

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМ. ПРОФ. О. СЕМКОВИЧА**

ДИПЛОМНА РОБОТА
Освітнього ступеня «Магістр»

**на тему: «Дослідження фізико-механічних властивостей картопляного
вороху з обґрунтуванням конструктивних параметрів спірального
сепаратора з метою підвищення якості очистки картоплі»**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-62

Спеціальності **208 «Агроінженерія»**

Людкевич Тарас Іванович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Гошко Зіновій Орестович

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО
СЕРВІСУ ІМ. ПРОФ. О. СЕМКОВИЧА**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
«28» 04. 2023 р.
Завідувач кафедри _____
к.т.н. доцент Шарибура А.О.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу

_____ Людкевич Тарасу Івановичу

(підпис)

1. Тема роботи: **«Дослідження фізико-механічних властивостей картопляного вороху з обґрунтуванням конструктивних параметрів спірального сепаратора з метою підвищення якості очистки картоплі»**

Керівник роботи Гошко Зіновій Орестович, к. т. н., доцент.

Затверджено наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/к-с.

2. Термін задачі студентом магістерської роботи до 15. 01. 2024р.

3. Вихідні дані для магістерської роботи: 1. *Технологічні вимоги до машин для збирання картоплі.* 2. *Патентний огляд.* 3. *Дослідний зразок сепаратора ґрунтового вороху картопліх.* 4. *Наукова та довідкова література.*

4. Перелік питань, які необхідно розробити: (наводиться зміст, який містить пункти і підпункти усіх розділів):

ВСТУП

1. СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ КАРТОПЛІ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Картопля, як об'єкту збирання; 1.2. Особливості будови сепараторів картопляного вороху; Висновки

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ СПІРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА

2.1. Обґрунтування теми і задач дослідження; 2.2. Розрахункова математична модель руху бульби по поверхні сепаратора; Висновки;

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 3.1. Програма проведення експериментальних досліджень; 3.2. Конструкція експериментальної установки; 3.3. Планування експериментів

4.РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати досліджень механіко-технологічних властивостей бульбин;
 4.2. Результати досліджень роботи шнека спірального сепаратора на процес сепарації; 4.3. Результати досліджень на лабораторному стенді; Висновки

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз процесів виникнення травм під час збирання картоплі; 5.2. Моделювання процесів виникнення травм; 5.3. Розробка заходів щодо зменшення виникнення травм під час збирання картоплі; 5.4. Охорона довкілля; 5.5. Охорона та ефективне використання ґрунтів

6. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

ДОДАТКИ

5. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-----------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1,2,3,4,6 | Гошко З.О., доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича | | |
| 5 | Тимочко В.О., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва | | |

6. Дата видачі завдання

28.04.2023 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|--|---|----------|
| 1 | Виконання першого розділу | 25.07-05.8 | |
| 2 | Виконання другого розділу | 05.8-15.9 | |
| 3 | Виконання третього розділу | 16.9-15.10 | |
| 4 | Виконання четвертого розділу | 16.10-29.10 | |
| 5 | Написання розділу «Охорона праці» | 30.10-09.11 | |
| 6 | Розрахунок економічної ефективності | 10.11-15.11 | |
| 7 | Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів доповіді | 15.11-25.11 | |
| 8 | Завершення проекту в цілому | 15.01.24 | |

Студент _____ Людкевич Т.І.

Керівник дипломної роботи _____ Гошко З.О.

Дослідження фізико-механічних властивостей картопляного вороху з обґрунтуванням конструктивних параметрів спірального сепаратора з метою підвищення якості очистки картоплі. // Людкевич Т.І. Дипломна робота на здобуття ОКР "Магістр". – Дубляни: ЛНУП, кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича, 2024р. – 66 стор. текст. част.; 10 таблиць; 22 рисунки; 32 літературні джерела

Одним із головних завдань агропромислового комплексу України завжди було нарощування темпів вирощування картоплі. З цієї точки зору актуальність роботи, направленої на розв'язання важливої наукової проблеми в області сепарації картоплі, не викликає сумніву.

Розглянуті технології збирання картоплі, проведено патентний пошук та аналіз конструкцій існуючих машин для її збирання, проведено аналіз теоретичних досліджень процесу сепарування картоплі на вібраційних сепараторах картоплезбиральних машин, що дає можливість прогнозувати доцільність проведення відповідних технічних заходів по удосконаленню робочих органів картоплезбиральних машин, що має важливе науково-теоретичне та практичне значення.

Відповідно до поставленої мети роботи і для вирішення завдань було складено програму та методику експериментальних досліджень та розроблено планування експерименту.

Визначено основні параметри і режими роботи вібраційного сепаратора, що дає можливість знизити травмування клубнів, підвищити повноту очищення та збільшити продуктивність машини.

Ключові слова: картопля, сепарація, міцність ґрунту, режими роботи.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 6 |
| 1. СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ КАРТОПЛІ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 10 |
| 1.1. Картопля, як об'єкту збирання | 10 |
| 1.2. Особливості будови сепараторів картопляного вороху | 11 |
| Висновки | 16 |
| 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ СПІРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА | 17 |
| 2.1. Обґрунтування теми і задач дослідження..... | 17 |
| 2.2. Розрахункова математична модель руху бульби по поверхні сепаратора..... | 22 |
| Висновки..... | 31 |
| 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 32 |
| 3.1. Програма проведення експериментальних досліджень..... | 32 |
| 3.2. Конструкція експериментальної установки..... | 32 |
| 3.3. Планування експериментів..... | 35 |
| 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 38 |
| 4.1. Результати досліджень механіко-технологічних властивостей бульбин..... | 38 |
| 4.2. Результати досліджень роботи шнека спірального сепаратора на процес сепарації..... | 41 |
| 4.3. Результати досліджень на лабораторному стенді..... | 43 |
| Висновки..... | 47 |
| 5. ОХОРОНА ПРАЦІ | 48 |
| 5.1. Аналіз процесів виникнення травм під час збирання картоплі..... | 48 |
| 5.2. Моделювання процесів виникнення травм..... | 49 |
| 5.3. Розробка заходів щодо зменшення виникнення травм під час збирання картоплі | 53 |
| 5.4. Охорона довкілля | 54 |
| 5.5. Охорона та ефективне використання ґрунтів..... | 55 |
| 6. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ | 56 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 60 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК..... | 62 |
| ДОДАТКИ..... | 64 |

ВСТУП

Одною з найважливіших сільськогосподарських культур для виробництва продуктів харчування, кормів і сировини для промисловості є картопля. По споживанню на одну людину (згідно рекомендацій Міністерства охорони здоров'я України на це потрібно до 130 кг), недарма картоплю звать "другим хлібом". Світові площі під картоплею в 1994 році склали 18,2 млн.га, з них близько 1,6 млн.га (9%) – це виробничі площі під картоплею на Україні, що фактично є третім місцем в світі. Світовий збір цього цінного продукту в рік складав 265,4 млн.т, з яких більше 6% було зібрано з українських полів.

Для забезпечення потреб України картоплею необхідно виробляти як мінімум 14,0 млн.т в рік. Це дозволить забезпечити необхідну норму споживання населенням, потрібний посадковий матеріал наступного сезону із врахуванням загальних втрат на всіх етапах виробництва картоплі (близько 15%). До 6,0 млн.т картоплі щорічно використовується для годівлі сільськогосподарських тварин, а також виробництва спирту і крохмалю.

При врожайності картоплі близько 100 ц/га валовий збір буде складати до 15,0 млн.т (в сприятливі роки до 20,0 млн.т), а отже потреба в картоплі буде майже задовольнятися. Але згідно статистичних даних виробництво картоплі в Україні зменшувалось і по роках складало: 1990 р. – 16,7 млн.т, 1994 р. – 16,1 млн.т, 1998 р. – 15,4 млн.т. Хоча картопля є однією з найприбутковіших сільськогосподарських культур ці дані показують, на жаль, тенденції до поступового зниження виробництва картоплі. Так, порівнюючи з іншими сільськогосподарськими культурами, прибуток з 1 га картоплі в 3,5-4,0 рази більше ніж з відповідної площі, що зайнята наприклад, цукровими буряками, в 4,0-5,0 рази – зерновими, 3,0-3,5 рази – ріпаком.

В останні роки спостерігається тенденція перенесення виробництва картоплі в приватний сектор сільського господарства України. На даний час 95% картоплі, що виробляється на Україні, припадає на присадибні селянські господарства, в яких механізовано виконується тільки оранка, і лише 5% в колективних господарствах. Тому подальший розвиток картоплярства буде

направлено на механізоване виробництво в колективних господарствах в сприятливих для цього ґрунтово-кліматичних умовах. Так, врожайність картоплі в зоні Полісся в 2,5-3,0 рази вища ніж в Лісостепу і Степу, а затрати при цьому майже в 3 рази нижчі. Тому економічно доцільно виробляти картоплю в зоні Полісся і розвозити її в сирому вигляді і як напівфабрикати по всій Україні.

Практично на Україні не існувало виробництво машин для збирання картоплі, а завозилась в основному із Росії. Після здобуття Україною незалежності виникла необхідність власної розробки і виробництва таких машин. Першими спробами вітчизняного сільськогосподарського машинобудування стали картоплекопачі Львівського заводу сільськогосподарських машин, Тернопільського комбайнового заводу, ВАТ "Борекс". Їх експлуатаційні випробування в умовах виробництва показали, що ці машини є досить вдалимими. Хоча надалі для виробництва картоплі в приватних і фермерських господарствах необхідно створювати машини із зменшеною матеріало- і енергоємністю, з можливістю агрегування із енергетичними засобами класу 0,6-0,9. Крім того вченими Інституту картоплярства встановлено, що використання картоплезбиральних комбайнів при врожайності картоплі менше 150 ц/га є недоцільним. Переважно врожайність картоплі по Україні складає близько 125 ц/га.

Мета дослідження.

Мета роботи – підвищення якісних показників процесу сепарації картопляного вороху шляхом розробки конструкції і оптимізації параметрів і режимів роботи сепаратора.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі *задачі*:

- проаналізувати існуючі конструкції очисників картоплі та обґрунтувати конструктивну схему сепаратора картопляного вороху;
- провести аналіз існуючих математичних моделей руху бульби картоплі по поверхні сепаратора та процесу сепарації вороху;
- визначити раціональні параметри і режими роботи досліджуваного

робочого органу і визначити агротехнічні показники роботи картоплезбиральної машини із встановленим на неї сепаратором.

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

Предмет дослідження – механіко-математичне та експериментальне обґрунтування засобу сепарації картопляного вороху і його основних параметрів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної і аналітичної механіки, опору матеріалів, а експериментальні дослідження - відповідно до прийнятої методики і галузевих стандартів в лабораторних і польових умовах на розробленій експериментальній установці з використання планування багатофакторного експерименту. Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалась на ПЕОМ за допомогою прикладних програм.

Наукова новизна. Виведено аналітичні залежності для визначення конструктивних і кінематичних параметрів доочисного пристрою з умови мінімізації втрат бульбоплодів в процесі їх очищення. Встановлено межі раціональних параметрів робочих органів на основі кінематичного аналізу характеру переміщення бульбоплодів після їх взаємодії з пружинним сепаратором. Цінність отриманих результатів полягає в розробці нової конструкції сепаратора картопляного вороху та математичних моделей руху тіла по поверхні сепаратора і процесу сепарації, одержанні теоретичних і експериментальних залежностей впливу конструктивних і кінематичних параметрів сепаратора на якісні показники роботи.

Встановлено раціональні конструктивні і кінематичні параметри робочих органів та виведені регресійні залежності з визначення ступеня втрат, пошкоджень і забрудненості бульбоплодів від параметрів доочисного пристрою.

Практична цінність. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано схему сепаратора картопляного вороху, який

дозволить зменшити втрату бульб до 1,8% (дрібні бульби до 20 мм, які провалились крізь просіваючи просвіти), пошкодження бульб на 46,7% (переважно пошкодження кірки бульб до 25% поверхні) і ширину валка бульб – на 20,8-28%.

Під час досліджень застосовувались статичний, розрахунково-конструктивний, експериментальний, кореляційний методи. Математичне опрацювання результатів досліджень проводилось у обчислювальному центрі ЛНУП.

Публікації. Результати досліджень пройшли апробацію в 1 роботі.

Одержані результати досліджень:

- одержана математична модель роботи сепаратора;
- оптимізовані конструктивно-технологічні параметри модернізованого робочого органу сепаратора;

Впровадження одержаних результатів досліджень дозволить підвищити ефективність робочого процесу збирання картоплі та її очистки, зменшить питому енергомісткість і металомісткість обладнання.

1. СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ КАРТОПЛІ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Картопля, як об'єкту збирання

На період збирання картоплі поверхня поля має гребенисту форму. Висота гребенів, залежно від технології вирощування і комплексу машин для її забезпечення становить 11...20 см. Стандартна ширина посадки картоплі в Україні 70 см. Ширина залягання бульб у гнізді картоплі 7...40 см, а глибина — до 25 см.

Основні технологічні властивості бульб картоплі залежать від сорту та кліматичних умов вирощування. Вобному корчі, може залягати від 4 до 30 бульб. Висота бадилля 60...90 см, діаметром 4...20 мм.

Масові та розмірні показники бульб картоплі злежать від сорту та кліматичних умов і коливаються в значних межах від 25 г. до 180 г.

В.П. Горячкін виведена залежність геометричних розмірів бульб від маси:

$$m = E_k abc, \quad (1.1)$$

де m - маса бульб;

E_k - 0,56...0,65 — коефіцієнт;

a, b, c - довжина, ширина і товщина бульб.

Щоб визначити об'єм, використовують вираз:

$$V = E_o abc, \quad (1.2)$$

де E_o — коефіцієнт, $E_o = 4/3$.

Щільність картоплі 0,5...0,7 т/м³, а густина — 1,04...1,09 г/см³.

Зусилля відриву бадилля від бульб 4...12 Н, і суттєво менше, від граничного зусилля руйнування бульб, яке залежить від розмірних та сортових показників картоплі 200...990 Н. Зусилля руйнування ґрунтових агрегатів, залежить від їх розмірів і коливається в межах 40...200 Н. Ці результати свідчать, що межі міцності бульб та ґрунтових агрегатів, майже не

перекриваються.

Процес сепарації і розділення картоплі і ґрунтових агрегатів на очисних механізмах картоплебиральних машин заснований на різниці їх геометричних розмірів та фрикційних властивостей.

1.2. Особливості будови сепараторів картопляного вороху

Під час збирання картоплі, є дві важливі операції перша – викопування бульбин, друга – їх очистка від залишків бадилля та ґрунту.

Кількість конструктивних рішень очисних механізмів для сепарації картоплі дуже велика. До основних із них відносять роторні, пруткові, шнекові, кулачково-бітерні.

Роторні сепаратори працюють за принципом дії на об'єкти очищення, з допомогою відцентрової сили. Схема розміщення роторів, їх кількість, і напрям обертання залежить від конструктивних особливостей картоплебиральних машин.

Даний тип сепараторів зарекомендував себе високою надійністю в роботі, особливо на важких і середньвожких ґрунтах і має певні переваги над очисниками шнекового та кулачкового типів.

Типова, за будовою схема роторного очисника застосована в сепаруючій пристрої коренезбиральної машини "Holmer" (ФРН). Викопані бульбини з підкопуючи органів, спрямовуються на роторний сепаратор, де здійснюється їх основна очистка.

Попри всі переваги переваги очисники роторного типу мажть один суттєвий недолік - значне травмування бульбин. Ця особливість обмежує їх використання у конструкціях вітчизняних картоплебиральних машинах.

Шнекові очисники можна розділити за способом встановлення робочих органів, на поперечні та поздовжні. Поперечні шнекові сепаратори, складаються з двох частин - передньої і задньої. Передня частина виконується з двох (трьох) валів з гвинтовою навивко, що забезпечує переміщення картопляного вороху до

периферії очисних шнеків. Це зумовлює більший час перебування картоплин, а отже сприяє їх більш якісній очистці.

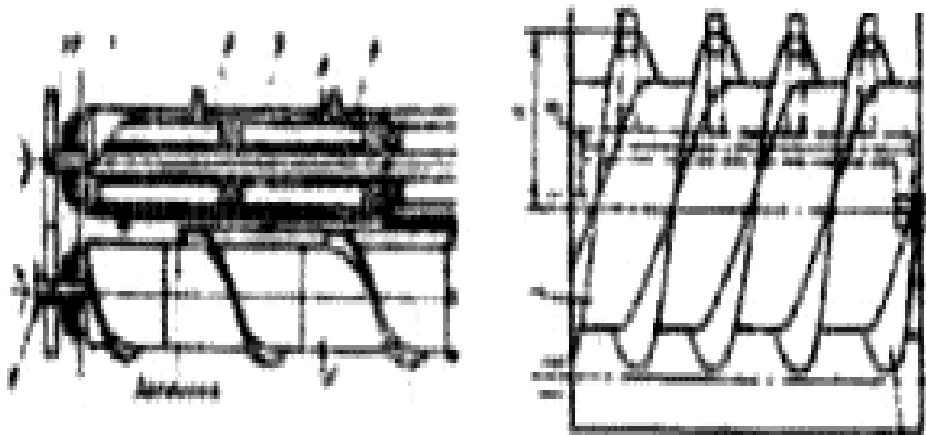
Повздовжні сепаратори шнекового типу очищають бульби в напрямку осі обертання. Їх, переважно, застосовуються замість стрічкових елеваторів.

Суттєвою перевагою шнекових очисників, є їх можливість в одному процесі сумістити кілька технологічних операцій, а саме відділення залишків картопляного вороху і транспортування бульбин. Якість їх роботи є досить високою, тривалий час сепарації негативно впливає на якість продукції, зростає ступінь травмування бульбин.

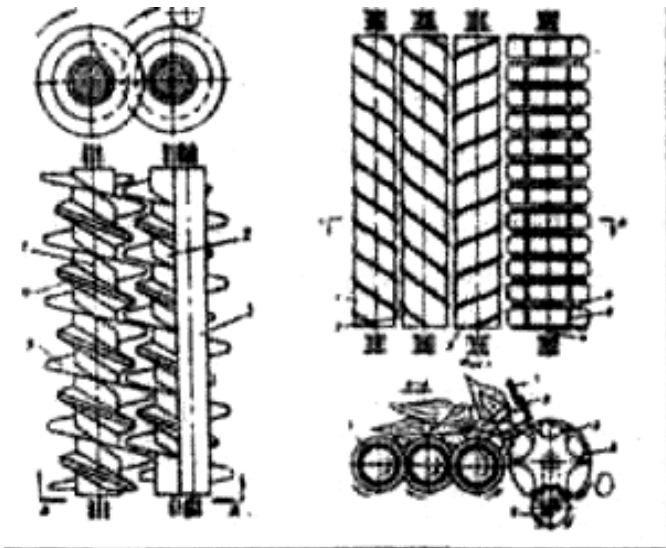
Зменшити травмування бульбин, можна досягнути довільним розташуванням гвинтової спіралі на валу сепаратора.

Однак дане технічне рішення, є причиною послаблення жорсткості очисника і може використовуватись під час роботи картоплекопача на легких ґрунтах.

Додатковий обертальний рух бульбини отримують за рахунок Каріоліусового прискорення, що виникає внаслідок взаємодії гофрованої гвинтової поверхні сепаратора з бульбинами, (А.С.СРСР №1202506).



Щоб зменшити травмування бульбин, у наслідок ударних навантажень, сепаруючі елементами виготовляють суцільними з еластичного матеріалу (А.С.СРСР №1556567), або окремими сегментами (А.С.СРСР № 1653945).

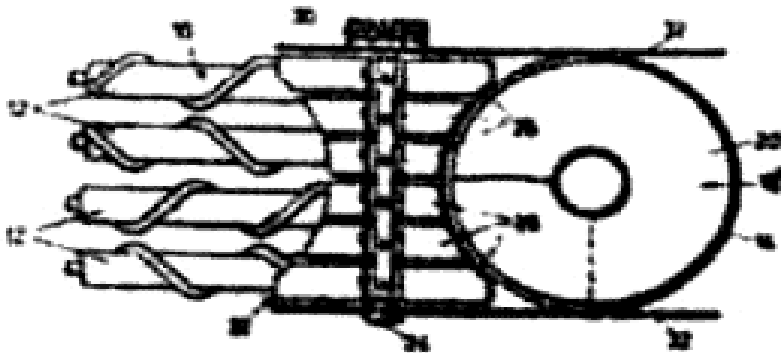


Не зважаючи на зменшення травмувань бульбин, цей спосіб виготовлення сепараторів не отримав широкого застосування, оскільки гума швидко зношуються в процесі роботи.

Виконання робочої поверхні у вигляді набору кулачкових дисків (А.С.СРСР №1304772) підвищує

сепаруючі властивості, але значні контактні напруження, що виникають між поверхнею сепаратора і бульбинами, призводять до значних пошкоджень.

Шнекові повздовжні сепаратори (А.С.СРСР №740182) добре себе



зарекомендували на кінцевій стадії очистки картоплі, коли основна маса вороху відділена, оскільки вони працюють на вищих швидкостях переміщення бульб відносно шнека, у

порівнянні з поперечними транспортерами.

З проведеного аналізу, відомих типів картоплезбиральних машин можна зробити висновок, що робота картоплезбиральних машин в належній мірі не задовольняє поставленим вимогам: чистота бульб в тарі - 97% і більш, пошкодження – до 5% і втрати не більше 4.6% бульб [3, 6].

Навіть за оптимальних умов (висока врожайність картоплі, низька засміченість бур'янами і вологість ґрунту 18...20%) в тарі для картоплі є значний відсоток ґрунту і рослинних домішок, останнє пов'язано з недосконалістю сепаруючих органів картоплезбиральних машин [7].

У зв'язку з цим, створення, вдосконалення і обґрунтування

конструктивних параметрів органів сепарації, що використовуються на картоплезбиральних машинах, є актуальним завданням.

Схема одного з них наведена на рис.1.1.

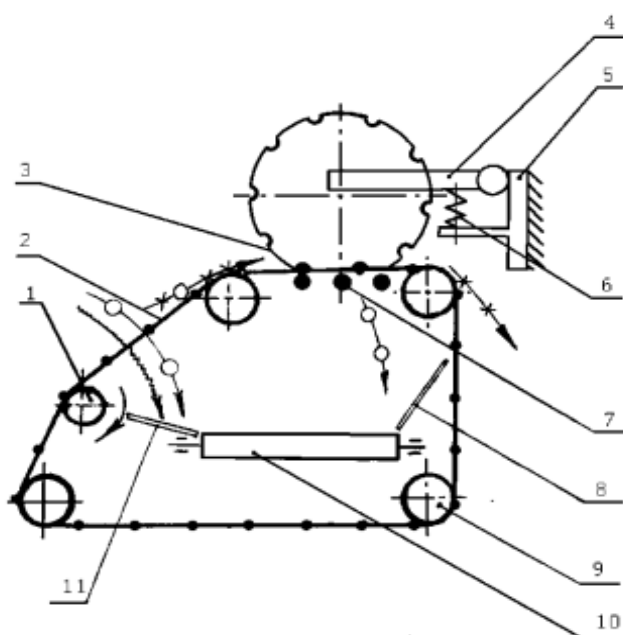


Рисунок 1.1 - Пристрій для відділення картоплин від бадилля:

а – вигляд пристрою, з боку;

1 - провідна зірочка; 2 - похилий рідкопрутковий транспортер; 3-пневмо балон; 4- підпружинений механізм; 5 – стійка; 6 – пружина; 7 - обчісуючі валики; 8 – відбивний щиток; 9 - підтримуюча зірочка; 10 - транспортер; 11 – підшипник.

Пристрій працює наступним чином. При падінні бульб, бадилля і грудок ґрунту на похилу поверхню, редкопруткового транспортера 2, завдяки різним значенням пружних і фрикційних властивостей компонентів, коефіцієнта тертя кочення, розмірів і питомої ваги, на рідко прутковому транспортері відбувається процес сепарації картопляного вороху, процес відділення бульб від ґрунтових агрегатів і домішок. При цьому, основна маса бульб провалюється через поверхню рідкопруткового транспортера вниз, а земля, протрапляючи на транспортер 10, викидається на поверхню ґрунту. Бульбами з невідірваним бадиллям, зависють на прутках рідкопруткового транспортера, подаються до притискного пристрою і притискається. Проходячи через обчісуючі валики 7, бульбини і падають вниз. Бадилля, притиснуте пневматичним балоном 3, залишається на транспортері і переміщається далі, і видаляється.

Іколи робота сучасних картоплезбиральні машини виконується незадовільно [7], через недоліки органів вторинної сепарації.

Запропонована конструкція сепаруючої гірки картоплезбиральної

машини, щоб підвищити ефективність, розділення компонентів бульбоносного вороху [3].

Механізм працює таким чином. Картопляний ворох конвеєром завантаження 6 (див. рис 1.2) подається на гірку розподілу 1, нескінченна транспортерна стрічка 2 якого має робочу 3 і зворотну 4 вітки з пружними пальцями 5. Завдяки різним властивостям компонентів вороху на поверхні пальчатого полотна гірки, відбувається процес сепарації. Основна маса бульб скачується по поверхні полотна гірки на вивантажувальний конвеєр 7.

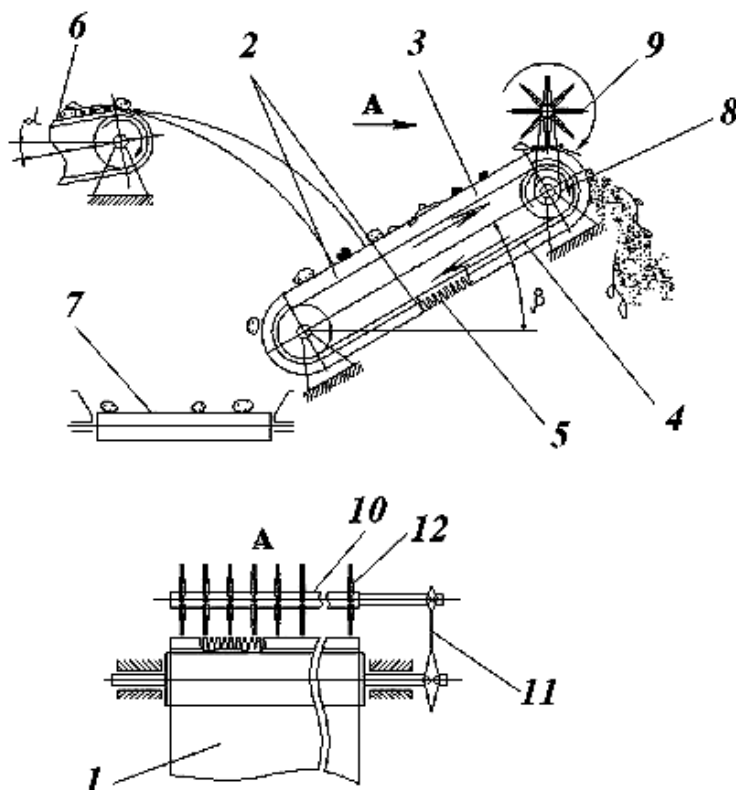


Рисунок 1.2. – Сепаратор на базі очисної гірки

Домішки утримуються пальцями і піднімаються вгору до клубневідбивача 9, щорозташований над головним барабаном 8 пальчатої гірки і виконаний у вигляді встановленого на привідному валу відбійного вала 10, забезпеченого обгумованими виступами 12. Виступи виконані у вигляді усіченого конуса. Картоплевідбивач від приводу 11 отримує обертовий рух назустріч вороху. Перед видаленням домішок на поле, грудки, каміння і рослинні рештки вступають у контакт з прогумованими виступами 12 картоплевідбивача 9. Бадилля і рослинні рештки потрапляють у робочий зазор

між поверхнею гірки і картоплевідбивачем і виносяться за межі картоплезбиральної машини, а бульби взаємодіючи з виступами картоплевідбивача, скочуються по похилому полотну гірки на конвеєр вивантаження.

В результаті експериментальних досліджень розробленого органу вторинної сепарації встановлено, що повнота відділення картоплі від рослинних і ґрунтових домішок підвищилася в середньому в 1,4 разу, травмування бульб зменшилася на 7%.

Підвищення ефективності сепаруючих елементів – це одна з найважливіших умов при створенні картоплезбиральних машин з високими агротехнічними показниками.

Висновки

Травмування бульбин, під час механізованого збирання залежить, від особливостей конструкції машини: тиск в подрібнювачах грудок, амплітуди струшування сепаруючих органів, кута нахилу бидилевідривного пристрою і тому подібне, від умов середовища: маси каменів, температури, твердості і вологості ґрунту і так далі. Причому залежність від фізико-механічних властивостей і типу ґрунту, дуже істотна.

Існують наступні напрями, для вдосконалення картоплезбиральної техніки, з точки зменшення механічних пошкоджень бульбин:

1. Обґрунтування оптимального технологічного процесу механізованого прибирання картоплі для кожної ґрунтово-кліматичної;
2. Створення принципових схем картоплезбиральних машин для конкретних ґрунтово-кліматичних умов;
3. створення конструкцій робочих органів для певних ґрунтово-кліматичних умов.

Враховуючи вищевказане, нами запропоновано декілька варіантів конструкцій очисних механізмів картоплезбиральних машин і технічних засобів для дослідження травмування бульб [5].

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ СПРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА

2.1. Обґрунтування теми і задач дослідження

Під час розробки та проектування картоплезбиральної техніки, надавати переваги машинам з мінімальними: кількістю каскадів і довжиною сепаруючих транспортерів [6].

Заропоноване технічне рішення, використане в картоплезбиральних машинах, дозволить підвищити ефективність механізованого збирання картоплі.

Під час збирання картоплі, сучасні картоплекопачі незадовільно сепарують картопляний ворох у тяжких умовах. Грунт не встигає просіятись через прутковий транспортер, внаслідок чого картопля проходить разом з ґрунтом і втрати при збиранні сягають до 30%. Ми пропонуємо модернізований картоплекопач (рис. 2.1).

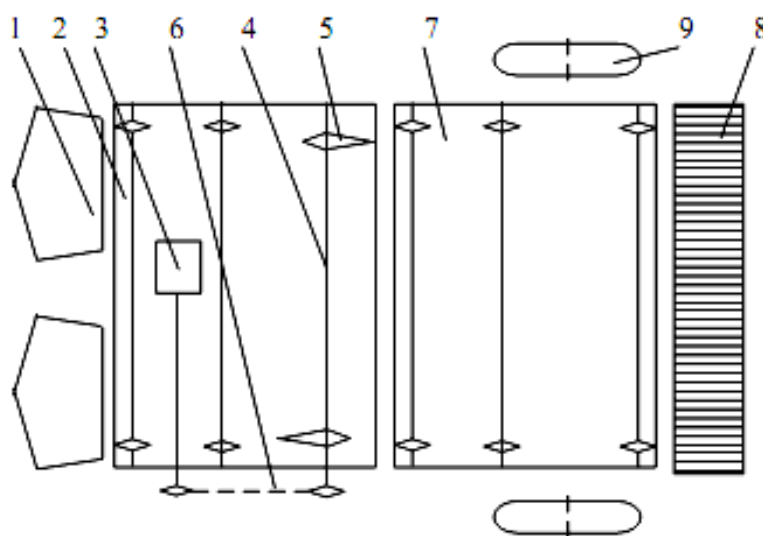


Рисунок 2.1 - . Модернізований картоплекопач: 1 – леміші; 2 – перше елеваторне полотно; 3 – редуктор; 4 – привідний вал; 5 – ексцентрикові привідні зірочки; 6 – ланцюгова передача; 7 – друге елеваторне полотно; 8 – скатна решітка; 9 – ходове колесо

За допомогою отворів в ексцентриковій маточині 3 і зубчатому вінці 2 привідних зірочки, за рахунок повороту відносного один одного, є можливість

змінювати величину ексцентриситету, тим самим змінювати режим коливального руху полотна. Крім того, зірочки 2 своїми ексцентриситетами встановлені під кутом 180^0 одна до одної, тим самим по черзі підкидають ліву і праву сторони елеватора. Частинки вороху підкидаються і літають по параболі, під кутом до горизонту, з початковою швидкістю V_0 . Аналіз руху наведений на рис 2.2.

У нашому випадку, частинка рухається по траєкторії, описаній виразом [6]:

$$y = tg\alpha x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2, \quad (2.1)$$

Максимальна висота підкидання частинки буде:

$$h = \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \quad (2.2)$$

І дальність польоту її визначається як:

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (2.3)$$

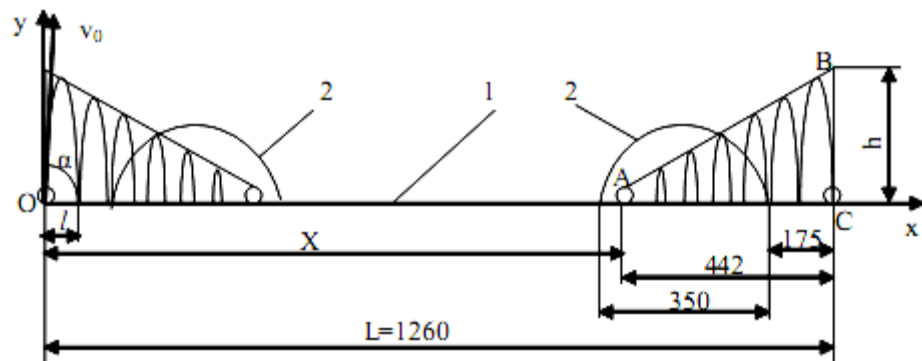


Рисунок 2.2 - Аналіз руху частинки в поперечному напрямі:

1 – полотно елеватора; 2 – ґрунтовий ворох

На основі проведеного аналізу, ми встановили, що для ексцентриситету $E=0,03$ м і впливу правої зірочки на полотно, що на відстані $X=818$ мм в точці А прискорення частинки $a=g$, частинка відривається від полотна і з збільшенням X , підкидання збільшується і досягає в точці В максимальної величини $h=0,01$ м і $l=0,01$ м. Аналогічне підкидання ми спостерігаємо з лівого боку.

Таким чином, з лівого і правого боку пласт на відстані 442 мм струшуватиметься і зміщуватиметься до середини елеватора, і під дію потраплятиме 70% поверхонь елеватора в поперечному напрямі, що приведе до інтенсивної сепарації ґрунту.

Збільшуючи кута нахилу полотна транспортера до горизонту, інтенсивність процесу сепарації зростає. Максимальний кут нахилу першого транспортера не повинен перевищувати кут тертя ґрунту по сталі. Для більшості сепараторів, даний кут приймають у межах 20...22°. Кут нахилу наступних каскадів транспортерів не повинен перевищувати кут тертя бульб по сталі, даний кут приймають у межах 10...15°.

Для заподігання нагромаджень ґрунтового вороху на планках транспортерів, необхідно, що їх швидкість була більшою за швидкість картоплезбиральної машини. Умова відсутності накопичення ґрунту:

$$V_e \geq \frac{V_M}{\cos \alpha}, \quad (2.4)$$

де V_e — швидкість транспортера;

α — кут нахилу транспортера.

Зростання швидкості тарнспортера сприяє інтенсивнішому розпушенню ґрунту, і зменшенню його кількості на поверхні транспортера.

Прийнято приймати для картоплезбиральних машин, співвідношення швидкості транспортера і машини в межах 1,3-1,6 раза, що становить 1,5...2,5 м/с.

Інтенсивність сепарації та руйнування ґрунтових агрегатів зростає, при струшуванні робочого полотна пруткового транспортера.

Отже, відрив ворху від полотна транспортера, залежить від кута нахилу транспортера та радіуса коливань. Для радіусу коливань $r = 65$ мм, і кута нахилу полотна $a = 22^\circ$, ґрунтовий ворох буде струшуватися, при кутовій швидкості обертання зірочки, більше 11,8 рад/с.

Інколи, застосовують важільно-роликовий коливний механізм (рис.2.3).

Його перевага у тому, що можна регулювати інтенсивність коливань.

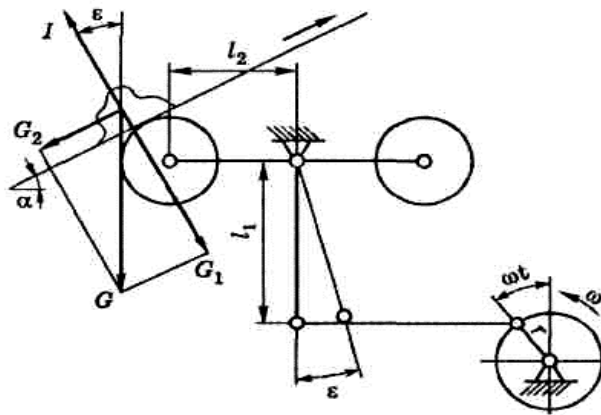


Рис. 2.3. Схема дії важільно-роликового сепаратора

Внаслідок удару ролика об прутки транспортера знизу, ґрунтовий ворох притискається до прутків. Підкидання вороху відбудеться тоді, коли прутки піднімуться у верхнє положення. Сила інерції при цьому становитиме:

$$I = m\omega^2 r \sin \omega \frac{l_2}{l_1} \cos \varepsilon, \quad (2.5)$$

де ω - кутова швидкість;

r - радіус кривошипа;

l_1, l_2 - плечі важелів;

ε - кут повороту.

Позначивши :

$$\frac{l_2}{l_1} = \lambda \quad (2.6)$$

отримаємо:

$$\omega^2 r \geq \frac{\lambda g \cos \alpha}{\cos \varepsilon \sin \omega t}, \quad (2.7)$$

Звідси:

$$\omega \geq \sqrt{\frac{\lambda g \cos \alpha}{r \cos \varepsilon \sin \omega t}}, \quad (2.8)$$

Оскільки кут малий ($\varepsilon < 10^\circ$), то приймають $\cos \varepsilon \approx 1$.

Тоді:

$$\omega t = \frac{\pi}{2}, \quad (2.9)$$

ортимаєм $\omega = 1$. Мінімальна кутова швидкість руху кривошипа, для якої ґрунтовий ворох отримає струшу вальні коливання:

$$\omega_{\min} = \sqrt{\frac{\lambda g \cos \alpha}{r}}, \quad (2.10)$$

Для нерегульованого вала кривошипа визначають мінімальний радіус кривошипа:

$$r_{\min} = \frac{\lambda g \cos \alpha}{\omega^2}, \quad (2.11)$$

Від довжини робочої поверхні транспортера залежить якість сепарації. Оптимальними, вважають довжина 1,5...1,7 м.

Довжину робочої поверхні транспортера l визначають потрібною висотою піднімання вороху H :

$$l = \frac{H}{\sin \alpha}, \quad (2.12)$$

Ширину транспортера, відповідно до конструктивної ширини лемішів. Для однорядних 530...575 мм, для дворядних — 1000... 1200 мм.

Відстань між прутками елеватора, повинна бути меншою мінімально збираної фракції бульб:

$$t - d \leq d_{\delta}, \quad (2.13)$$

де t - крок прутків; $d = 10... 11$ - діаметр прутків, мм; d_{δ} - діаметр бульб.

Враховуючи розмір мінімальної фракції бульб, використовують транспортери з кроком прутків 36,0...41,3 мм. Живий переріз робочої поверхні транспортера η становить 75 %:

$$\eta = \frac{F_0}{F} 100, \quad (2.14)$$

де F_0 - площа просвітів;

F- площа полотна.

2.2. Розрахункова математична модель руху бульби по поверхні сепаратора

Згідно теоретичних досліджень необхідно розглянути положення картоплини на поверхні спірального сепаратора. Розглянемо випадок розміщення картоплі в руслі між вальцями.

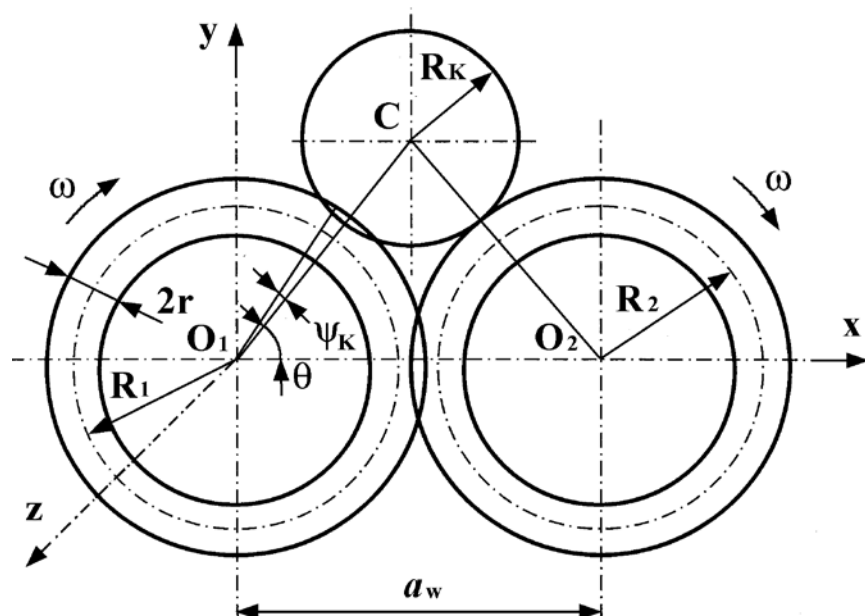


Рисунок 2.4 - Схема розташування картоплі на поверхні спірального сепаратора

Розглянемо розташування картоплі радіусом R_K на поверхні спірального сепаратора, виготовленого у вигляді спіралі радіусом R_i , з кроком навивки S і кутом гвинтової лінії γ . Наведемо систему координат xO_1yz (рис.2.4), вісь O_1x котрої спрямована вздовж центрів спіралей, в точці O_1 , а вісь O_1z – вздовж лінії.

Для цієї системи координат рівняння відгуку кожної поверхні i -го вальця, має вигляд :

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_{oi} + R_i \cos(\psi_{oi} + \psi_i), \\ y_i &= y_{oi} + R_i \sin(\psi_{oi} + \psi_i), \\ z_i &= z_{oi} \pm \frac{S_i \psi_i}{2\pi}, \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

де x_{oi} , y_{oi} , z_{oi} – координати центрів i -го вальця. Для нас $x_{o1} = y_{o1} = z_{o1} = 0$; $x_{o2} = a_w$; $y_{o2} = z_{o2} = 0$;

$\psi_i = \omega t$ - кутові швидкості спіралей;

ψ_{oi} - кутова швидкість параметрів i -го вальця, для $t = 0$.

З третього рівняння системи (2.15) визначаємо напрям навивки спіралі: для правої навивки, знак “плюс”; в іншому – “мінус”.

Рівняння навіаки спіралей, утворених осями витків 1 і 2, мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= R_1 \cos(\psi_{o1} + \psi_1), \\ y_1 &= R_1 \sin(\psi_{o1} + \psi_1), \\ z_1 &= -\frac{S_1 \psi_1}{2\pi}, \end{aligned} \right\} \quad \text{- перша спіраль,} \quad (2.16)$$

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= a_w + R_2 \cos(\psi_{o2} + \psi_2), \\ y_2 &= R_2 \sin(\psi_{o2} + \psi_2), \\ z_2 &= -\frac{S_2 \psi_2}{2\pi}. \end{aligned} \right\} \quad \text{- друга спіраль.} \quad (2.17)$$

В Декартовій системі координат $xOyz$ (2.17) за умови, що бульба знаходиться на поперечній осі:

$$\left. \begin{aligned} x &= (R + \rho \cos \varphi) \cos \psi + \rho \sin \varphi \sin \gamma \sin \psi, \\ y &= (R + \rho \cos \varphi) \sin \psi - \rho \sin \varphi \sin \gamma \cos \psi, \\ z &= \frac{S \psi}{2\pi} + \rho \cos \gamma \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Для спіралі, кутова швидкість, якої обертається навколо нерухомої осі:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= (R + \rho_i \cos \varphi_i) \cos(\psi_0 + \omega t) + \rho_i \sin \varphi_i \sin \gamma \sin(\psi_0 + \omega t), \\ y_i &= (R + \rho_i \cos \varphi_i) \sin(\psi_0 + \omega t) - \rho_i \sin \varphi_i \sin \gamma \cos(\psi_0 + \omega t), \\ z_i &= \frac{S \omega t}{2\pi} + \rho_i \cos \gamma \sin \varphi_i. \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

Для спіралі закріпленої з ексцентриситетом ε , перші два рівняння (2.19) матимуть вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= R \cos(\psi_0 + \omega t) + \varepsilon \cos \omega t, \\ y_i &= R \sin(\psi_0 + \omega t) + \varepsilon \sin \omega t. \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

З допомогою отриманої системи рівнянь (2.20), можемо описати рух бульбини по поверхні однієї спіралі.

На графіках подані зміни координат точок на поверхні спіралі x і y з часом для різних радіусів, ексцентриситету кріплення і кутової швидкості обертання спіралі.

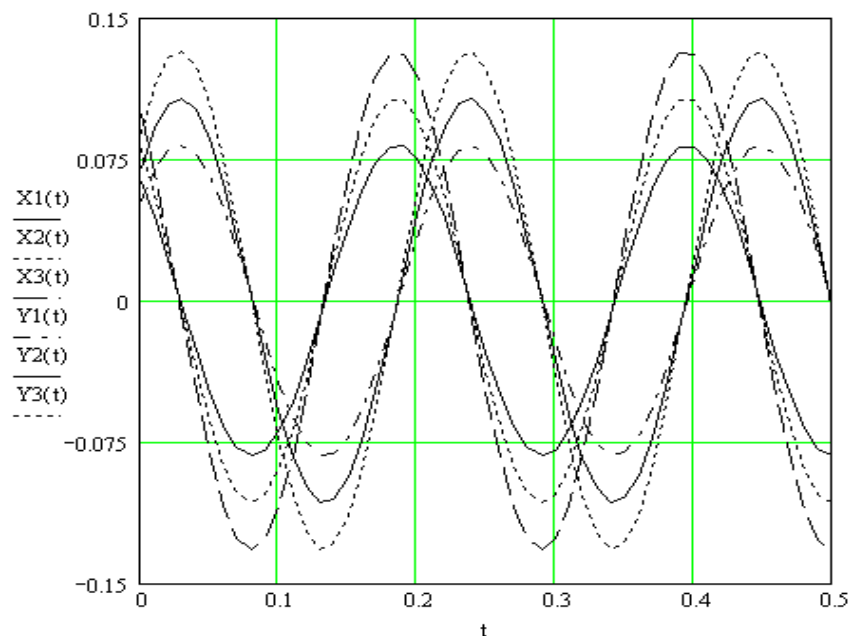


Рисунок 2.5 - Зміна координат x і y , для кутової швидкості обертання спіралі 30 рад/с, і ексцентриситету кріплення спіралі 10 мм і радіуса спіралі: 1) 50 мм; 2) 75 мм; 3) 100 мм.

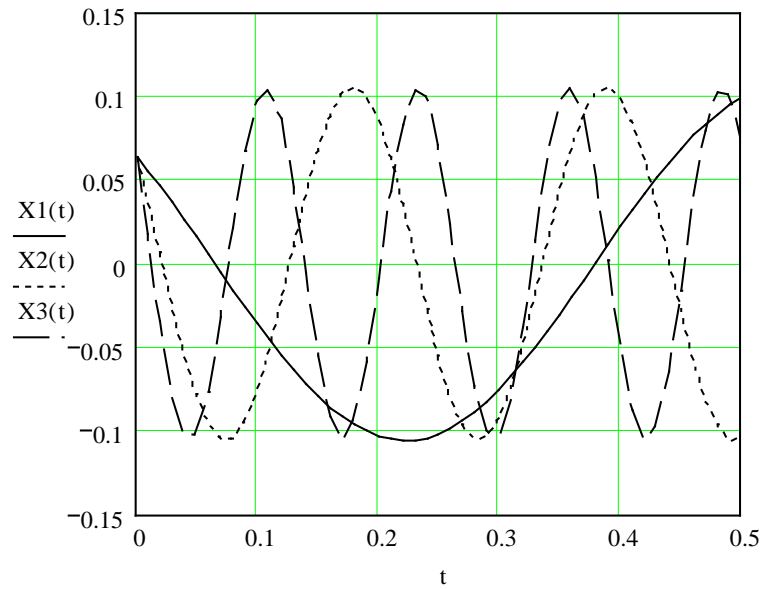


Рисунок 2.6 - Зміна координати точки x на поверхні спіралі, для радіусу спіралі 75 мм, ексцентриситету 10 мм і кутової швидкості: 1) 10 рад/с; 2) 30 рад/с; 3) 50 рад/с

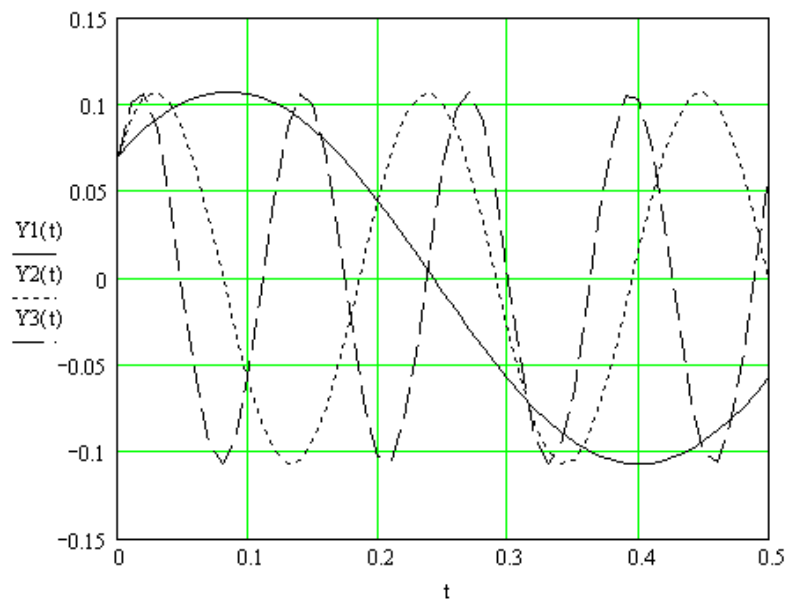


Рисунок 2.7 - Зміна координати точки y з часом для радіусу спіралі 75 мм, ексцентриситету 10 мм і кутової швидкості обертання спіралей: 1) 10 рад/с; 2) 30 рад/с; 3) 50 рад/с

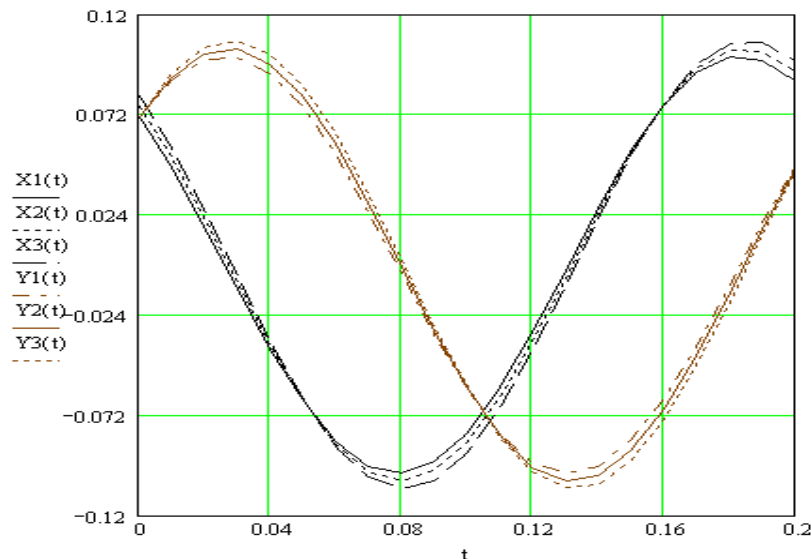


Рисунок 2.8 - Зміна координат точок x та y для радіусу спіралі 75 мм, кутової швидкості обертання спіралі 10 рад/с і ексцентриситета кріплення вальців: 1) 0 мм; 2) 5 мм; 3) 10 мм

Дослідимо вплив на кутові координати, координат змінних геометричних параметрів.

$$(R + \rho \cos \varphi) \cos \psi = \left(R_K + \frac{d_n}{2} \right) \sin \gamma \cos \varphi \sin \psi .$$

Після перетворень випливає:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R \operatorname{tg}^2 \gamma (\pi - \psi)}{R + \frac{1}{\cos \gamma} \sqrt{\rho^2 \cos^2 \gamma - R^2 (\pi - \psi)^2}} . \quad (2.21)$$

Геометричні параметри спіралі, впливають на значення кута ψ , залежно від параметра ρ , радіуса спіралі R і значення навивки γ .

Якщо, прийняти, що тіло картопі має форму еліпсоїда з півосями a і b , то відстані від центру i -ої спіралі, з якою взаємодіє картопля, до її центру буде:

$$\begin{aligned} L_{\max i} &= R_i + a = R_i + 2R_\sigma - b \\ L_{\min i} &= R_i + b = R_i + 2R_\sigma - a \end{aligned} \quad (2.22)$$

Знаходимо максимальну амплітуду коливання спіралі:

$$L_{maxi}^2 - \left(\frac{a_w}{2} + A_{maxi} \right)^2 = L_{mini}^2 - \left(\frac{a_w}{2} - A_{maxi} \right)^2.$$

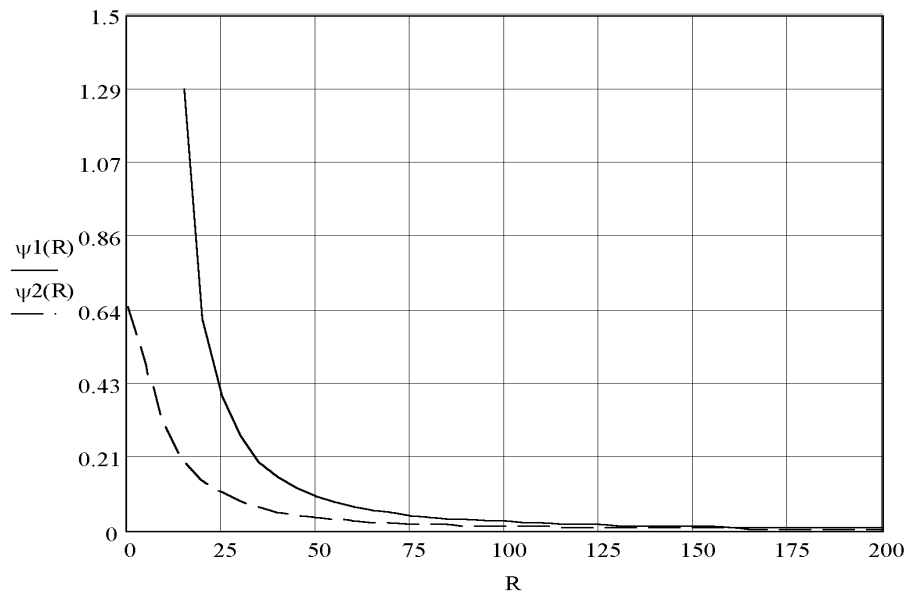


Рисунок 2.9 - Зміна кута ψ від радіуса спіралі і кроці навивки $S = 40$ мм, та радіусі картоплин $R_K = 25$ мм, знаходимо з (2.23):

$$A_{maxi} = \frac{(R_1 + a)^2 - (R_2 + b)^2}{2a_w}. \quad (2.23)$$

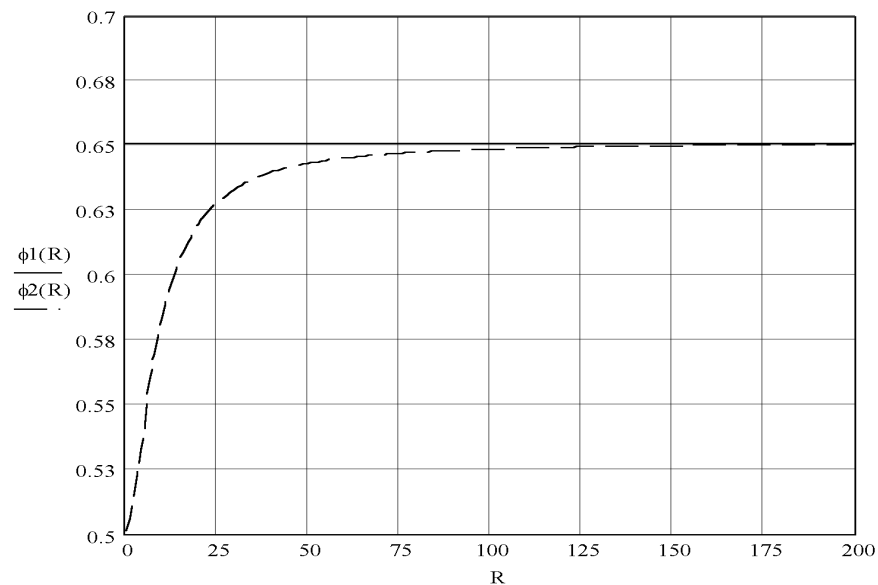


Рисунок 2.10 - Залежність кута φ від радіуса спіралі і кроці навивки $S = 40$ мм, та радіусу картоплин $R_K = 25$ мм

Для знаходження дійсного значення максимальної амплітуди домножують отримане з (2.58.) значення A_{maxi} на коефіцієнт k_n , який залежить

від конструктивних розмірів і приймається 0,9...1,0 для нормальних умов експлуатації.

Допустивши, що взаємодія бульбини відбувається з першою спіраллю, а з другою - мінімально, то отримаємо вираз:

$$A_{\max} = \frac{(R_1 + a)^2 - (R_2 + b)^2}{2(R_1 + R_2 - k)}. \quad (2.24)$$

З нього, для швидкості руху спіралей 75 мм, перекритті 5 мм, значеннях еліпсоїда бульби 30 і 20 мм, амплітуда коливань спіралі досягатиме 6,9 мм. Щоб збільшити амплітуду коливань, для бульбин одного розміру, необхідно

Розглянемо відносний рух одиничної картоплини по поверхні спірального сепаратора, щоб описати його взаємодію з ним, (рис. 2.11).

На картоплину діятимуть сили:

$G = mg$ - вага картоплини;

\bar{N} - сила нормальної реакції;

$F = fN$ - сила тертя ковзання картоплі по металевій поверхні сепаратора

$f = 0,2 \dots 0,3$;

\bar{P}_n^e - відцентрова сила інерції, напрямлена по нормалі до траєкторії руху:

$$P_n^e = m\omega^2 \rho,$$

де ρ - положення центру ваги бульбини відносно вісі спіралі.

Вигляд рівняння руху картоплі, по спіральній поверхні:

$$m\bar{W} = \bar{G} + \bar{N} + \bar{F} + \bar{P}_n^e + \bar{P}_u^k + \bar{P}_v, \quad (2.25)$$

де \bar{W} - прискорення руху центра ваги картоплі по поверхні вальця.

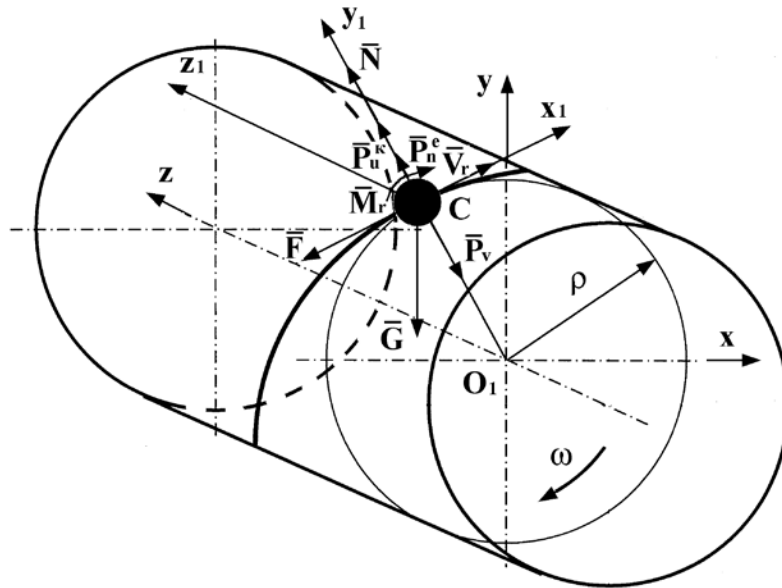


Рисунок 2.11- Схема руху картоплі по поверхні спірального вальця

Для системи координат O_1xyz вісь O_1z співпадає з віссю спіралі. Рух центра ваги картоплі в системі координат O_1xyz опишемо рівнянням:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= -(P_n^e + N + P_u^k - P_v) \cos(\hat{x}, \hat{n}) - F \cos(\dot{x}, \hat{V}), \\ m\ddot{y} &= (P_n^e + N + P_u^k - P_v) \cos(\hat{y}, \hat{n}) - F \cos(\dot{y}, \hat{V}) - G. \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

Проведемо графічне інтегрування виразу. Прийmemo для бульби радіус $R_k=25$ мм, спіралі $R=75$ мм, крок її навивки $S=30$ мм, ексцентриситет кріплення $\varepsilon=10$ мм, розміщення картоплин відносно осі обертання $\rho=120$ мм, коефіцієнт тертя ковзання $f=0,55$, кут тертя кочення $\mu=17^\circ$. Для отриманих результатів, будемо графік зміни кутової швидкості картоплі, для кутових швидкостей обертання спіралі $\omega=10, 20, 30, 40, 50$ рад/с.

Згідно графіка, із зростанням кутової швидкості спіралі, кутова швидкість обертання картоплі навколо власної осі зменшується, наближаючись до нуля.

На основі результатів графіків (рис. 2.12 а, б), можемо зробити висновок, що, на кутову швидкість обертання картоплі (крива 2), впливає ексцентриситет кріплення спіралі (крива 3) і крок навивки (крива 4). Збільшуючи перераховані параметри, швидкість обертання картоплі зменшується.

На швидкість обертання картоплі, найбільше впливає зміна кроку спіральної навивки, найменше – ексцентриситет. Отже, щоб досягти мінімальну кутову швидкість обертання картоплі, слід збільшити ці параметри.

$$\omega_{min} = \left(1 + \frac{2\pi \left(R_K + \frac{d_n}{2} \right)}{S} \cos \gamma \cos \theta \right) \cdot \dot{\theta}. \quad (2.27)$$

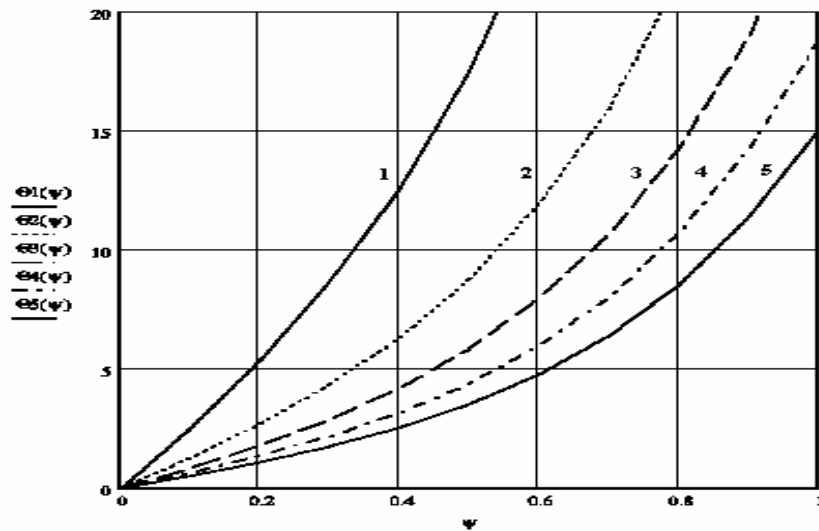


Рис. 2.12 а. Графіки зміни кутової швидкості обертання бульби від зміни кутової координати від 0 до 1 рад для швидкостей обертання спіралей: 1) $\omega=10$ рад/с; 2) $\omega=20$ рад/с; 3) $\omega=30$ рад/с; 4) $\omega=40$ рад/с; 5) $\omega=50$ рад/с

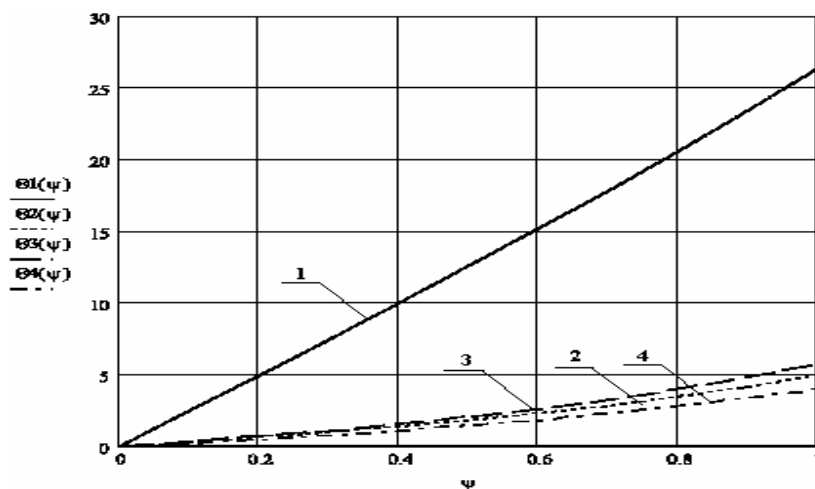


Рис. 2.12 б. Графіки залежності кутової швидкості руху бульби для зміни кутової координати і кутовій швидкості спіралі 40 рад/с: 1) $R=75$ мм, $\varepsilon=10$ мм, $S=35$ мм; 2) $R=100$ мм, $\varepsilon=10$ мм, $S=35$ мм; 3) $R=75$ мм, $\varepsilon=15$ мм, $S=35$ мм; 4) $R=75$ мм, $\varepsilon=10$ мм, $S=45$ мм

Висновки

Згідно результатів теоретичних досліджень можна зробити висновки:

1. Роботу картоплезбиральних машин можна покращити за рахунок використання батареї спіральних роторних сепараторів;
2. На підставі теоретичних досліджень визначені оптимальні межі для роботи запропонованого очисника картоплі:
 - частота і амплітуда коливань ($\omega = 10 \dots 25 \text{ Гц}$, $A = 6 \dots 18 \text{ мм}$);
 - кут нахилу полотна спіральних сепараторів у поздовжньому напрямку $2 \dots 6^\circ$;
 - швидкість руху агрегату (подача картопляного вороху) вибирається із умови оптимального завантаження сепаратора ($\alpha = 5 \dots 15^\circ$, $v = 0,45 \dots 1,15 \text{ м/с}$).

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма проведення експериментальних досліджень

Завдання експериментальних досліджень, перевірка та коректування теоретичних міркувань і висновків з обґрунтування конструктивних параметрів. Щоб вирішити поставлені в теоретичній частині завдання потрібно використати лабораторне обладнання, стенд, провести випробування.

У дослідженнях передбачалось:

- дослідження робочих органів сепарувального типу;
- складання методики проведення певних етапів досліджень;
- підбір лабораторного обладнання;
- проведення досліджень у відповідності з методикою планування.

Отримати реальні експериментальні результати, повинні відповідати необхідному критерію достовірності, з можливістю їх в подальшому використовувати, для проектування та модернізації очисних механізмів та сепараторів.

3.2. Конструкція експериментальної установки

На основі теоретичних досліджень і аналізу виконаних лабораторних досліджень на кафедрі агроінженерії та технічного сервісу ім. О.Семковича Національного університету природокористування для подальших експериментальних досліджень сепаратора шнекового типу з спіральною навивкою, у стаціонарних і польових умовах, була розроблена лабораторно-польова експериментальна установка.

На базі картоплекопача Л 651 (рис. 3.1), складовими елементами, якого є копіюючий коток з бічними пасивними підрізними дисками, підкопуючий леміш 2, перший 3 і другий 4 пруткові елеватори, з струшувачами, встановлене дослідне обладнання для дослідження сепаратора шнекового типу з спіральною навивкою в польових умовах. Для цього на звільненому місці, утвореному із-зі

зменшення довжини другого пруткового транспортера 4 встановлюємо сепаруючий шнековий блок 5. Для контролю якості сепарації ґрунту і домішок, в зоні розвантаження встановлюємо вловлюючий брезент 6 і 7.

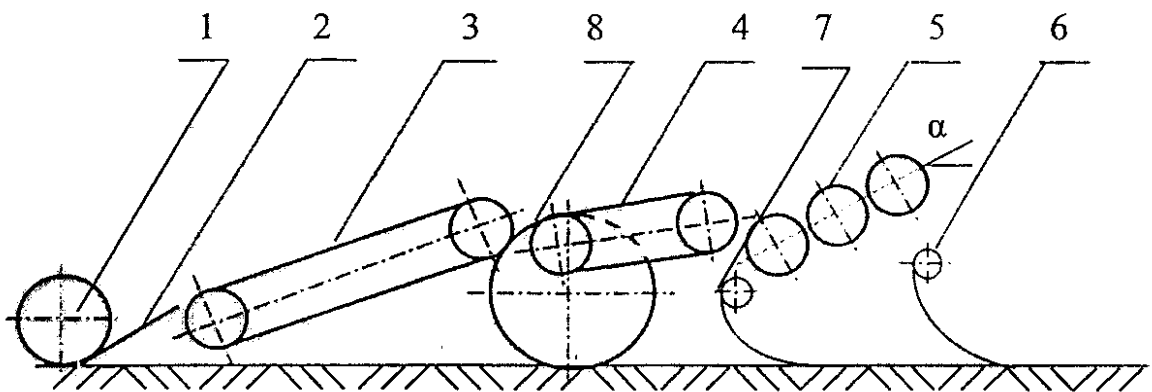
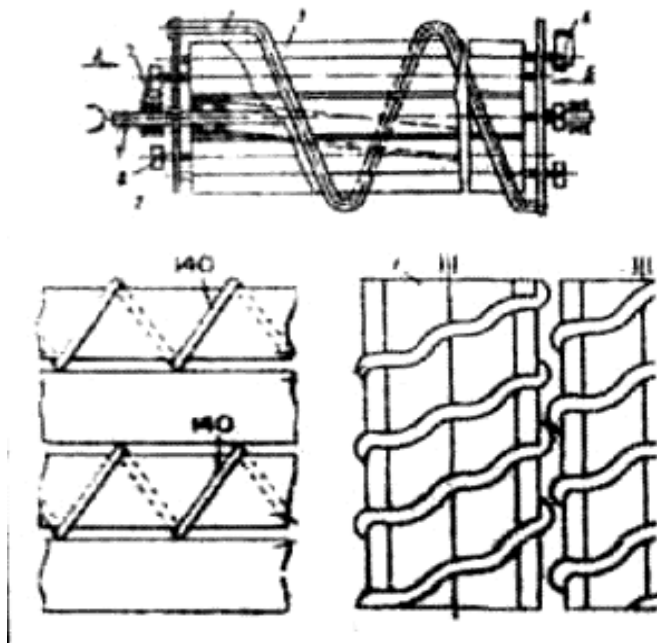


Рисунок 3.1 - Схема експериментальної установки:

1-копіюючий каток; 2- підкопуючий леміш; 3-перший транспортер; 4-другий транспортер; 5- блок сепараторів шнекового типу; 6-брезент для взяття проб на виході; 7-брезент для взяття проб ґрунту; 8-опорне колесо

Покращення процесу очисної здатності шнекового сепаратора спірального типу, досягається за рахунок зміни просівних зазорів і інтенсивних режимів сепарації.



Зміну кута нахилу блока сепаруючих шнеків, здійснюємо з допомогою болта, прикріпленого одночасно до рами картоплекопача і рамки сепаратора. За допомогою даного болта, можна змінювати кут нахилу сепараторного блоку від -10° (нахил в сторону руху картопляного вороху) до $+60^{\circ}$. Від'ємне значення кута нахилу транспортера, зменшує його пропускну здатність.

Амплітуду коливань валів сепаратора, регулюємо зміною ексцентриситета від 0

до 20 мм.

Щоб підвищити, ефективність самоочищення спіралей шнека від налипань ґрунту, і збільшення обертання картоплин, під час їх очистки, розроблений шнековий сепаратор, виконаний у вигляді привідного вала 1 із закріпленими по боках торцевими дисками 2. На дисках встановлені вальці 3, кінематично зв'язані з привідним валом за допомогою внутрішніх і зовнішніх зубчастих зачеплень. Вальці виконують складний обертний рух, що активізує процес сепарації картоплин.

З допомогою трансформатора ЛАТР змінюємо частоту обертання шнеків спірального очисника в межах від 0 до 1200 об/хв.

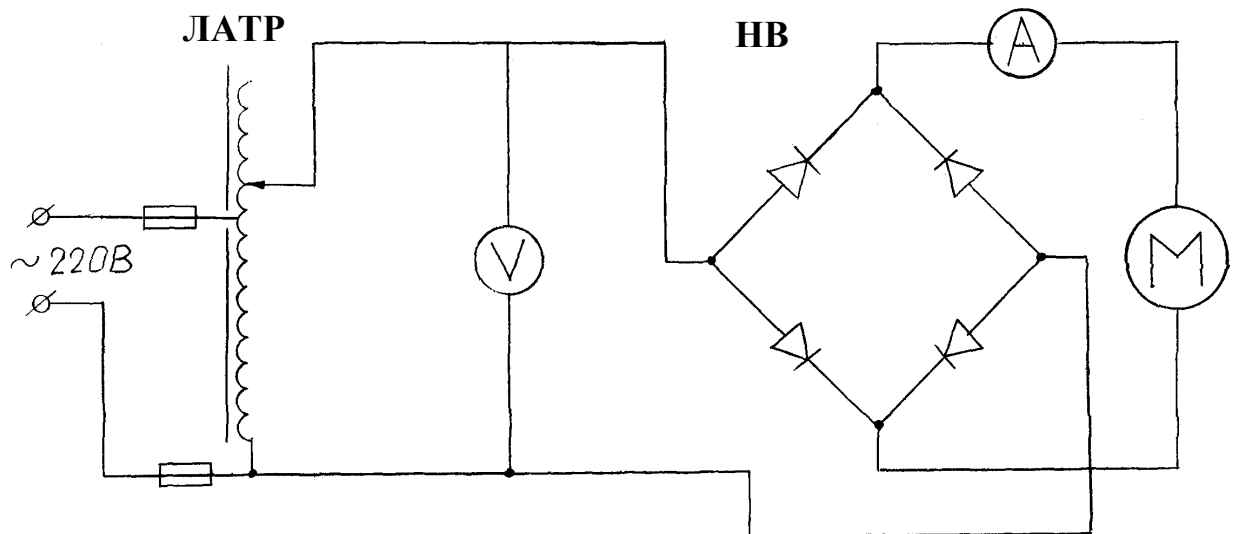


Рисунок 3.3 - Схема підключення лабораторної експериментального обладнання

Процес сепарації на шнековому сепараторі спірального типу відбувається наступним чином. При потраплянні картопляного вороху на поверхню шнекового блоку, подрібнені ґрунтові агрегати проходять через витки спіралі і осипається на поверхню ґрунту, а їх залишки налипли на поверхні картоплин зчісуються спіральними навивками на поверхні шнека. Залишки грудок в провітах спіральної навивки вивільнюються, за рахунок надання їм відцентрових прискорень шнековим барабаном. Інтенсивність сепарації

грунтових агрегатів зменшується по мірі їх переміщення по робочій поверхні сепаратора.

3.3. Планування експериментів

І теоретичного аналізу процесу розділення картопляного вороху на шнекових сепараторах спірального типу, робимо висновок, що на протікання цього процесу має вплив цілий ряд факторів. Отже, в процесі експериментальних досліджень, виходимо з експлуатаційних можливостей зміни факторів, а це потребує великої кількості досліджень. Для зменшення кількості дослідів, зберігши достовірність інформації проходження технологічного процесу, використаєм метод Бокса Бенкіна для планування експериментальних досліджень.

На протікання процесу сепарації ґрунтових агрегатів мають вплив: частота і амплітуда коливань шнеків спірального сепаратора, кутова швидкість їх обертання, швидкість подачі картопляного вороху, міцність ґрунтових агрегатів і їх вологість. За регульовані фактори, приймаємо: частоту і амплітуду коливань шнеків спірального сепаратора, швидкість подачі картопляного вороху, кут нахилу блоку шнекових сепараторів до поверхні ґрунту.

Мінімальне значення частоти коливань 10 Гц , приймаємо для обертів гідромотора 150 хв^{-1} . Максимальне значення частоти коливань $23,3 \text{ Гц}$, приймаємо для обертів гідромотора 350 хв^{-1} .

Мінімальну і максимальну швидкості руху картоплекопача, приймаємо виходячи з тягової характеристики картоплекопача Л651+МТЗ-80. Отже $v_{a\text{min}} = 0,45 \text{ м/с}$, $v_{a\text{max}} = 1,15 \text{ м/с}$, що відповідає секундній подачі картопляного порху $60...160 \text{ кг/с}$. Сепарація на транспортері близько $50...60 \%$, отже подача на перший спіральний шнек становить $30...80 \text{ кг/с}$.

Швидкість руху планок транспортера приймаємо $v_{el} = 1,5 \text{ м/с}$ і просівання на сепараторі $50...60 \%$ ґрунтової маси, відповідно приймаємо лінійну швидкість прутків спіральних шнеків $v_{\sigma} = 0,75 \text{ м/с}$ для кутової швидкості шнеків (діаметр спірального шнека $D_{\sigma} = 300 \text{ мм}$) $\omega_{\sigma} = 50 \text{ хв}^{-1}$.

Критерієм оптимізації приймаємо комплексний показник, відношенням повноти сепарації y_η до затрат потужності y_N і енергоємність процесу сепарації y_ξ .

Колова швидкість спірального шнека сепаратора:

$$v_{окр} = \frac{\pi \cdot n \cdot R}{30}, \quad (3.1)$$

де n – оберти шнека сепаратора, $хв^{-1}$;

R – радіус.

Частота коливань, $Гц$:

$$f = \frac{n_k \cdot m}{60}, \quad (3.2)$$

де n_k – оберти кулачкового валу, $хв^{-1}$;

m – кількість ексцентрикових кулачків.

Кінематичний коефіцієнт сепарації:

$$\eta = \frac{Q_n - Q_3}{Q_n} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

де Q_n – вага картопляного вороху на вході, $кг$;

Q_3 – вага картопляного вороху на виході, $кг$.

Кількість картопляного вороху, що залишилось з картоплею фіксуємо на брезентовій поверхні.

Середня секундна подача картопляного вороху на вході, визначалася з площі поперечного перерізу підрізаного пласта і поступальну швидкість картоплекопача [7].

$$Q_{nc} = S \cdot v_a \cdot \rho_v, \quad (3.4)$$

де S – площа перерізу підкопаного пласта, $м^2$;

v_a – поступальна швидкість картоплекопача, $м/с$;

ρ_v – щільність картопляного вороху, $кг/м^3$.

Затрати потужності на привід валів гідромоторів:

$$\sum N_p = \sum M_{кр.i} \cdot \omega_i, \quad (3.5)$$

де $M_{кр.i}$ – крутний момент на i – гідромоторі;

ω_i – кутова швидкість вала гідромотора.

$$M_{кр.i} = g_{ні} \cdot \Delta P_i \cdot \eta_{зм} \cdot \frac{1}{2\pi}, \quad (3.6)$$

де $g_{ні}$ - робочий об'єм гідромотора, *см* ;

ΔP_i - різниця тисків на вході і виході, *МПа*.

Для дослідження травмувань картоплі, з кожної повторності дослідів відбирали пробу вагою 8...10 кг. Картоплини вагою до 50 г. вибраковували.. Пробу розділяли на дві категорії: травмована і не травмована. Обі категорії зважували, і залишали на 10-дів зберігати. По завершенню часу зберігання картоплі, оцінювали травмування м'якоті, шляхом її розрізання на смужки товщиною 3 мм.

Процент травмувань за вагою оцінювали за формулою:

$$H = \frac{C}{X} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

де C – вага травмованих картоплин, *кг*;

X – загальна вага картоплин, *кг*.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати досліджень механіко-технологічних властивостей бульбин

При переміщенні картоплин виникає тертя ковзання і кочення (табл.4.1).

Таблиця 4.1 - Значення коефіцієнта тертя картоплі по різних видах поверхні

| Поверхня | Коефіцієнт тертя, f | | Поверхня | Коефіцієнт тертя, f | |
|----------|-----------------------|-------------|----------|-----------------------|-------------|
| | $f_{коч.}$ | $f_{ковз}$ | | $f_{коч.}$ | $f_{ковз}$ |
| Сталь | 0,32...0,36 | 0,58...0,60 | Грунт | 0,82...0,93 | 0,98...1,00 |
| Гума | 0,35...0,37 | 0,70...0,75 | Бульба | 0,50...0,60 | 0,70...0,81 |

Коефіцієнт тертя ґрунтових агрегатів залежить від їх вологості та фізичного складу. Коефіцієнт тертя кочення ґрунтових агрегат по сталій поверхні, становить - 0,5; а по гумі - 0,40...0,62.

Таблиця 4.2 - Кути кочення картоплин та ґрунтових агрега

| Умови досліджу | Поверхня | |
|---|----------|--------|
| | Гума | Сталь |
| Одиночне скочування картоплин | 13 | 16 |
| Одиночне скочування ґрунтових агрегатів | 20 | 27 |
| Групове скочування картоплин | 12..19 | 14..23 |
| Групове скочування ґрунтових агрегатів | 17..23 | 21..32 |

Робочі органи картоплезбиральних машин не повинні травмувати картоплю, або ж цей відсоток повинен бути мінімальним. На це впливають допустима висота падіння та швидкість руху картоплин (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Допустима висота падіння та швидкість руху картоплин

| Поверхня | Висота, $H_{max}, м$ | Швидкість, $V_{max}, м/с$ | Поверхня | Висота, $H_{max}, м$ | Швидкість, $V_{max}, м/с$ |
|----------|-------------------------|------------------------------|----------|-------------------------|------------------------------|
| Сталь | 0,2...0,4 | 1,4...3,1 | Грунт | 2,0...4,0 | 4,4...6,3 |
| Гума | 0,5...0,8 | 2,2...2,8 | Картопля | 0,8...1,2 | 2,8...3,5 |

Дані показники необхідно враховувати, при проектуванні розвантажувальних механізмів картоплі. При падінні картоплин з висоти більше 1 м на металеву поверхню, процент пошкоджених бульб сягає 80 %, а цей фактор негативно відбивається на термінах зберігання продукції.

На ступінь травмування картоплин також впливає їхня вага і вологість ґрунту. Зростання ваги картоплин з 20 до 60 г, сприяє їх травмуванню у 6 разів. При збільшенні вологості ґрунту W з 10,86 до 22,7% пошкодження картоплин зростає.

Таблиця 4.4 - Травмування картоплин і руйнування ґрунтових агрегатів від співударення з прутковим транспортером

| Показники | $W, \%$ | Висота падіння, $м$ | | | | | |
|-----------------------------------|---------|---------------------|------|------|------|-----|-----|
| | | 0,125 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,0 | 1,5 |
| Зруйновано ґрунтових агрегатів, % | 10-15 | 20 | 28 | 42 | 48 | 56 | 74 |
| Пошкоджено картоплин, % | - | 24 | 39 | 66 | 77 | 91 | 97 |
| Зруйновано ґрунтових агрегатів, % | 7-9 | 3 | 12 | 26 | 32 | 54 | 58 |
| Пошкоджено картоплин, % | - | 29 | 29 | 60 | 76 | 92 | 98 |

Як видно з табл.4.4 травмування картоплин і подрібнення ґрунтових агрегатів залежить від вологості ґрунту. У період збирання картоплі, його вологість коливається у межах 10...26%. Для процесу збирання картоплі, є оптимальна вологість ґрунту 14...20%.

Збільшуючи висоту падіння картопляного вороху з 0,25 до 1,0 м руйнування ґрунтових агрегатів зросло з 12..28% до 54..56% відповідно, а травмування картоплин з 29..68% до 84..92%. Даний фактор свідчить, про те, що ударні навантаження не тільки руйнують ґрунтові агрегати, але й серйозно

пошкоджують картоплини.

Інший шлях зруйнувати ґрунтові агрегати, це прикладання статичних навантажень стиску.

Руйнівне навантаження стиску для середніх розмірів картоплин знаходиться в межах 310...1150 Н (табл.4.5).

Таблиця 4.5 – Статична міцність бульб при стисканні металевою поверхнею

| Сорт | Середні розміри, <i>мм</i> | | | Руйнівне навантаження, <i>Н</i> | | | Руйнівна деформація, <i>мм</i> | | |
|------------|-------------------------------|----------|----------|---------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>ср.</i> | <i>мах.</i> | <i>мін.</i> | <i>ср.</i> | <i>мах.</i> | <i>мін.</i> |
| Невський | 47 | 45 | 46 | 630 | 1150 | 310 | 14 | 21 | 5 |
| Лорх | 45 | 41 | 38 | 560 | 700 | 290 | 17 | 25 | 4 |
| Луганський | 54 | 41 | 39 | 570 | 700 | 320 | 15 | 23 | 5 |

Таблиця 4.6 - Допустиме статичне навантаження на картоплини

| Товщина картоплин, <i>см</i> | Поверхня | Допустиме навантаження, <i>Н</i> |
|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 2...3 | Металева прогумована поверхня | 500 |
| 3...4 | Металева прогумована поверхня | 600 |
| 4...5 | Металева прогумована поверхня | 900 |
| 5...6 | Металева прогумована поверхня | 105 |

Розмірні показники картоплин суттєво впливають на значення статичного стиску. Картоплини більших розмірів з 2...3 до 5...6 см, витримують вдвічі більші зусилля.

Міцність ґрунтових агрегатів коливається в значних межах. Руйнівне навантаження стиску на одну грудку міняється з 22 до 155 Н, а максимальне – від 110 до 340 Н.

4.2. Результати досліджень роботи шнека спірального сепаратора на процес сепарації

Показники сепарування блоку спіральних шнеків, визначали для різних значень робочих режимів. Зокрема, досліджували якість просівання по довжині і по ширині блока шнекоосих сепараторів.

Дослідження дослідного зразка сепаратора, включали вплив зміни наступних факторів, на процес сепарації: частоти і амплітуди коливань, кута встановлення батареї до горизонталі, для ґрунту вологостю 19 % і твердістю 1,9 мПа.

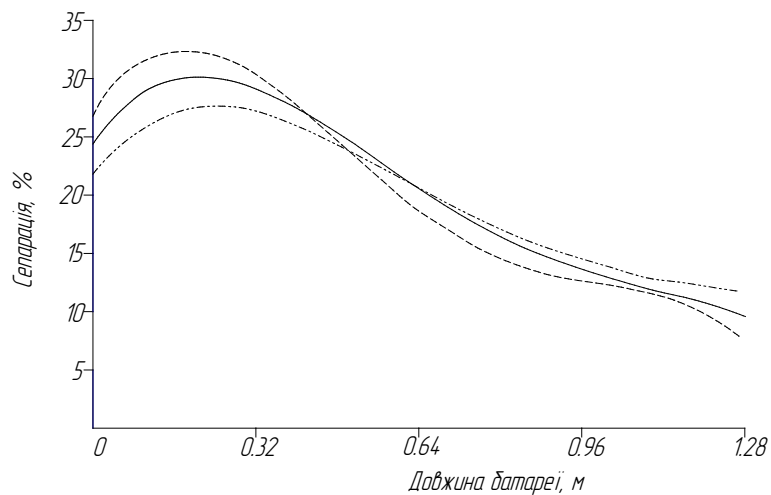


Рисунок 4.1- Залежність сепарації картопляного вороху для швидкості обертання при $W = 19$ %, $P = 1,9$ мПа.:

— $v = 0.785$ м/с, — — — — — $v = 1,1$ м/с, - - - - - $v = 0,5$ м/с

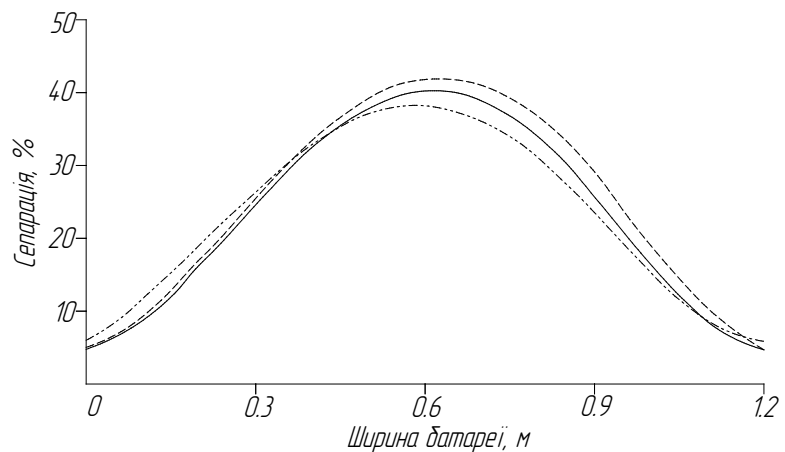


Рисунок 4.2 - Сепарація вороху по ширині блоку сепараторів для швидкості обертання барабанів при $W = 19$ %, $P = 1,9$ мПа.:

— $v = 0.785$ м/с, — — — — — $v = 1,1$ м/с, - - - - - $v = 0,5$ м/с

Аналізуючи сортування ґрунтового вороху залежно від швидкості обертання блоків сепаратора за шириною і довжиною сепарувальної поверхні, робимо висновок, що найкраще відбувається сепарація за лінійної швидкості шнека $v = 0,785 \text{ м/с}$ (кутова швидкість $\omega = 50 \text{ хв}^{-1}$).

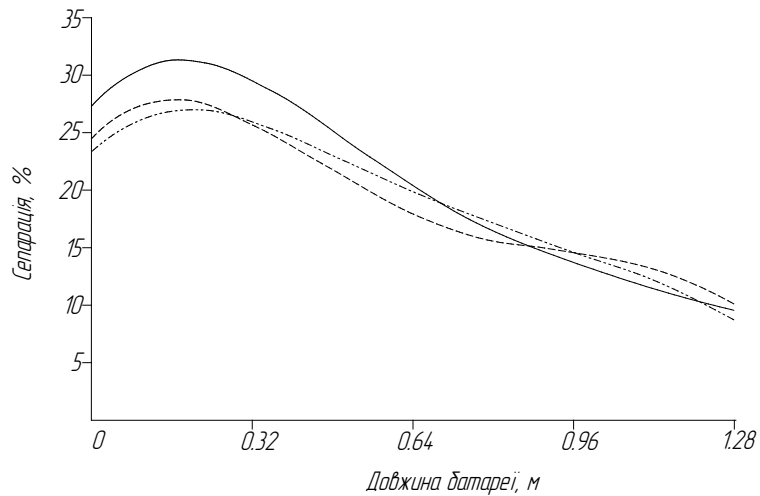


Рисунок 4.3 - Сепарація картопляного вороху за довжиною блоку шнекових спіралей від вологості ґрунту для $\omega = 0,8 \text{ м/с}$ і $P = 1,9 \text{ мПа}$:
 ———— – $W = 19\%$, – $W = 15\%$, - - - - - – $W = 23\%$.

Зміна вологи ґрунту, призводить до зміщення центру сепарації з 1...2 шнеків, на 2...4 шнеки. При вологості картопляного вороху більше 25 % процес сепарації не відбувається.

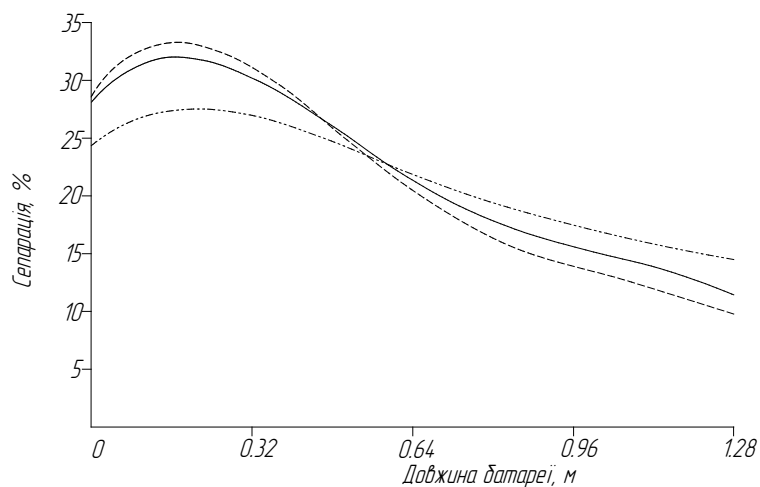


Рисунок 4.4- Сепарація картопляного вороху за довжиною блоку шнеків від твердості ґрунту і $v = 0,8 \text{ м/с}$ і $W = 19\%$:
 ———— – $P = 1,9 \text{ мПа}$, – $P = 1,5 \text{ мПа}$, - - - - - – $P = 2,3 \text{ мПа}$.

На основі отриманих залежностей, робимо висновок, що для подальших

досліджень за основу приймаємо $v = 0,785 \text{ м/с}$ (50 хв^{-1}) при вологість $W - 19 \%$ і твердість $P - 1,9 \text{ МПа}$.

4.3. Результати досліджень на лабораторному стенді

Для визначення впливу частоти, амплітуди коливань, кута установлення шнеків у поздовжньому напрямку, на процес сепарації картопляного вороху проведено лабораторні дослідження за планом ОКЦП для цих факторів. За критерій оптимізації беремо коефіцієнт η – повноти сепарації.

Таблиця 4.7- Фактори і рівні їх зміни

| Показник | Частота коливань, Гц | | Амплітуда коливань, мм | | Кут нахилу, град | |
|------------------|----------------------|-------|------------------------|-------|------------------|------|
| | X1 | f | X2 | A | X3 | a |
| Рівні: | | | | | | |
| верхній | + | 20,33 | + | 12 | + | 20 |
| середній | 0 | 13,66 | 0 | 8 | 0 | 12,5 |
| нижній | - | 7,0 | - | 4 | - | 5 |
| Інтервали зміни: | | 6,66 | | 4 | | 7,5 |
| +a | +a | 21,76 | +a | 12,85 | +a | 21,6 |
| -a | -a | 5,56 | -a | 3,15 | -a | 3,4 |

Загальна кількість N композиційних планів для k факторів визначаємо за формулою [14]:

$$N = N_1 + 2k + n_0, \quad (4.1)$$

де N_1 — число дослідів;

$2k$ — число пікових точок;

n_0 — число середніх дослідів;

k — кількість факторів.

Величину середнього плеча визначаємо за формулою [7]:

$$\alpha_2 = \frac{\sqrt{(N_1 + 2 \cdot k + n_0)N_1 - N_1}}{2}. \quad (4.2)$$

Для лабораторних досліджень використаємо композиційний план (ОКЦП) другого порядку для трьох змінних факторів, для якого $N = 15$, $a = 1,215$.

Модель регресійного типу [14]:

$$y = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ij} X_i X_j + \sum b_{ij} X_i^2 \quad (4.3)$$

де y — параметр оптимізації;

b_0, b_i, b_{ij} — коефіцієнти моделі;

X_i, X_j — досліджувані фактори.

Вигляд регресійної моделі у розгорнутому вигляді:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2, \quad (4.4)$$

де $b_0 \dots b_{33}$ — коефіцієнти моделі;

X_1, X_2, X_3 — досліджувані фактори.

На основі обробки експериментальних даних, отримати рівняння у кодованій (4.5) і натуральній (4.6) формах.

$$y_\eta = 78,1192 - 5,9012 \cdot X_1 + 23,9942 \cdot X_2 + 4,61119 \cdot X_3 - 3,8842 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,5208 \cdot X_1 \cdot X_3 - 4,685 \cdot X_2 \cdot X_3 - 3,0701 \cdot X_1^2 - 17,217 \cdot X_2^2 - 5,0157 \cdot X_3^2. \quad (4.5)$$

$$y_\eta = -178,9 + 2,047 \cdot \alpha + 19,27 \cdot f + 10,57 \cdot A - 0,5458 \cdot \alpha^2 - 0,3882 \cdot f^2 - 0,3135 \cdot A^2 - 0,1719 \cdot f \cdot A - 0,01736 \cdot \alpha \cdot A - 0,07776 \cdot \alpha \cdot f. \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned}
 X1 &= \frac{\alpha - 12,5}{7,5}; \\
 X2 &= \frac{f - 16,66}{6,66}; \\
 X3 &= \frac{A - 10}{4}; \\
 y_{\eta} &= \frac{Q_1}{Q_2},
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

де α — кут нахилу блоку шнекових сепараторів горизонту, *град*;

f — частота коливань, *Гц*;

A — амплітуда коливань, *мм*;

Q_1 — кількість просіяного ворху, *кг*;

Q_2 — кількість подачі вороху на сепаратор, *кг*.

Згідно перевірки за критерієм Фішера ($F_{расч} = 1,9234 < F_{табл} = 2,53$) робимо висновок, що гіпотеза про адекватність моделі (4.5), при 5 % рівні значимості, залишається.

Перевірка, за критерієм Кохрена ($G_{max} = 0,1898 < G_{кр таб} = 0,3346$) свідчить про однорідність дисперсій.

На основі результатів досліджень, робимо висновок, що для забезпечення оптимальної якості роботи шнекового спірального сепаратора, регулювання частоти і амплітуди необхідно проводити діагональним способом.

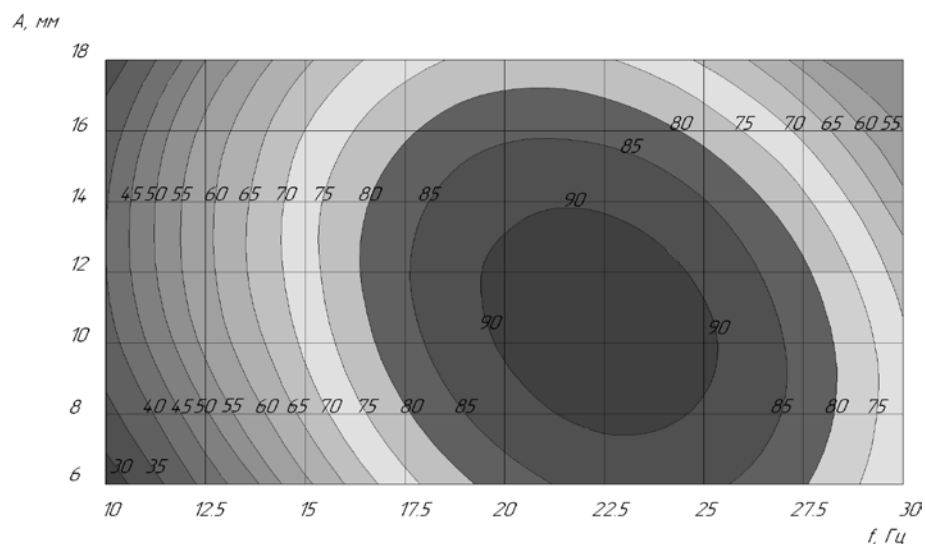


Рисунок 4.6- Залежність якості сепарації (η , %) від частоти і амплітуди коливань для кута нахилу $\alpha = 2,0^\circ$.

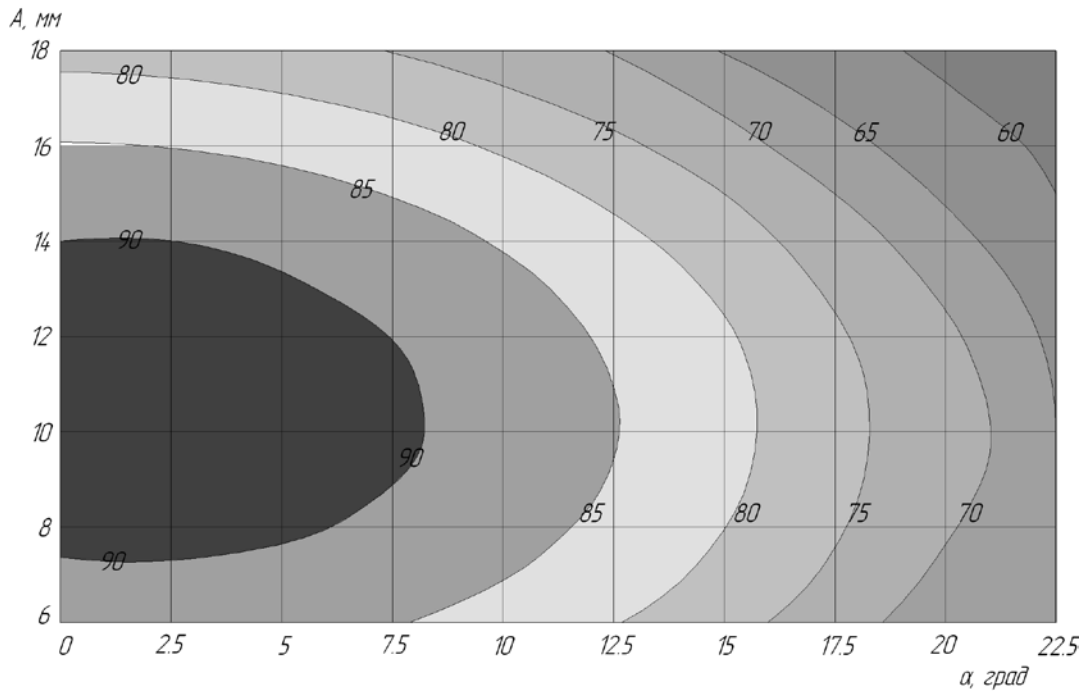


Рисунок 4.7-Залежність якості сепарації (η , %) від кута нахилу і амплітуди при частоті коливань $f = 22$

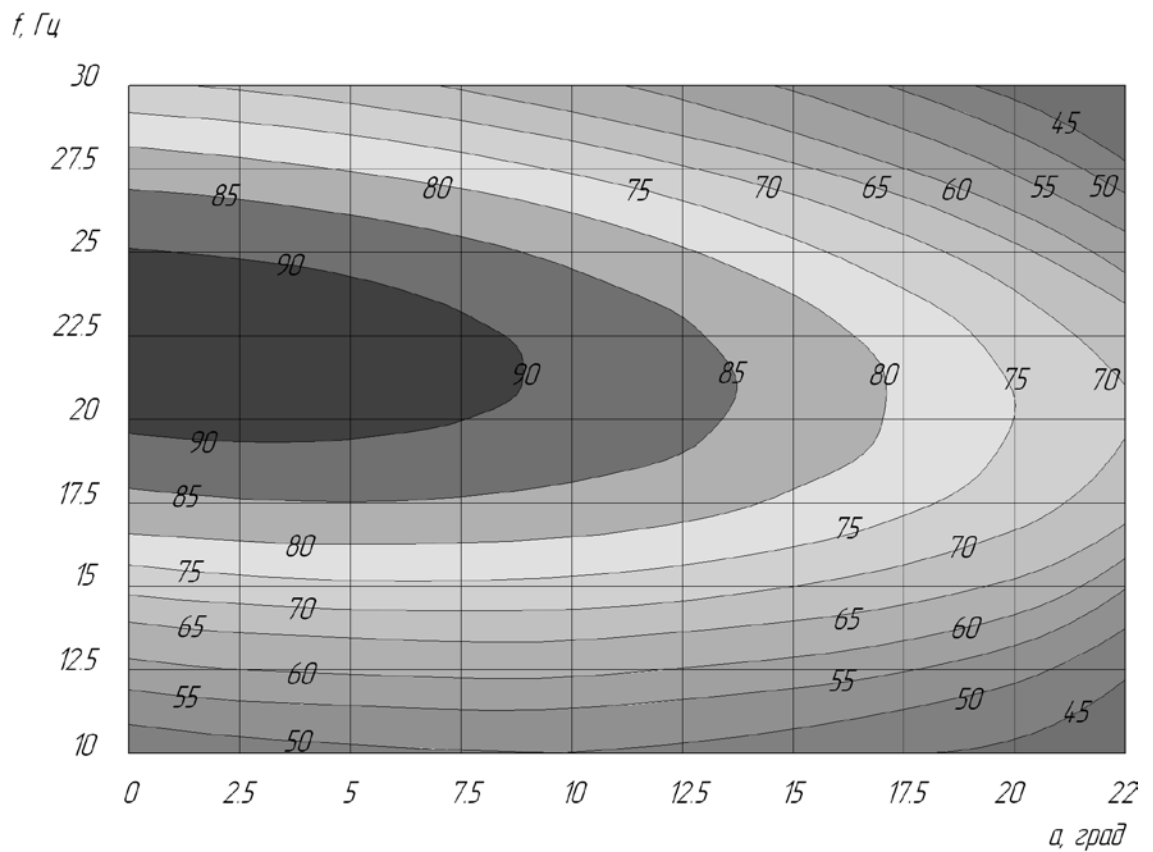


Рисунок 4.8- Залежність якості сепарації (η , %) під кута нахилу і частоти при амплітуді коливань $A = 10,8$ мм.

Висновки

1. В результаті пошукових дослідів підтверджена достовірність передбачуваних конструктивно-технологічних параметрів.

2. Встановлені основні незалежні фактори, що максимально впливають на показники якості і збирання: X1–частота коливань; X2–амплітуда коливань; X3–кут установки повздовжньої осі батареї до горизонту.

3. Реалізація трьох рівневого, трьох факторного плану експериментів дає можливість рекомендувати наступні параметри і режими роботи: частота коливань 22 Гц , амплітуда коливань $10,8 \text{ мм}$, кут установки $1,5 \text{ град}$.

4. Встановлено зниження травмування клубнів на $5 \dots 8 \%$, підвищення повноти сепарації на 5% , підвищення продуктивності на $10 \dots 12 \%$.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз процесів виникнення травм під час збирання картоплі

Процеси виникнення травм під час збирання картоплі можуть виникати у наступних випадках:

- під час проведення обслуговування комбайна;
- під час комплектування машинно-тракторного агрегату;
- під час поставлення машини на зберігання;
- під час роботи агрегату в полі.

Під час проведення обслуговування машин травми виникають у випадках коли:

- не встановлені захисні пристрої на обертових деталях машин;
- внаслідок дотикань робітником до гострих кромek деталей;
- використання несправного інструменту;
- під час проведення обслуговування з працюючим двигуном, чи піднятим знаряддям.

Під час комплектування машинно-тракторного агрегату травми виникають у випадках коли:

- у випадку несправності засобів сигналізації;
- обмежується оглядовість тракториста чи допоміжного робітника;
- під час проведення комплектування немає підставок на машини.

Під час поставлення машин на зберігання:

- у випадку коли для очищення машини немає потрібного обладнання та місця проведення
- відсутність потрібних підставок.

Під час роботи агрегату в полі травми можуть виникати у випадках:

- раптових несправностей;
- неуважного керування агрегатом.

5.2. Моделювання процесів виникнення травм

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, виробничих процесів і технологій. Але як показали дослідження. Будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї із багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій. Обчисленням рівня безпеки можна спрямувати удосконалення конструкції технічних засобів на зниження їх небезпек, а також вживати термінованих заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева", дерева несправностей або дерева помилок оператора застосовують для аналізу складних систем. Аналіз умов обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відказів та помилок оператора людино-машинних систем у сільському господарстві. Так побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм.

Основні принципи побудови моделі такі. Визначається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми. Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи. Що характеризують ті чи інші події. Як правило побудова моделі починається з головної операції, а наступні розміщуються зверху вниз аж до базових подій.

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня безпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня безпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи того методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки

аварійні та травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відказів оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події. Головна випадкова подія в даному випадку - травма модель якої побудована на (рис3.1.). Для побудови даної моделі ("дерева") травми використовують оператори "Г" та "АБО", після цього виконують набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій. Застосовуючи формули.

1-Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "Г" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 P_2$$

2- За допомогою оператора "Г" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 P_2 P_3$$

3- Оператор "Г" об'єднує n події з ймовірностями P_1 і $P_2 \dots P_n$ тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 P_2 \dots P_n$$

Таблиця 5.1 - Результати обчислень ймовірностей випадкових подій логіко — імітаційної моделі

| Випадкова подія, що увійшла в дану модель. | Номер події | Показник % |
|--|-------------|------------|
| Стан контролю з охорони праці | 1 | 0,3 |
| Професійний рівень працюючого | 2 | 0,5 |
| Помилка працюючого | 3 | 0,5 |
| Підставка не фіксується | 4 | 0,8 |
| Стан підставки не оглядався | 5 | 0,46 |
| Стан контролю з охорони праці | 6 | 0,4 |
| Досвід працюючого | 7 | 0,3 |
| Підставка складена з випадкових предметів | 8 | 0,56 |
| Підставка не справна | 9 | 0,67 |
| Підставка не правильно встановлена | 10 | 0,67 |
| Підставка не правильно виготовлена | 11 | 0,67 |
| Підставка встановлена не за призначенням | 12 | 0,67 |
| Підставка втратила стійкість | 13 | 0,38 |
| Підставка зруйнувалась | 14 | 0,16 |
| Сівалка упала з підставки | 15 | 0,35 |
| Під сівалкою знаходився робітник. | 16 | 0,2 |
| Травма | 17 | 0,044 |

4- Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1P_2$$

5- Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_2 - P_1P_3 - P_2P_3 + P_1P_2P_3$$

6-Якщо оператор "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули.

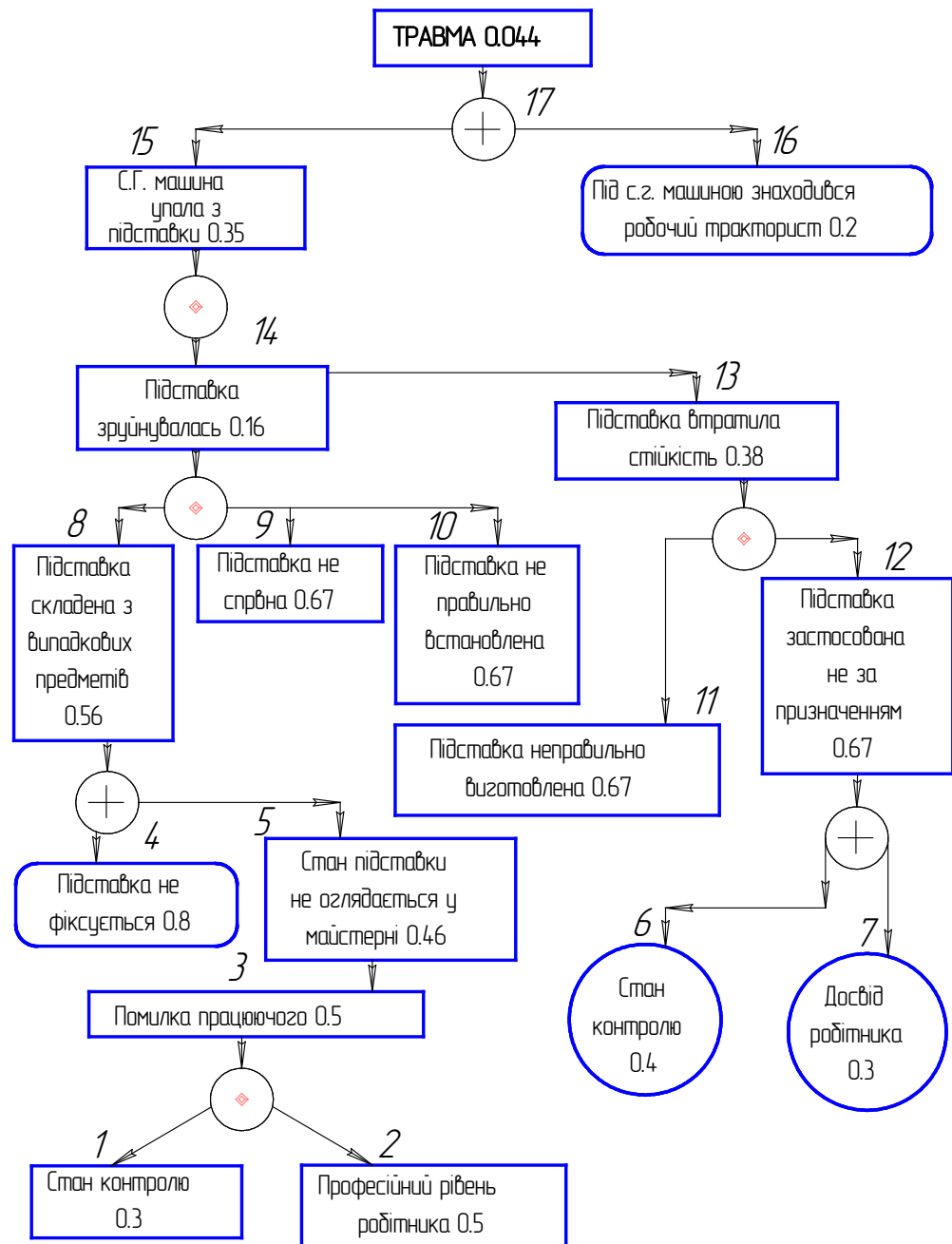


Рисунок 5.1 - Модель „помилки і відмов оператора”

Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову, необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення

5.3. Розробка заходів щодо зменшення виникнення травм під час збирання картоплі

Для запобігання процесів виникнення травм під час збирання картоплі необхідно:

- до роботи допускати лише технічно справні машини та знаряддя, що повністю відповідають вимогам безпеки. Нові відремонтовані, а також машини, що тривалий час не працювали, допускаються до роботи лише після їх обкатки і ретельної перевірки роботи всіх органів;

- до керування та обслуговування машин допускати лише кваліфікованих фізично здорових працівників і навчених за спеціальною програмою, що мають відповідні посвідчення й пройшли відповідні інструктажі. Забороняється допускати до роботи неповнолітніх, некваліфікованих працівників.

Комплектування машино-тракторного агрегату повинен здійснювати тракторист-машиніст і допоміжний робітник під обов'язковим контролем бригадира, механіка або агронома. Довільна заміна чи комплектування машин без дозволу цих осіб не допускається.

Забороняється експлуатація машин без захисних пристроїв на обертових та інших деталях, які можуть створити схоплювання одягу робітників. Не дозволяється використовувати несправний інструмент, саморобні підставки та інше обладнання яке при його використанні може травмувати робітника.

Перед виконанням польових робіт поле спочатку обов'язково повинен оглянути агроном. Після цього (при потребі) його підготовляють: видаляють велике каміння, засипають рови, ями, та інші перешкоди, а ті, що неможливо усунути позначають віхами, табличками з попереджувальними написами. Після цього поле розмічають відповідно до операційної карти. Коли працюватиме група агрегатів, то обов'язково вибирають, обладнують і позначають місце для відпочинку.

При необхідності, якщо потрібно провести обслуговування чи ремонт під картоплезбиральною машиною, то це потрібно проводити при заглушеному двигуні і надійно зафіксованій у піднятому положенні. Для цього потрібно

використовувати спеціальні підставки, або пристрої.

Під час руху агрегату забороняється виконувати будь-які регулювання, усувати несправності, очищати робочі органи.

Працювати на схилах колісним трактором на вузькій колії заборонено. Трактори які працюють на схилах повинні бути обов'язково обладнані пристроями для постійного контролю кута похилу (або спеціальними сигналізаторами), а також дерев'яними упорами (відповідно до ведучих коліс) або гальмовими башмаками, щоб не допустити скочування або сповзання машини при зупинках. Всі роботи на схилах виконуються у світлий час доби. На схилах не дозволяється виконувати технічне обслуговування агрегатів.

Для працівників які працюють на схилах проводять додаткові інструктажі по безпеці роботі агрегатів на схилах. Під час поставлення машин на зберігання заборонено користуватись саморобними ненадійними підставками, несправними домкратами та іншим інструментом, що може викликати в працівника травми.

3.4. Охорона довкілля

Серед соціальних та екологічних тенденцій, що формують наше майбутнє, є стрімке зростання чисельності населення, скорочення посівних площ на душу населення, надмірне викачування підземних вод, поширення стійких органічних забруднювачів у ґрунтах, водах, повітрі. Внаслідок цього людство постало перед загрозою виснаження природних ресурсів, проблемами виробництва продовольства та незадовільного харчування, глобальних кліматичних змін, поширення нових хвороб, зникненню місцевих екосистем.

Одним з найскладніших видів виробництва продукції необхідної для людини є сільське господарство. Його розвиток і кінцеві результати визначаються якістю і станом основних компонентів біосфери – ґрунту, води, повітря, знанням закономірностей оновлення природних ресурсів. Лише на основі дбайливого ставлення до природи можна розвивати сільське господарство не тільки сьогодні, але й завтра. Науково-технічний прогрес в агропромисловому комплексі повинен узгоджуватися із збереження рівноваги в природі. Сучасне аграрне виробництво повинно максимально врахувати

екологічні особливості землеробських регіонів, їх природних ресурсів та умов.

Безумовно, вирішальну роль у переорієнтації напрямків і характеру майбутнього розвитку суспільства, гармонізації взаємовідносин між людиною і природою відіграватиме сучасна молодь, зокрема, майбутні фахівці сільського господарства.

5.5. Охорона та ефективне використання ґрунтів

Ґрунти мають велике значення у структурі сільськогосподарського виробництва. Вони також є головним джерелом отримання харчових продуктів. Вони відіграють активну роль в очищенні природних та стічних вод, ґрунтово-рослинний покрив є регулятором водного балансу суші. Це універсальний біологічний фільтр нейтралізатор багатьох видів антропогенного забруднення.

Дедалі відчутнішими стають негативні наслідки хімізації сільського господарства: погіршуються властивості ґрунту, його стан через нагромадження великої кількості шкідливих хімічних речовин, що вносились без належних розрахунків та врахування екологічних законів. До таких шкідливих хімічних речовин в першу чергу належать міндобрива та різні засоби хімічного захисту рослин. Особливо забрудненими є ґрунти, на яких вносились велика кількість отрутохімікатів, щоб зберегти хміль від шкідників. На даний час внесення міндобрив та засобів хімічного захисту частково скоротилось, і суворо контролюється спеціальною службою. Одною з причин їх зменшення є висока вартість.

Ґрунти також забруднюються оливами та паливом, які підтікають з тракторів та іншої техніки під час роботи на полях. Для запобігання цьому стараються вчасно проводити ТО та усунення підтікань.

Для того, щоб зберегти фізичні властивості ґрунтів - потрібно різко скоротити повторність обробітку ґрунтів, перейти на прогресивні та ефективні його форми.

6. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1. Розрахунок економічної ефективності застосування гвинтового сепаратора

Економічні показники, які характеризують ефективність застосування визначимо згідно ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88, ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24056-88 по загальноприйнятих формулах [4].

За базову модель приймемо тракторний картоплекопач Л 651 [5] виробництва ВАТ "Тернопільський комбайновий завод", який агрегується з трактором Т-40М. За модернізовану машину приймемо картоплекопач із встановленим спіральним сепаратором, загальна конструктивна схема відповідає польовій експериментальній установці. Агрегування здійснюється із трактором ЮМЗ-6Л.

Вихідні умови для розрахунку занесені до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Вихідні умови для розрахунку економічної ефективності

| Показник | Базова машина | Модернізована машина |
|--|---------------|----------------------|
| Врожайність бульб, т/га | 30,0 | 30,0 |
| Робоча ширина захвату машини, м | 0,6 | 0,7 |
| Робоча швидкість руху машини, км/год | 1,8 | 2,41 |
| Кількість обслуговуючого персоналу, чол. | 1 | 1 |
| Маса машини, кг | 660 | 480 |
| Повнота викопаних бульб, % | 100 | 100 |
| Сильні пошкодження бульб, % | 4,5 | 2,4 |
| Ширина розкидання бульб, м | 0,528 | 0,38-0,418 |

Загальний економічний ефект визначається як сума зменшення прямих експлуатаційних затрат і додатковим ефектом від експлуатації робочого органу

$$E_{заг} = (П_б - П_м) - E_{дод}, \text{ грн/га} \quad (6.1)$$

де $П_б, П_м$ - приведені експлуатаційні затрати базової і модернізованої машини грн/га; $E_{дод}$ - додатковий ефект від експлуатації робочого органу

(наприклад, ефект від покращення якісних показників оброблюваного матеріалу і т.д.), грн/га. В нашому випадку приймемо додатковий ефект від зменшення пошкодження бульб.

Приведені експлуатаційні затрати розраховуються

$$П = e \cdot K + C, \text{ грн/га} \quad (6.2)$$

де e - нормативний коефіцієнт ефективного використання капітальних вкладень ($e = 0,15$); K - розмір капітальних вкладень, грн/га

$$K = \frac{B_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M}{Q_M}, \text{ грн/га} \quad (6.3)$$

де B_T, B_M - балансова вартість трактора і машини, грн (для Т-40М – 35300 грн, для ЮМЗ-6Л – 39950 грн, для базової машини – 7420 грн, для модернізованої – 6300 грн); Q_M - сезонне навантаження машини, га. Для картоплекопачів сезонне навантаження складає 170...220 год. Виходячи з цього приймемо для розрахунку 70 га; T_{PT} - річний наробіток трактора, год. В нашому випадку $T_{PT} = 1000$ год; W_3 - продуктивність змінного часу, га/год

$$W_3 = W_0 \tau = 0,1BV\tau, \text{ га/год} \quad (6.4)$$

де W_0 - продуктивність основного часу, га/год; τ - коефіцієнт ефективного використання часу зміни ($\tau = 0,8$); B - робоча ширина захвату машини, м; V - робоча швидкість поступального руху машини, км/год.

В формулі (6.2) C - прямі експлуатаційні затрати, грн/га. Вони визначаються як сума затрат на оплату праці C_1 , затрати на паливо-мастильні матеріали C_2 , затрати на реновацію машини і енергетичного засобу (трактора) C_3 , а також затрати на їх ремонт і технічне обслуговування C_4

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \text{ грн/га} \quad (6.5)$$

Складові (4.5) визначаються по формулам

$$C_1 = \frac{\sum L_i C T_i}{W_3}, \text{ грн/га} \quad (6.6)$$

де L_i - кількість робітників відповідного класу зайнятих на цій роботі,

люд.; CT_i - погодинна ставка робітника цього класу, грн/год люд (наприклад, для тракториста погодинна ставка при збиранні коренеплодів і бульбоплодів складає 1,62 грн/ год люд);

$$C_2 = NqnЦ_{II}, \text{ грн/га} \quad (6.7)$$

де n - коефіцієнт використання потужності трактора ($n=0,8$); $Ц_{II}$ - комплексна вартість пального, грн/кг (1,59 грн/кг);

$$C_3 = \frac{B_T a_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M a_M}{Q_M}, \text{ грн/га} \quad (6.8)$$

де a_T, a_M - норма відрахувань на реновацію трактора і машини ($a_T = a_M = 16,6\%$ або 0,166);

$$C_4 = \frac{B_T b_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M b_M}{Q_M}, \text{ грн/га} \quad (6.9)$$

де b_T, b_M - норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування трактора і машини ($b_T = 34\%$ або 0,34, $b_M = 15\%$ або 0,15).

Як вже зазначали раніш, за додаткову складову економічного ефекту приймемо ефект від зменшення сильних пошкоджень

$$E_{\text{äää}} = \frac{(D_{\hat{A}} - D_{\hat{I}})}{100\%} \hat{A}_D \hat{O}_{\hat{E}} (0,3...0,4), \text{ грн/га} \quad (6.10)$$

де P_B, P_M - пошкодження бульб базовою і модернізованою моделлю, %; B_P - врожайність бульб картоплі, кг/га. Приймемо 10 т/га; $Ц_K$ - закупівельна ціна картоплі, грн/кг (приймемо 0,65 грн/кг).

Додатково визначимо питому матеріалоємність процесу

$$МП = \frac{M_T + M_M}{W_O}, \text{ кг год/га} \quad (6.11)$$

або питому матеріалоємність на одиницю ширини захвату

$$МП' = \frac{M_T + M_M}{B}, \text{ кг/м} \quad (6.12)$$

Річний економічний ефект визначається

$$E_p = E_{заг} Q_M \cdot \text{грн} \quad (6.13)$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Результати розрахунку економічної ефективності від використання картоплекопача із спіральним сепаратором картопляного вороху

| Показник | Базова машина | Модернізована машина |
|--|---------------|----------------------|
| Продуктивність основного часу, га/год | 0,13 | 0,169 |
| Продуктивність змінного часу, га/год | 0,087 | 0,135 |
| Питома витрата палива, кг/га | 34,06 | 46,28 |
| Прямі експлуатаційні затрати на оплату праці, грн/га | 18,62 | 12,00 |
| Прямі експлуатаційні затрати на ПММ, грн/га | 54,16 | 73,59 |
| Прямі експлуатаційні затрати на реновацію, грн/га | 128,94 | 101,41 |
| Прямі експлуатаційні затрати на ремонт і ТО, грн/га | 193,60 | 147,87 |
| Сумарні прямі експлуатаційні затрати, грн/га | 395,32 | 334,87 |
| Розмір капітальних вкладень, грн/га | 776,75 | 610,93 |
| Приведені експлуатаційні витрати, грн/га | 511,83 | 426,37 |
| Зменшення приведених експлуатаційних витрат, грн/га | 85,46 | |
| Економічний ефект від зменшення сильних пошкоджень бульб, грн/га | 48,75 | |
| Загальний економічний ефект, грн/га | 134,21 | |
| Річний економічний ефект, грн | 9394,70 | |

Отже, в результаті розрахунків встановлено, що економічний ефект від використання картоплекопача із спіральним сепаратором складає 134,21 грн/га, а це призводить до річного економічного ефекту при річному навантаженні 70 га – 9394,70 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Підвищення якісних показників роботи картоплезбиральних машин можна досягти застосуванням робочих органів, з новими конструктивними рішеннями, що забезпечують ефективну сепарацію при будь-якому стані картопляного вороху. Аналіз існуючих сепараторів показав перспективність робочих органів просіваючого типу за умови зниження залипання просіваючих просвітів сепаруючих елементів ґрунтом, особливо вологим, та намотування рослинних решток на обертові частини.
2. Запропонована нова конструктивно-технологічна схема спірального сепаратора просіваючого типу, яка покращує якісні показники роботи картоплезбиральних машин, оскільки запобігає залипання вологим ґрунтом елементів робочого органу (шляхом встановлення спіралей із взаємним перекриттям), а підвищення інтенсивності сепарації досягається ексцентричним встановленням спіралей.
3. При розгляді процесу просівання ґрунту на спіральному сепараторі за диференціальними рівняннями змінного об'єму і руху тіла змінної маси встановлено, що максимальне значення просівання ґрунту досягається при кутовому параметрі, який відповідає максимальному значенню амплітуди осцилюючого руху. При кроці навивки спіралі $S = 48$ мм, діаметрі спіралі $D = 133$ мм, ексцентриситеті закріплення спіралі $\varepsilon = 10$ мм, коефіцієнті сепарації $\mu = 0,5$ і нульовому початковому положенні максимальне значення просівання (21,5%) набуває при куті повороту 3,14 рад, тобто при амплітуді осцилюючого руху.
4. Розроблена і реалізована на ПЕОМ нова математична модель коливання пружної консольної спіралі при виконанні технологічного процесу дає можливість отримати аналітичні залежності для перевірки вибраних конструктивних параметрів та режимів роботи стосовно вимог невинного бульб з сепаруючої поверхні при змінному навантаженні і з врахуванням зміни моменту інерції пружної консолі в часі і по довжині. В результаті аналітичних досліджень встановлено, що прогин спіралі діаметром 133 мм при подачі вороху 80 кг/м складатиме близько 100...140 мм. Збільшення при цьому кроку навивки буде в межах, які допустимі агровимогами.

5. За результатами лабораторних експериментальних досліджень, які проведені на розробленій експериментальній установці згідно прийнятої методики, отримані математичні моделі впливу конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів на процент просіяного ґрунту та інтенсивність сепарації. Методом двомірних перерізів визначено оптимальні параметри сепаратора зі спіралями діаметром 133 мм, при яких досягаються найкращі значення якісних показників роботи для подачі бульбоносної маси 20...25 кг/с і ексцентриситету встановлення спіралей 5...10 мм: колова швидкість обертального руху 1,75...2,0 м/с, кут нахилу сепаратора до горизонту - 15...19 град. Побудовано номограму для визначення основних конструктивних і кінематичних параметрів спірального сепаратора (кута нахилу сепаратора до горизонту, кутової швидкості обертального руху спіралей) залежно від умов експлуатації (стану ґрунту, подачі вороху).

6. Економічний ефект від використання однорядного картоплекопача із встановленим на нього розробленим сепаратором складає (в цінах на 1.12.2023 р.) 134,21 грн/га, а річний розрахунковий економічний ефект складає 9394,70 грн. на одну машину за умови навантаження близько 70 га.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Алімов Д. Н., Шелестов Ю. В. Технологія виробництва продукції рослинництва. – Київ: Вища школа. Главне в-во, 1988, - 320 с.
2. Аністратенко В.О., Федоров В.Г. Математичне планування експериментів в АПК: Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 1993. – 375 с.
3. Бакум М.В., Горбатовський О.М., Манчинський В.Ю., Манчинський Ю.О., Сергеева А.В. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум.- Харків: РВВ ХНТУСГ, 2005.- 193 с.
4. Бердій Я. І., Джигрей В.С., Кидисюк А.І. та ін. Безпека життєдіяльності. – Львів, 1997. – 275 с.
5. Василенко П.М. Основи аналітичних методів землеробської механіки. – Київ: Вид-во НАУ, 1998. – 28 с.
6. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. – Київ: Урожай, 1994. – 448 с.
7. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / За ред. Д.Г. Войтюка. – Київ: Вища освіта, 2004. – 544 с.
8. Войналович О.В., Білько Т.О. Виробнича санітарія: Навч. посіб. Київ: НУБП, 2009. 170 с.
9. Головченко Г. С., Калнагуз О. М., Сіренко Ю. В. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Конспект лекцій.- Суми: РВВ СНАУ, 2012. – 59 с.
10. Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А., Луценков В.А., Работягов В.І. Охорона праці: Навчальне видання. – Київ: “Урожай”, 1994. – 272 с.
11. Довідник сільського інженера. В. Д. Гречкосій, О. М. Погорілець, І. І. Ревенко та інші за ред. В. Д. Гречкосія.- Київ: Урожай, 1991, - 400 с.

12. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>(дата звернення:22.10.2022).
13. Електробезпека [Текст]: підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
14. Коруняк П., Боровець В., Лозовий І. Апробація методики аналізу роботи подрібнювальних машин ударного типу //Вісн. ДУ "Львівська політехніка": Оптимізація виробничих процесів) і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні. - Львів. - 1998. - №321. - С.45-48.
15. Кияк Г. С. Рослинництво. – Київ.: Вища школа. Головне в-во, 1992, - 400 с.
16. Машиновикористання в землеробстві. За редакцією Ільченка В. Ю., Нагірного Ю. П., Київ: Урожай, 1996, - 382 с.
17. Моделювання енергоємності механічного обробітку ґрунту в сівозмінах./М. Я. Бомба та ін. Львів ЛДАУ, 1997, - 38 с.
18. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Масло В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. “Машини та обладнання с.-г. вир-ва”: У 3 кн. – Кн.. 2: Машини для рільництва / За ред. М.І. Чорновола. – Київ: Урожай, 2002. –364 с.
19. Пістун І. П., Кіт Ю. В., Березовецький А. П. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За заг. ред. канд. тех. наук І. П. Пістуна. – Суми: Видавництво «Університетська книга», 2000, – 207с.
20. Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П., Мазур І.Б. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. посібник. Львів: Сполом. 2022. 376 с.
21. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Березовецький А.П., Тимочко В.О., Городецький І.М.; за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2017. Ч.1. 620 с.
22. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П.; за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2015. Ч.11. 224 с.

23. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text> (дата звернення 16.09.2022).
24. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. 270 с.
25. Царенко О.М., Войтюк Д.Г. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів.- Київ: РВВ «Мета», 2003. – 441 с.
26. Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник.-Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. -84 с.
27. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві.. – Київ: “Урожай”, 1993. – 272 с.
28. Комаристов В.Ю., Дунай М.Ф. Сільськогосподарські машини. – К.: Вища школа, 1987. – 486 с.
29. Самокиш М.І., Ермантраут Е.Р. Організація і технологія механізованих робіт. – 2-е вид. перероб. і доп. – К.: Урожай, 1991.– 160 с.
30. СТП ХНТУСГ 01–05. Стандарт підприємства. Структура і оформлення дипломних та курсових проектів (робіт). – Харків: ХНТУСГ, 2005. – 27 с.
31. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – Київ: НМК ВО, 1992. – 320 с.
32. Шидула М.К. Охорона довкілля: Навч. посіб. /, О.Ф.Ігнатенко, Л.Р.Петренко, М.В.Капштик. – Київ:Т-во “Знання”, КОО, 2001. – 398 с.

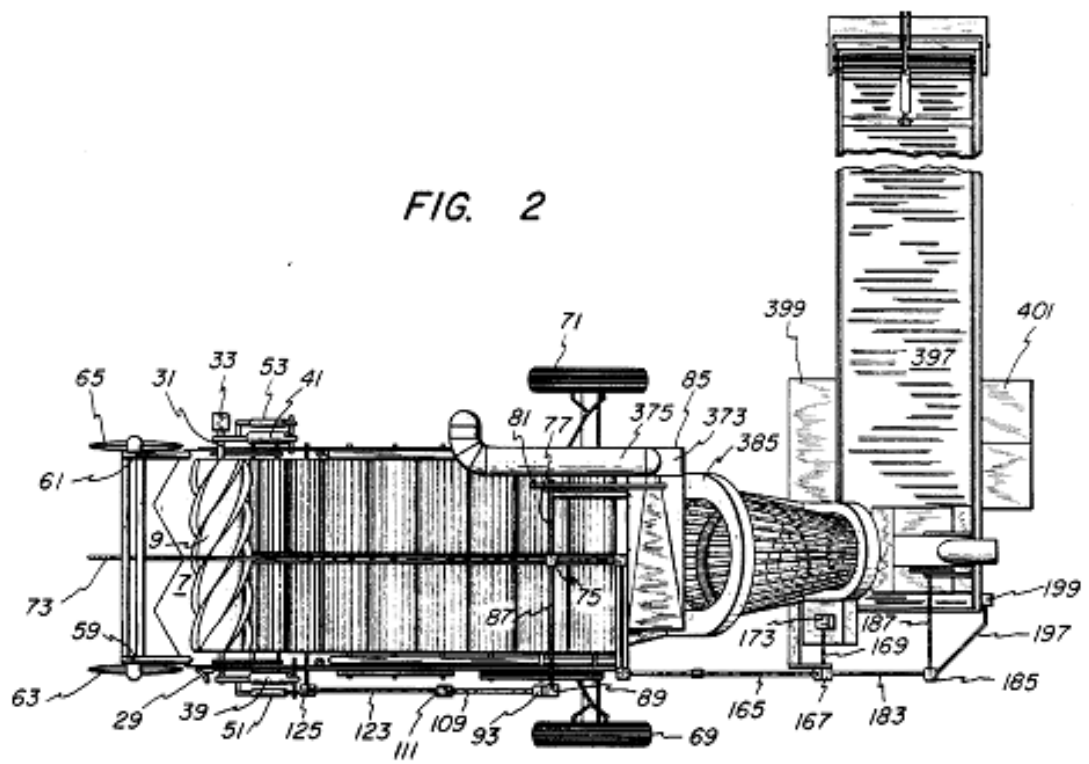
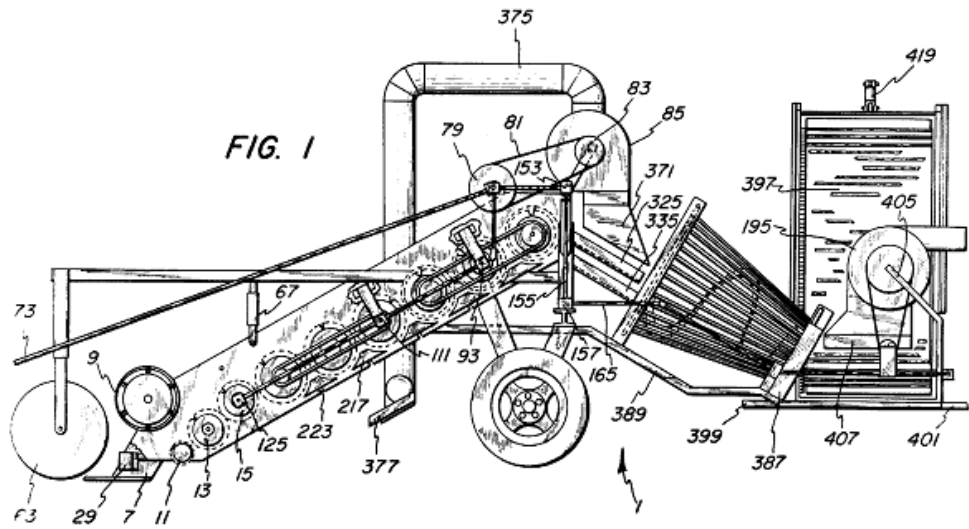


FIG. 3

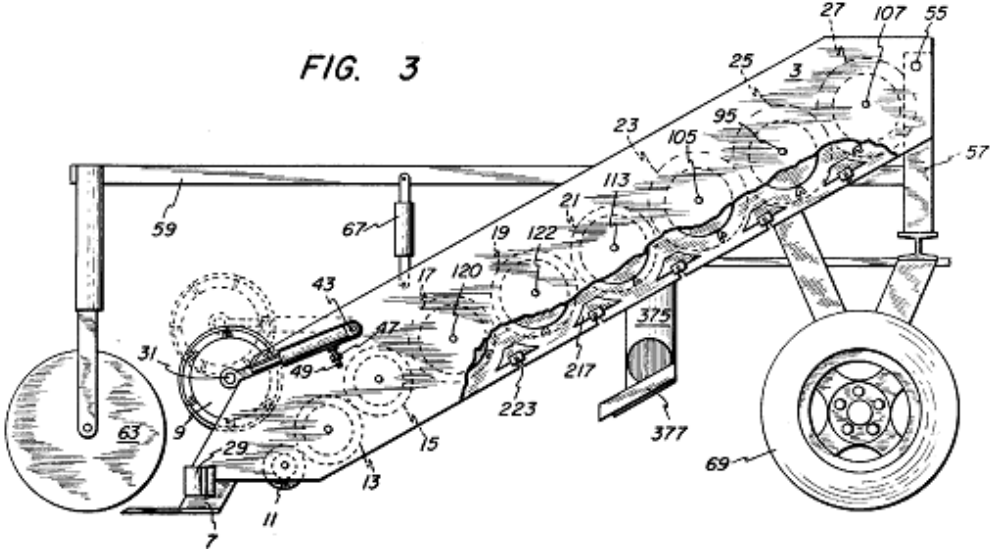


FIG. 4

