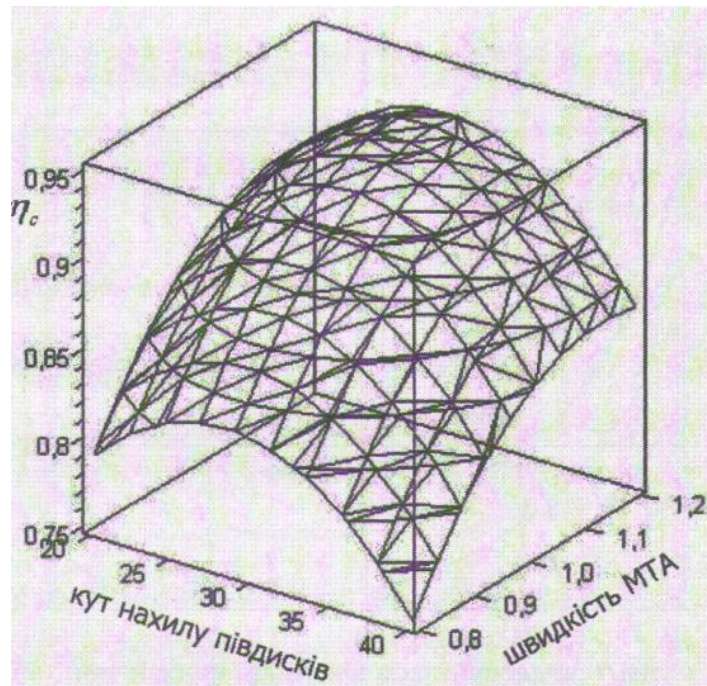


Рис. 4.3. Поверхня відгуку впливу кута нахилу півдисків розрихлювача-вирівнювача та поступальної швидкості агрегату на ступінь сепарації картопляного вороху

Аналіз даного двохмірного перерізу (рис.4.3) показує, що при збільшенні поступальної швидкості агрегату коефіцієнт сепарації зростає. Ця закономірність зберігається до швидкості $V_m = 1,15$ км/год. Подальше зростання призводить до зменшення коефіцієнту сепарації, що пояснюється можливістю протікання процесу сепарації на прутковому елеваторі, оскільки ворох не встигає просіятись. В свою чергу зменшення або збільшення кута нахилу півдисків від значення $\beta = 28$ град. призводить до зменшення коефіцієнту сепарації, оскільки відбувається нерівномірний розподіл вороху за шириною полотна елеватора і як наслідок зменшення його пропускної спроможності. Спільний вплив взаємодії факторів (x_1 та x_3) в області екстремуму $\eta_c = 0,931$ відбувається при величині факторів відповідно $\beta = 28$ град та $V_m = 1,5$ км/год. При чому область екстремуму знаходиться в межах $\beta = 25..35$ град і $V_m = 1,1...1,2$ км/год.

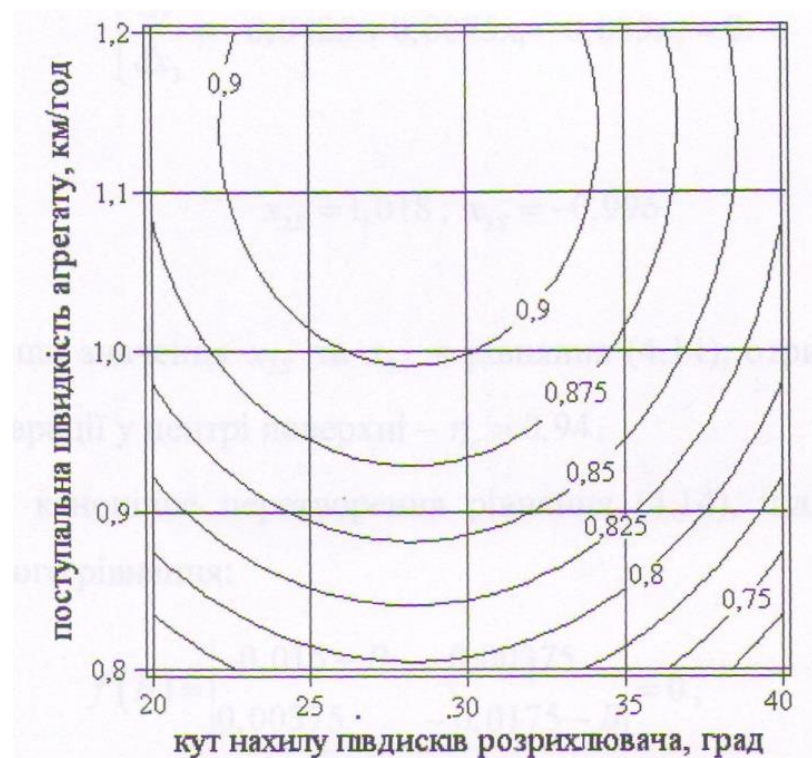


Рис.4.4. Контурний графік впливу кута нахилу півдисків розрихлювача-вирівнювача та поступальної швидкості агрегату на коефіцієнт сепарації

Побудуємо двохмірний переріз поверхні відгуку, що характеризує коефіцієнт сепарації картопляного вороху в залежності від частоти обертання розрихлювача (x_2) та поступальної швидкості агрегату (x_3). Для отримання даного перерізу підставимо значення x_1 на нульовому рівні в рівняння (4.2). в результаті отримуємо:

$$y = 0,9 + 0,038x_2 - 0,0425x_3 + 0,0075x_2x_3 - 0,015x_2^2 - 0,0175x_3^2. \quad (4.14)$$

Визначаємо координати центру поверхні продиференціювавши рівняння (4.14) за факторами x_2 та x_3 і вирішивши систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_2} = 0,038 + 0,0075x_3 - 0,03x_2 = 0; \\ \frac{dy}{dx_3} = -0,0425 + 0,0075x_1 - 0,035x_3 = 0. \end{cases}$$

$$x_{2S} = 1,018; \quad x_{3S} = -0,996.$$

Підставивши значення x_{2S} та x_{3S} в рівняння (4.14), отримаємо значення коефіцієнта сепарації у центрі поверхні - $\eta_c = 0,94$.

Провівши канонічне перетворення рівняння (4.14), шляхом вирішення характеристичного рівняння:

$$f(B) = \begin{vmatrix} -0,015 - B & 0,00375 \\ 0,00375 & -0,0175 - B \end{vmatrix} = 0, \quad (4.16)$$

Отримуємо рівняння в канонічному вигляді:

$$Y - 0,941 = -0,0123X_2^2 - 0,0202X_3^2. \quad (4.17)$$

Розв'язками характеристичного рівняння є від'ємні значення, а отже центр поверхні є точка максимуму. Поверхні відгуку та двомірний переріз рівняння (4.17) зображені на рис. 4.5 та 4.6.

Аналіз поверхні (рис 4.5 і 4.6) показує збільшення коефіцієнту сепарації (до $\eta_c = 0,94$) при збільшенні частоти обертання розрихлювача-вирівнювача до

$n_{роз}=130$ об/хв та при збільшенні поступальної швидкості руху агрегату до $V_m = 1.1$ км/год, що пояснюється якісним впливом на картопляний ворох розрихлювача та дає змогу підвищити продуктивність машини не втрачаючи при цьому сепаруючої здатності пруткового елеватора та картоплезбиральної машини в цілому. Подальше зростання швидкості агрегату V_m та частоти обертання розрихлювача-вирівнювача $n_{роз}$ може призвести до різкого зростання пошкодженості бульб картоплі.

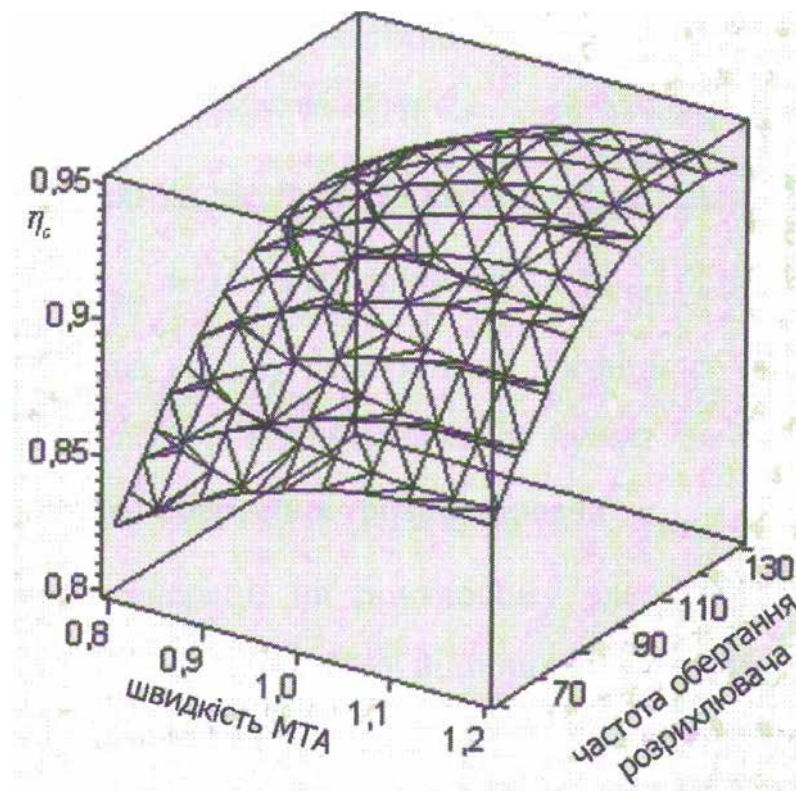


Рис. 4.5. Поверхня відгуку впливу частоти обертання розрихлювача-вирівнювача та поступальної швидкості агрегату на коефіцієнт сепарації

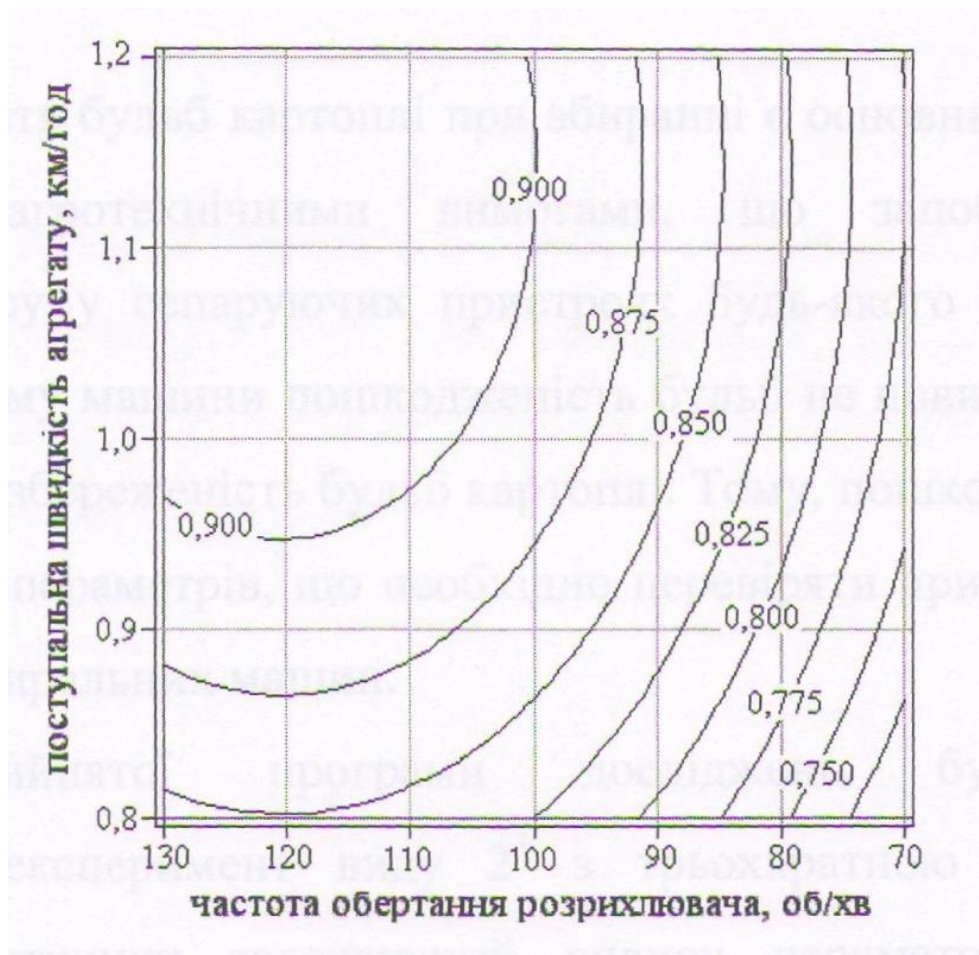


Рис.4.6. Контурний графік впливу частоти обертання розрихлювача-вирівнювача та поступальної швидкості агрегату на коефіцієнт сепарації картопляного вороху

Спільний вплив взаємодії факторів (x_2 та x_3) в області екстремуму за показником коефіцієнта сепарації 0,941 досягається при величині факторів відповідно $n_{роз} = 120$ об/хв та $V_m = 1,15$ км/год. При чому область екстремуму виходиться в межах $n_{роз} = 110...130$ об/хв. і $V_m = 1,0...1,2$ км/год.

Висновки по розділу 4.

Проведений аналіз впливу факторів на коефіцієнт сепарації показав, що використання розрихлювача-вирівнювача з кутом встановлення півдисків $\beta = 30$ град, частотою обертання розрихлювача $n_{роз} = 110$ об/хв дає змогу

отримати коефіцієнт сепарації на прутковому елеваторі картоплезбиральної машини в межах $\eta_c = 0,91...0,94$, що відповідає вимогам, встановленим для картоплезбиральної техніки.

5.ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1 Розрахунок економічної ефективності застосування комбінованого сепаратора картопляного вороху

За базову модель був прийнятий картоплекопач КСТ-1,4А виробництва «Лідсільмаш» (Білорусія), що агрегувався трактором МТЗ-82. За модернізований агрегат був прийнятий картоплекопач КСТ-1,4 з встановленим розрихлювачем-вирівнювачем, що агрегувався з трактором МТЗ-82.

Згідно теоретичних та експериментальних досліджень комбінований сепаратор картопляного вороху (активний розрихлювач-вирівнювач та прутковий елеватор) інтенсифікує процес рихлення бульбоносного шару, який потрапляє на робочі органи машини, що дало змогу збільшити сепаруючу здатність картоплезбиральної машини. Це дало змогу збільшити робочу швидкість агрегату без значного збільшення енергозатрат та порушення агротехнічних вимог.

Таким чином, економічний ефект від проведеної роботи досягається шляхом підвищення продуктивності машини та зменшення втрат картоплі, що присипається ґрунтом.

Джерелами інформації для розрахунку економічної ефективності слугували результати досліджень та інші нормативні документи [34,88].

Вартість розрихлювача-вирівнювача визначалася за ціною машини, що приходить на 1 кг маси машини, помноженою на масу розрихлювача. Ціна розрихлювача-вирівнювача склала 706 грн.

При розрахунку економічної ефективності виходили із середніх умов в яких може працювати картоплезбиральна машина.

Відповідно до ДСТУ 4397:2005 «Техніка сільськогосподарська. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування» [18] вихідні дані для розрахунку зведені до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні умови для розрахунку економічної ефективності

показник	Базова машина	Модернізована машина
Продуктивність за 1 годину:		
- Змінного часу, га/год	0,27	0,3
- Експлуатаційного часу, га/год	0,25	0,27
Маса машини, кг	1090	1121
Балансова вартість машини, грн	7278	
Трактор для агрегування	МТЗ-82	МТЗ-82
Балансова ціна трактора, грн	18464	18464
К-сть обслуговуючого персоналу, чол	1	1
Річне нормативне завантаження, год	200	200
Витрата пального на одиницю напрацювання, кг/га	45,7	42,3

Річний економічний ефект від експлуатації модернізованої машини з урахуванням кількості та якості продукції:

$$E_p = (\Pi_6 - \Pi_n) V_z + E_{я}, \quad (5.1)$$

де Π_6 , Π_n - сукупні витрати на одиницю наробітку відповідно по базовій і новій машині, грн./га;

V_z - річний обсяг наробітку новою машиною в умовах певної природно-кліматичної зони, га;

$E_{я}$ - річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.. В нашому випадку річний економічний ефект отриманий від повноти збирання бульб та зростання продуктивності агрегату.

Зональний річний обсяг наробітку машиною визначався:

$$V_z = W_{ек} * T_z \quad (5.2)$$

де $W_{\text{ек}}$ - продуктивність машини за годину експлуатаційного часу, га/год;

T_3 - зональне річне завантаження машини, год.

Річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції:

$$E_{\text{я}} = C_{\text{ям}} - C_{\text{яб}}, \quad (5.3)$$

де $C_{\text{ям}}$ і $C_{\text{яб}}$ - вартість продукції, одержаної у разі застосування модернізованої та базової машини, грн.

Вартість продукції, одержаної у разі застосування модернізованої чи базової машини:

$$C_{\text{я}} = \sum_{j=1}^n C_j \cdot V_j, \quad (5.4)$$

де C_j - закупівельна ціна одиниці j -ої продукції, грн.;

V_j - кількість j -ої продукції, у разі застосування модернізованої машини, грн..

Річний прибуток від експлуатації модернізованої машини:

$$O = (I_{\text{б}} - I_{\text{м}}) \cdot B_3 + E_{\text{я}} \quad (5.5)$$

де $I_{\text{б}}, I_{\text{м}}$ - прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та модернізованій машинах на одиницю наробітку, грн./га.

Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень на модернізацію машини:

$$T_{\text{окд}} = \frac{K_{\text{м}} - K_{\text{б}}}{O} \quad (5.6)$$

де $K_{\text{м}}, K_{\text{б}}$ - сумарні інвестиційні вкладення відповідно у модернізовану та базову машину, грн.

Сукупні витрати на одиницю наробітку визначались за формулою:

$$\Pi = I + K \cdot E_{\text{н}}, \quad (5.7)$$

де I - прямі експлуатаційні витрати, грн./га;

K - питомі інвестиційні вкладення, грн./га;

$E_{\text{н}}$ - коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладень, $E_{\text{н}} = 0,15$.

Прямі експлуатаційні витрати:

$$I = 3 + \Gamma + P + A + \Phi + M, \quad (5.8)$$

де 3 - затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./га;

Γ - затрати на паливо-мастильні матеріали, грн./га;

P - затрати на технічне обслуговування, поточний ремонт, грн./га;

A - затрати на амортизацію, грн./га;

Φ - затрати на допоміжні матеріали, грн./га;

M - затрати на зберігання, страхування та монтування, грн./га.

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу

$$З = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_{\partial} \cdot n_i}{W_{зм}}, \quad (5.9)$$

де L_i - кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, люд.;

t_i - тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год.;

r_i - погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт, грн./люд.-год;

k_{∂} - коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи;

n_i - коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

$W_{зм}$ - продуктивність модернізованої машини за годину змінного часу, га/год.;

Затрати коштів на паливо-мастильні матеріали:

$$\Gamma = q \cdot k_n \cdot Ц_n \quad (5.10)$$

де q - питомі витрати палива, кг/га;

$Ц_n$ - ціна одного кілограма палива, грн./га;

k_n - коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів.

Затрати на поточне ремонтування та технічне обслуговування:

$$P = \frac{B \cdot (r_m + r_k)}{W_{зм} \cdot T_n}, \quad (5.11)$$

r_m - коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування;

r_k - коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

T_n - нормативне річне навантаження, год.

Затрати на амортизацію машини:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{зм} \cdot T_n} \quad (5.12)$$

a - коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини.

Затрати на допоміжні технологічні матеріали:

$$\Phi = \sum_{i=1}^m h_i \cdot \Pi_{mi} \quad (5.13)$$

де h_i , - питомі витрати i -го виду технологічного матеріалу, кг;

Π_{mi} - ціна одиниці i -го технологічного матеріалу, грн./кг

Затрати на зберігання, страхування та монтування машини:

$$M = \frac{\sum_i Z_{ni} \cdot r_i \cdot n_i + \Pi_{\partial} + S_{зсм}}{W_{ек} \cdot T_z} \quad (5.14)$$

де Z_{ni} - затрати праці i -ої категорії працівників на доскладання та монтування устаткування, люд.-год;

Π_{∂} - вартість матеріалів, які використані на доскладанні та монтуванні машини, грн.;

$S_{зсм}$ - річні витрати на зберігання та страхування машини, грн..

Питомі інвестиційні вкладення:

$$K = \frac{B + K_{б\text{уд}}}{B_3} \quad (5.15)$$

де $K_{б\text{уд}}$ - балансова вартість будівельної частини, необхідної для експлуатації машини, грн.

Затрати праці на виконання машиною чи працівником виробничого процесу:

$$Z_{\text{п}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i t_i}{B_3} \quad (5.15)$$

Результати економічного розрахунку використання картоплезбиральної машини з комбінованим сепаратором картопляного вороху представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Показники порівняльної економічної ефективності картоплезбиральної машини з комбінованим сепаратором

показник	Базова машина	Модернізов. машина
1. Марка с.г. машини	КСТ-1.4А	КСТ-1.4АМ
2. Затрати праці, люд.-год/га	3,7	3,3
3. Прямі експлуатаційні затрати, грн./га:	281,98	265,59
3.1 Заробітна плата	29,6	26,7
3.2 Амортизація	16,85	18,29
3.3 Поточне ремонтування, технічне обслуговування, зберігання	16,17	17,56
3.4 Паливо	219,36	203,04
4. Інвестиційні вкладення, грн./га	134	146,33
5. Сукупні витрати, грн./га	302,2	287,54
6. Річна економія затрат праці, люд.-год	-	80
7. Річна економія палива	-	680
8. Річний економічний ефект від експлуатації модернізованої машини, грн..	-	56840,64
9. Річний економічний ефект отриманий за рахунок зміни к-сті продукції, грн	-	48930
10.Річний прибуток, грн..	-	57780,06
11.Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень, роки	-	0,29

Таким чином, після проведення розрахунків було встановлено: річний економічний ефект від експлуатації модернізованої машини (з комбінованим сепаратором) склав біля 56840 грн., а річний прибуток при річному наробітку в 200 га- 57780 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Основним фактором, що обмежує ефективність роботи картоплезбиральних машин є недостатній рівень виконання сепарації вороху при відокремленні бульб. Перспективними конструкціями в цьому напрямку слід вважати просіюючі робочі органи з активним руйнуванням твердих грудкових утворень.
2. Рівномірне розподілення вороху по площі транспортера-сепаратора досягається покроковим зчісуванням частин скиби спеціальними активними робочими органом.
3. Отримана математична модель роботи зчісуючого робочого органу (2.9), описує і допускає різні його конструктивні рішення: диференційний, двосторонньої або односторонньої дії; 2-х, 4-х і т.д. лопатевий, в залежності від загального призначення і компоновки картоплезбиральної машини.
4. Дослідженням динаміки руху відокремлених частин скиби виявлені і сили, що сприяють рівномірності розташування вороху на транспортері-сепараторі і встановлено зв'язок між конструктивними параметрами розрихлювача-вирівнювача і потужністю необхідною на його привід.
5. За результатами досліджень встановлено, що раціональними конструктивними параметрами розрихлювача-вирівнювача є кут нахилу півдисків $\beta=30$ град, діаметр барабану розрихлювача-вирівнювача 200 мм, висота лопаті півдиску 70 мм, відстань від робочої кромки півдиску до полотна елеватора 80 мм.
6. Експериментально підтверджено, що застосування розрихлювача-вирівнювача підвищує ефективність сепарації картопляного вороху на 6... 10 %.
7. Встановлено, що оптимальними значеннями модернізованої картоплезбиральної машини є:
 - ступінь сепарації - 0,92;
 - пошкодженість бульб - 2,7 %,

що досягається при обертанні розрихлювача-вирівнювача з усередненою частотою до 100 об/хв, куті нахилу півдисків - 30 град, швидкості руху агрегату 1,18 км/год.

8.Розробка комбінованого сепаратора (розрихлювач-вирівнювач разом з транспортером-сепаратором) підвищило ефективність роботи картоплезбиральної машини: втрати бульб не перебільшили 1,8 % (дрібна фракція), пошкодженість в основному поверхневої кірки до 2,7 %, що відповідає існуючим агротехнічним вимогам.

9.Економічний ефект від використання двохрядного картоплекопача із встановленим на ньому розробленим сепаратором складає 56840,64 грн на одну машину за умови навантаження близько 60 га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бончик В.С. Обґрунтування геометричних параметрів та взаємного розташування грудкоподрібнюючих робочих органів ротаційного картоплекопача // Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей Луцького державного технічного університету. Вип. 5. - 1999. - С. 8-13.
2. Бончик В.С. Розробка та обґрунтування параметрів ротаційного картоплекопача: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Луцький державний технічний університет. - Луцьк, 2001. -19 с.
3. Войтюк Д.Г., Барановський В.М. та ін. Сільськогосподарські машини: Підручник. - К.: Каравела, 2017. - 552 с.
4. П.Герук С.М., Міненко С.В. Активізація процесу сепарації картопляного вороху при використанні пруткових елеваторів // Вісник сумського національного аграрного університету (Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»): 36. наук, праць. - Суми, 2008. - Випуск 1(17).-с. 145-150.
5. Герук С.М., Міненко С.В. Методика планування експерименту з визначення оптимальних параметрів розрихлювача-вирівнювача картоплезбиральної машини 0 Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: 36. наук, праць., випуск 38. - Кіровоград, 2008. -с. 234-237.
6. Грушецький С.М., Бендера ІМ. Тенденції розвитку сепаруючих пристроїв картоплезбиральних машин: 36. наук, праць. - Кам'янець-Подільський, 2004, Вип.12. — с. 365-369.
7. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно-полицевого картоплекопача з барабанних сепаратором картопляного вороху: Автореф. дис. канд. техн. наук / Вінницький державний аграрний університет. - Вінниця, 2008. - 20 с.
8. ДСТУ 4397:2005 Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. — Зі скасуванням ГОСТ

23728-88, ГОСТ 23729-88, ГОСТ 23730-88; Введ. 28.04.2005. К.:

Держспоживстандарт України, 2005. — 15 с.

9.Каталог-довідник машин і обладнання для агропромислового комплексу. Державний департамент тракторного та сільськогосподарського машинобудування «Держсільгоспмаш» / Відп. О. Шраменко, - К.: ТОВ «Арітіс», 2002. - 191 с.

10.Лінник М.К. Булгаков В.М., Козаченко Б.О., Войлок Д.Г., Іщенко В.В., Смолінський С.В. Сучасний стан та перспективи створення нових машин для збирання картоплі .//•. Вісник харківського державного технічного університету сільського господарства. «Механізація сільськогосподарського виробництва». Випуск 1. Харків, 2000. *т* С. 206-213.

11. Машиновикористання в землеробстві / В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; за ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. - К.: Урожай, 1996.-384 с.

12. Міненко С.В. Визначення потужності на привід розрихлювача-вирівнювача картоплезбиральної машини // Сільськогосподарські машини: 36. наук, праць. - Луцьк, 2009. - Випуск 18.-е. 299-305.

13. Міненко С.В. Підвищення надійності машин для копання картоплі // Наука-виробництво Збірник тез доповідей: Кіровоград, 2009. -с. 81-83.

14. Пат. 30193 Україна, МКИ А 01 D 19/00. Сепараторний пристрій картоплезбиральної машини: Пат. 30193, МКИ А 01 D 19/00. С.В. Міненко, С.М. Хоменко, В.Л. Куликівський (Україна); Державний вищий навчальний заклад «Державний агроєкологічний університет». — № u200712976; Заяв. 23.11.2007; Опубл. 11.02.2008, Бюл. № 2/2009.-2 с.

15.Пат. 34451 Україна, МКИ А 01 D 19/00. Картоплекопач: Пат. 34451, МКВ А 01 D 19/00. С.М. Герук, С.В. Міненко, С.М. Хоменко (Україна); Державний вищий навчальний заклад «Державний агроєкологічний університет». - № u200803486; Заяв. 18.03.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. №15/2009. - 3 с.

- 16..Самокиш М.І., Бендера І.М., Фірман П.І., Фірман Ю.П. Активізація сепарації ґрунту в картоплезбиральних машинах: 36. наук, праць. - Кам'янець-Подільський, 2002, Вип. 10. - с. 227-230.
- 17.Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войлок, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. — К.: Вища освіта, 2005.-464 с.
17. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. У 2 кн. / Машини для рільництва. 2 кн. / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало. За ред. М.І. Чорновола. - К.: Урожай, 2002. - 364 с.
- 18.Смолінський С.В. Обґрунтування конструкції і параметрів спірального сепаратора картопляного вороху: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. - К.: 2002. - 143 с.: іл. -Бібліогр.: с. 133 - 143.
19. Статистичний щорічник України за 2005 рік. гг Держкомстандарст України, 2005. - 547 с*
- 20.Сухомлинов Л.Г. Рекомендації по виробництву картоплі за індустріальною технологією в колгоспах і радгоспах Української РСР. - К.: Урожай. - 1984. - 43 с.
- 21.Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарської техніки В.В. Адамчук, Г.Л. Баранов, В.М. Барановський та ін. — К.: Агр. Наука, 2004. - 394 с,
22. Типові норми виробітку і витрачення палива на механізовані польові роботи. - К.: Урожай, 1991. - 472 с.
23. Ткач В.Д. Бойко А.И. Определение угла установки и формы ножей фрезерных погрузчиков грубых кормов. Сб. научн. тр. «ВННИживмаш», вып. 8, Киев, 1983.
- 24.Ткачук В.С. Обґрунтування технологічних параметрів ротаційно-вібраційного сепаратора картоплезбиральної машини: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Таврійська державна агротехнічна академія. - Мелітополь, 2000. - 24 с.

25.Фірман Ю.П. Дослідження елеватора з активною се паруючою поверхнею // Збірник наукових праць Національного аграрного університету «Механізація сільськогосподарського виробництва». - К.: НАУ, 2003. - Том XV. - С. 327-333.

26.Фірман Ю.П. Обґрунтування параметрів та режимів роботи стрічкового сепаратора картоплезбиральної машини: Автореф. дис.

.. .канд. техн. наук / Львівський державний аграрний університет. - Львів, 2006, -19 с.

27. Шевченко І.А., Ткачук В.С. Фізико-механічні властивості ґрунту і картоплі, які визначають технологічний процес роботи картоплезбиральних машин // Праці Таврійської державної академії. Вип. 1, т. 16. - Мелітополь, ТДАТА, 2000. - С. 134-139.

ДОДАТКИ