

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування параметрів та режимів роботи конвеєра для очистки коренеплодів буряку

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Паталаха Володимир Володимирович

Керівник: _____Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ _____.

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ _____.

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище,

ініціали)

« ____ » _____ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Паталахі Володимирі Володимировичу _____.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів та режимів роботи конвеєра для очистки коренеплодів буряка

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень 2. Теоретичні дослідження 3. Програма і методика досліджень 4. Результати досліджень 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях 6. Економічна ефективність. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 07.11.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 14.11.2025 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 8.12.2025 р.	Виконав

Студент

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Паталаха В.В. Обґрунтуванням параметрів та режимів роботи конвеєра для очистки коренеплодів буряку / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У першому розділі представлено огляд літературних джерел за темою досліджень. З огляду на сучасний стан конструкторсько-технічних рішень запропоновано конструкцію конвеєра для очищення коренеплодів, а також сформульовані основні цілі та задачі досліджень.

У другому розділі Обґрунтовано модель функціонування кулачкового конвейєра-очищувача при збільшеній кутовій швидкості обертання кулачків

У третьому розділі представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У четвертому розділі Встановлено вплив кутової швидкості секцій очищувача на продуктивність; вплив обмежуючої поверхні на якісні показники роботи очищувача. Виконано аналіз результатів математичного моделювання процесу впливу на продуктивність кулачкового конвейєра-очищувача обмежуючої поверхні.

У п'ятому розділі приведено аналіз стану охорони праці.

У шостому розділі приведено розрахунок техніко-економічних показників. Розроблена конструкція дозволяє знизити експлуатаційні витрати по зрівнянню з базовою.

Машинописного тексту____, малюнків____, таблиць____, містить джерел використаної літератури_____ і має графічної частини ____ листів

Паталаха В.В. Обґрунтування моделі функціонування кулачкового конвеєра-очищувача / В.В. Паталаха // The 12th International scientific and practical conference «European congress of scientific discovery» (11,10-12,2025), Madrid, Spain. 39-41p

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 МЕХАНІЗОВАНІ ПРИСТРОЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ.....	12
Висновки.....	26
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО КОНВЕЙЄРА-ОЧИЩУВАЧА.....	27
2.1. Обґрунтування координат взаємного розташування транспортера коренеплодів та кулачкового конвейєра-очищувача.....	27
2.2. Обґрунтування моделі функціонування кулачкового конвейєра- очищувача.....	41
2.3. Час обробітку коренеплодів в очищувачі.....	45
2.4. Визначення параметрів секційної моделі.....	49
Висновки.....	54
3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	35
3.1. Програма досліджень.....	55
3.2. Опис експериментальної установки.....	56
3.3. Методика визначення продуктивності кулачкового конвейєра- очищувача.....	58
Висновки.....	73
4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	74
4.1. Визначення продуктивності кулачкового конвеєра-очищувача.....	74
4.2. Вплив обмежуючої поверхні на якісні показники роботи очищувача.....	81
4.3. Аналіз результатів математичного моделювання процесу впливу на продуктивність кулачкового конвейєра-очищувача обмежуючої поверхні.....	83

Висновки	94
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	96
Висновки	100
6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА	101
Висновки.....	104
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	106
БІБЛІОГРАФІЯ.....	109
ДОДАТКИ.....	115

ВСТУП

Інтенсивне землеробство останніх десятиріч призвело до серйозних проблем, пов'язаних із зменшенням родючості ґрунту. Однією з причин такого стану є політика розвитку сільськогосподарської техніки: збільшення потужності двигунів, збільшення ширини захвату знарядь та, як наслідок, збільшення загальної металоємності агрегатів.

Інша серйозна проблема, що завдає великої шкоди екологічному стану навколишнього середовища - є вивіз спільно із врожаєм родючого шару ґрунту при збиранні різних коренеклубнеплодів. Це призводить до зниження гумусу в ґрунті, забрудненню, замуленню водоймищ, що прилягають до коренепереробних підприємств.

При вивченні цієї проблеми можна прийти до висновку, що при врожайності 300 ц/га коренеплодів, з ланів вивозиться близько 6 тонн родючого шару ґрунту з кожного зібраного гектара. У нас щорічно на заводи транспортується практично стільки ж екологічно небезпечної і найбільш родючої ґрунто-рослинної маси, скільки виробляється цукру (2,5-3,0 млн.т). Вітчизняні заводи фактично загромаджені відвалами цієї маси. Крім того, господарства зазнають збитків за рахунок неефективного використання техніки при транспортних роботах; заводи несуть затрати на очистку коренеплодів перед переробкою і т.п. Виходячи з наведеного, слід відмітити, що однією з важливих проблем, яка постає перед розробниками техніки для збирання коренеплодів, є вдосконалення та пошук нових елементів конструкцій робочих органів, призначених для сепарації вороху коренеплодів, працюючих більш ефективно на очищенні коренеплодів від ґрунту без травмування та втрат останніх. Однією з основних причин виникнення даної проблеми, є недосконалість сепаруючих робочих органів збиральних машин.

Існуючі типи робочих органів призначених для сепарації вороху коренеплодів, такі як пневматичні балони - грудкороздавлювачі, сепаруючи

гірки, пруткові елеватори, грохоти, шнекові, пневматичні та кулачкові очищувачі на даний час є недостатньо ефективними.

У загальному технологічному процесі вирощування коренеплодів найбільш трудомісткою операцією є збирання врожаю, на частку якої припадає більш як 50% всіх витрат праці.

На сучасному етапі розвитку механізованого збирання коренеплодів, однією з основних проблем є очищення їх від ґрунту та інших домішок. Для очищення коренеплодів використовують конвеєри-очищувачі. Вони відносяться до основних робочих органів машин для збирання коренеплодів. Існуючі конвеєри-очищувачі мають низьку спроможність по відділенню ґрунту від коренеплодів як на сухих так і на вологих ґрунтах, засмічених полях, а також пошкоджують значну кількість коренеплодів (до 40%), що загнивають при тривалому зберіганні і заражають гниллю здорові коренеплоди.

Розробка нових технологічних процесів очищення і створення високоефективних конвеєрів-очищувачів машин для збирання коренеплодів сприяє підвищенню продуктивності праці, повноті збирання врожаю, якості зібраної маси, зменшенню транспортних робіт по перевезенню, збереженню родючості ґрунту.

Розробка машин для збирання буряків та дослідження окремих робочих органів до них являється важливим господарчим завданням. Високі вимоги пред'являються до очищувачів, особливо тих, що використовуються при збиранні кормових буряків призначених для вживання тваринами. В такому випадку домішки ґрунту не повинні перевищувати 3%. Очищувачі не повинні пошкоджувати коренеплоди, інтенсивно відділяти домішки, не забиватися рослинними домішками. Найбільш повно, із відомих робочих органів очищувачів, відповідають цим вимогам ротаційні кулачкові очищувачі. Основними недоліками цих пристроїв залишаються значне пошкодження коренеплодів, забивання бур'янами та гичкою на засмічених ділянках, а також обмеження при збільшенні продуктивності конвеєрів-очищувачів цього типу,

пов'язані з необхідністю постійного контакту коренеплодів з робочими органами очищувача.

В зв'язку з цим, в роботі проведено дослідження технологічного процесу очищення від ґрунту коренеплодів буряків та їх транспортування кулачковим конвейєром-очищувачем при встановленні обмежуючої поверхні, а також обґрунтовані конструктивні параметри розташування обмежуючої поверхні. Розроблена методика експериментального визначення продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача. Проведено дослідження впливу розміщення обмежуючої поверхні, встановленої над робочими органами конвейєра-очищувача, на якісні показники його роботи при підвищенні продуктивності за рахунок збільшення кутової швидкості кулачків.

Мета дослідження. Обґрунтування умов якісного виконання технологічного процесу очищення коренеплодів від ґрунту

Завдання дослідження:

- розробити вдосконалений конвейєр-очищувач з гумовими очищаючими елементами, що дозволить підвищити їх кутову швидкість, не пошкоджуючи коренеплоди та збільшити продуктивність робочого органу;

- дослідити технологічний процес руху коренеплодів по кулачковому конвейєру-очищувачу при підвищеній кутовій швидкості секцій очищувача з метою обґрунтування можливості підвищення продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача;

- обґрунтувати параметри та розробити конструкцію обмежуючої поверхні кулачкового конвейєра-очищувача, що перешкоджає вільному польоту коренеплодів над його поверхнею при підвищенні кутової швидкості обертання секцій.

- провести експериментальні дослідження нового вдосконаленого конвейєра-очищувача;

- розробити рекомендації для впровадження нового вдосконаленого конвейєра-очищувача у виробництво.

Об'єкт дослідження. Закономірності протікання процесів, пов'язаних із взаємодією коренеплодів з гумовими очищаючими елементами при підвищеній кутовій швидкості

Предмет дослідження. Конвейєр-очищувач коренезбиральної машини

Наукова новизна роботи базується на вдосконаленні конвейєра-очищувача з гумовими очищаючими елементами, що дозволить підвищити їх кутову швидкість, не пошкоджуючи коренеплоди та збільшити продуктивність робочого органу.

1 МЕХАНІЗОВАНІ ПРИСТРОЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ

До очищувачів пред'являють вимогу універсальності, тобто спроможність якісно виконувати технологічний процес очищення коренеплодів від ґрунту незалежно від фізико-механічних властивостей вороху. Ворох, що складається з механічної суміші коренеплодів та ґрунту, значно змінює свою структуру в залежності від вологості. Ґрунт, в залежності від вмісту глинистих частинок та вологи, може знаходитися у трьох різноманітних фізичних станах: твердому, пластичному та текучому.

Особливі труднощі для якісної роботи очищувачів складають ґрунти у твердому фізичному стані, що містять в воросі тривкі грудки, відокремити які, не пошкодивши при цьому коренеплодів, надто складно.

Якщо прийняти, що компоненти, які становлять сипкий матеріал мають пружність та тривкість, то його можна назвати сипким середовищем.

Після вивчення та аналізу літературних джерел, розгляду авторських свідоцтв країн СНД і найбільш розвинутих країн західної Європи (Німеччини, Великобританії, Франції, Бельгії та ін.)

В деяких випадках на прутках встановлюють скребки, що дозволяє розташувати такий конвейєр-очищувач із збільшеним кутом нахилу до горизонту. Очищення вороха коренеплодів відбувається в результаті просівання ґрунту поміж прутками.

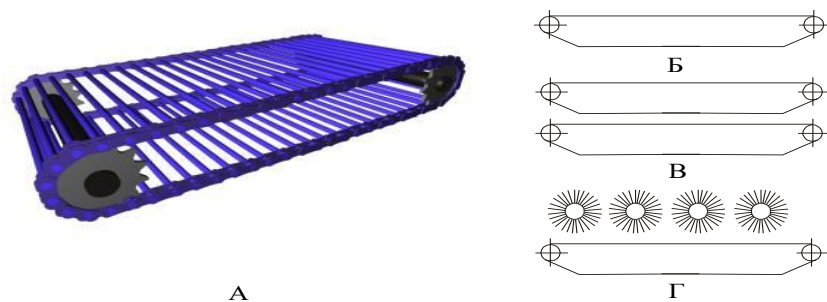


Рисунок 1.1 - Конвейєр-очищувач прутковий

Двоконтурний прутковий конвейєр-очищувач (рис.1.1 В) складається з двох нескінченних пруткових стрічок, встановлених паралельно. Ворох коренеплодів рухається між двома робочими поверхнями-верхньою стрічкою нижнього та нижньою стрічкою верхнього контурів. При такому конструктивному виконанні можливо переміщення вороху коренеплодів під будь-яким кутом до горизонту, аж до вертикального напрямку. Швидкості руху стрічок, між якими переміщається ворох коренеплодів, можуть бути різними. За рахунок різниці швидкостей відбувається обертання компонентів вороху та більш ефективна очищення коренеплодів від частинок ґрунту.

Комбінований прутковий очищувач (рис.1.1 Г) складається з одноконтурної нескінченної стрічки та встановлених над нею очисних щіток. Ворох, що рухається по верхній прутковій стрічці, піддається додатковому впливу з боку щіток, що сприяє підвищенню ступені очистки.

До комбінованих очищувачів відноситься також пристрій (рис.1.2) виконаний у вигляді послідовно встановлених одноконтурних пруткових очищувачів.

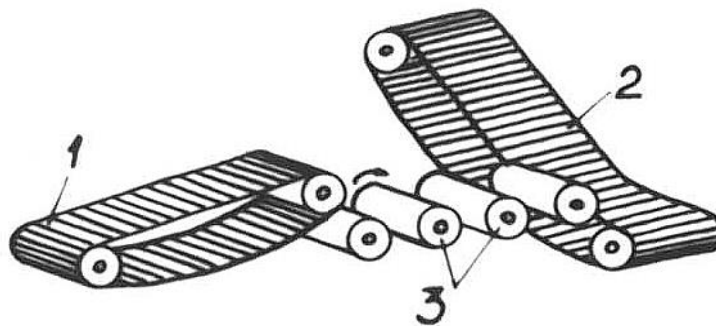


Рисунок 1.2 - Очищувач для підбирача-навантажувача

В іншій пристрої (рис.1.3) замість прутків встановлені спеціальні скребки, що разом з повздовжніми планками утворюють коміркову поверхню. Така робоча поверхня захоплює грудки ґрунту та виносить їх за межі машини, а коренеплоди залишаються, тому що мають більші розміри.

Для підвищення інтенсивності очищення вороху коренеплодів запропоновано над робочою поверхнею пруткового елеватора встановити шнеки під різними кутами до напрямку переміщення матеріалу (рис.1.4).

Ефективність очищення зростає, як із-за дії на ворох додаткових робочих органів, так і за рахунок збільшення шляху очищення на прутковому елеваторі.

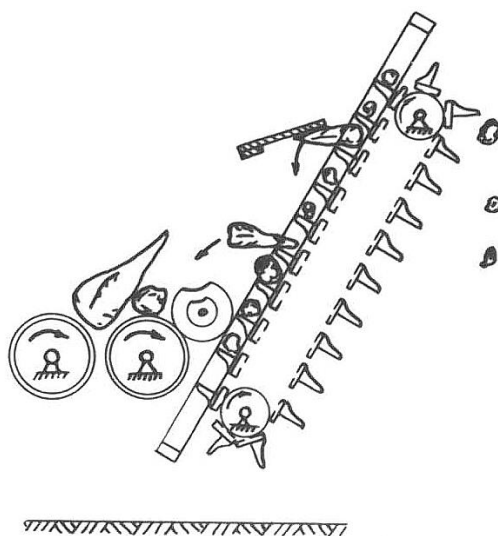


Рисунок 1.3 - Очищувач кормових буряків від землі та каменів

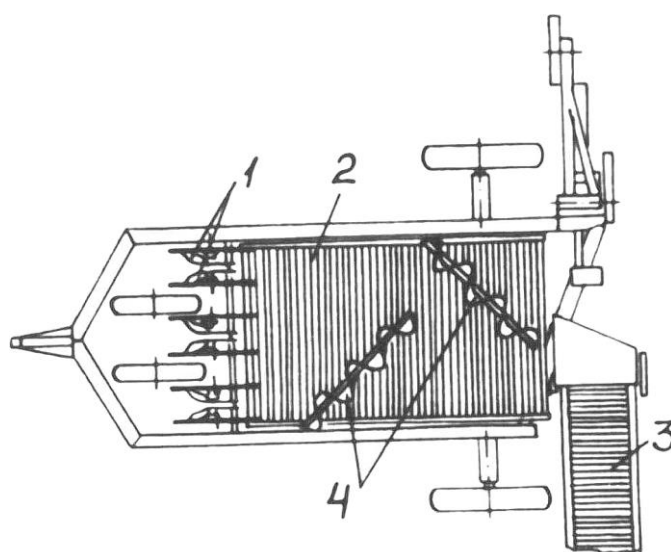


Рисунок 1.4 - Вдосконалена машина для збирання буряків

Пристрій для відділення домішок ґрунту від коренеклубнеплодів подовженої форми, складається із зовнішнього транспортера з сітчастою поверхнею та внутрішнього пруткового транспортера. Стрічка зовнішнього

транспортера виконана у вигляді сітки з отворами правильної шестигранної форми і на відстані від внутрішньої стрічки, що дорівнює $0,5...0.65$ від радіуса кола вписаного в шестигранник. Ворох коренеплодів та домішки поступають на зовнішній транспортер. Домішки, як більш короткі компоненти вороху в порівнянні з коренеплодами, проходять через отвори і лягають на внутрішній транспортер, а коренеплоди або зависають, або западають в отвори зовнішнього транспортера. При підході до дуговидного відрізка довгі коренеплоди, що виступають з отворів, скидаються, а домішки ґрунту видаляються. Проте така конструкція неефективна для відділення ґрунту, що прилипає до коренеплодів, а також для відділення рослинних домішок.

Коренеплоди, що поступають на решітку, підхоплюються зустрічно-обертаючимися барабанами, закріпленими на тяговому механізмі. При переміщенні вздовж решітки коренеплоди здійснюють обертально-поступальні рухи, охоплюються робочою поверхнею барабана з розміщеними на ній еластичними елементами. Домішки, що відділяються в процесі очистки, провалюються крізь решітку, а коренеплоди поступають на вивантаження.

Барабанні конвейєри-очишувачі. Ворох коренеплодів надходить з торцевої частини всередину барабанного очишувача, захоплюється гвинтовою навивкою та внутрішньою поверхнею очишувача, рухається в потрібному напрямку й таким чином очищається за рахунок просівання домішок ґрунту.

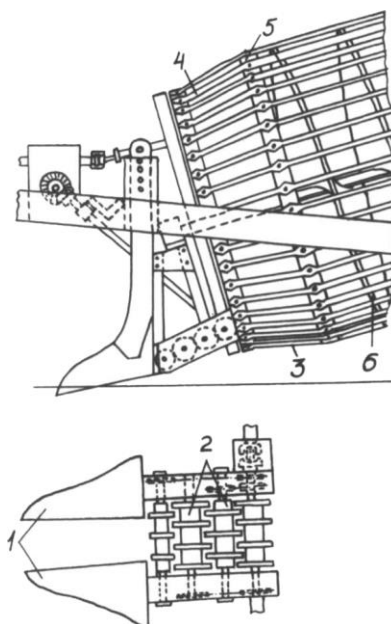


Рисунок 1.5 - Бурякозбиральна машина

Конструкція машини з використанням складеного барабанного конвейєра-очищувача представлена на рис.1.5. В даній конструкції для подачі коренеплодів на барабанний очищувач з використовується кулачковий

Запропоновані також конструкції барабанних очищувачів (рис.1.6 та 1.7) в яких коренеплоди поступають на зовнішню поверхню пруткових барабанів. Для відокремлення рослинних залишок всередині барабанів, що обертаються, встановлені нерухомі ножі.



Рисунок 1.6 - Очищувач буряків

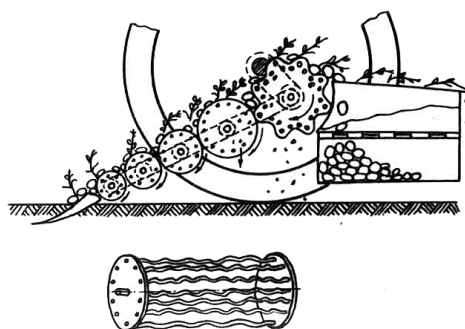


Рисунок 1.7 - Машина для збирання картоплі і буряків

В пристрої для відокремлення коренеклубнеплодів від грудок ґрунту та каменів внутрішня робоча поверхня барабану, що обертається, містить комірки. Під час роботи домішки заповнюють комірки барабана і виносяться вгору, а коренеклубнеплоди розміщуються на внутрішній поверхні барабану і за рахунок його нахилу виносяться зовні.

До барабанних очищувачів також можна віднести пристрій, запропонований в авторському свідоцтві № 1530123 (рис.1.8). З метою підвищення якості очищення коренеплодів зовнішня поверхня барабана утворена еластичними щітками.

В даному пристрої на коренеплоди сумісно діють барабан та перша секція елеватора. Захоплені коренеплоди, ґрунт та рослинні залишки переміщуються по робочій стрічці до зустрічі з другою стрічкою. В зоні стику першого та другого елеватора утворюється “кишеня”, зона вільна від дії ворсу барабана. В цій зоні ворох, розігнаний ворсом барабана, гальмується, а після контакту з полотном другого елеватора, інтенсивно подрібнюється та переміщується. При цьому подрібнений ґрунт частково просіюється між прутками елеватора, а частково виноситься зовні в зазор між першим та другим елеваторами. Аналогічний процес відбувається на стику другої та третьої секції елеватора.

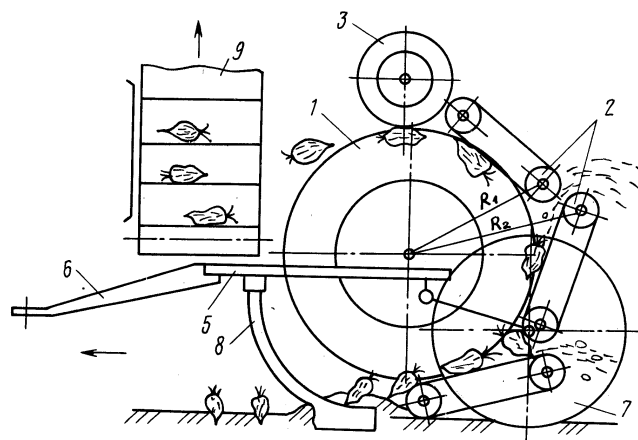


Рисунок 1.8 - Очищувально-транспортний пристрій

Відокремлення рослинних домішок, грудок ґрунту проходить в зоні зустрічі вороху з циліндричною щіткою. Тут легка фракція домішок захоплюється щіткою і викидається на зовні, а більш важкі коренеплоди, утопаючи в ворсі барабана, викидаються на транспортер для навантажування.

Перевагами барабаних очищувачів в порівнянні зі шнековими є: менший ступінь пошкодження коренеплодів при очищенні, підвищена спроможність просівання на легких ґрунтах.

До недоліків відносяться: громіздкість конструкції, підвищене спрацювання, неповне відділення тривких грудок ґрунту.

Шнекові конвейєри-очищувачі. Шнековий конвейєр-очищувач представляє собою набір вальців, що обертаються назустріч один-одному, або в одному напрямку. Вальці мають витки по гвинтовій лінії, що сприяє просуванню вороху коренеплодів в потрібному напрямку. В різних конструкціях вальці бувають циліндричними, чи конічними (рис.1.9). Між вальцями існує зазор для просівання ґрунту.

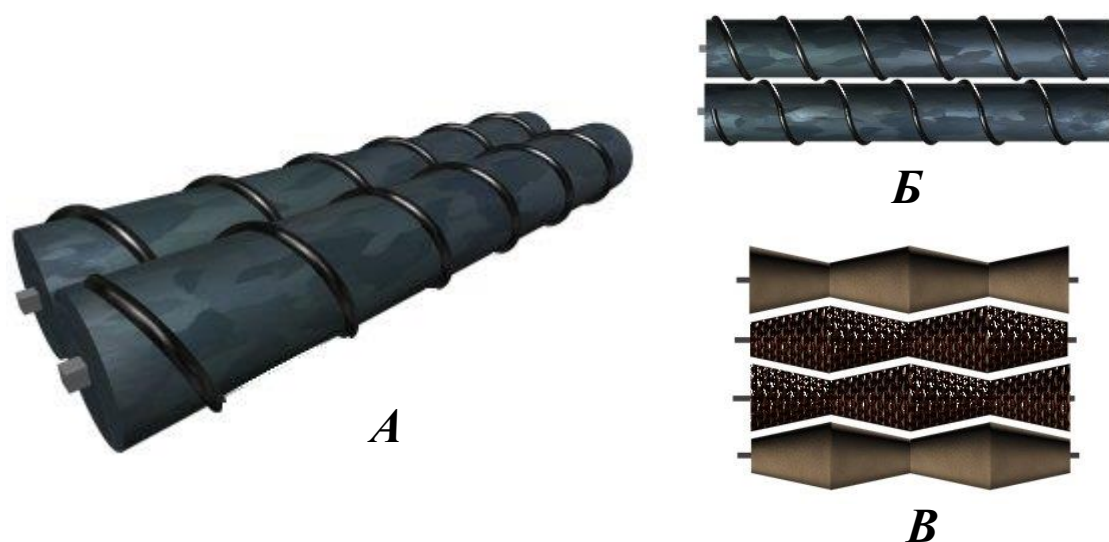


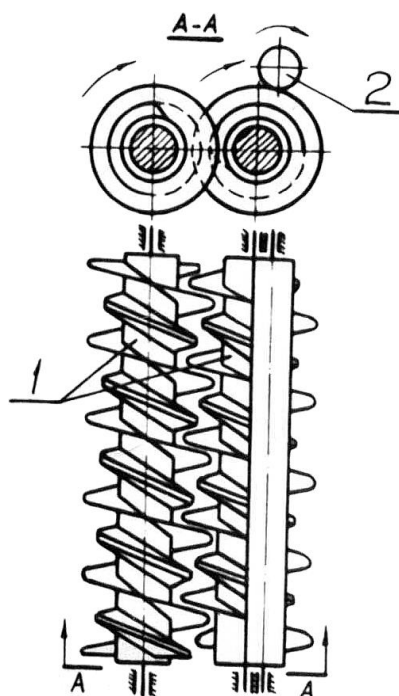
Рисунок 1.9 - Конвейєри-очищувачі шнекові

Для інтенсифікації очищення коренеплодів в авторському свідоцтві № 148922 запропоновано ексцентричне розміщення вальців на осях обертання.

Таку ж мету переслідує винахід по авторському свідоцтву №275573 (рис. 1.10).

Витки шнеку виконані тут багатозахідними та з різною висотою. Коренеплоди і невеликі ґрунтові домішки переміщуються різними шнеками та інтенсивно розділяються.

Інтенсивність дії на ворох збільшується, якщо підшипниковим опорам вальців надати коливання в площині обертання (№286381), або вальці зробити в



вигляді багатогранних призм.

Рисунок 1.10 - Очищувач коренеплодів від землі та гички

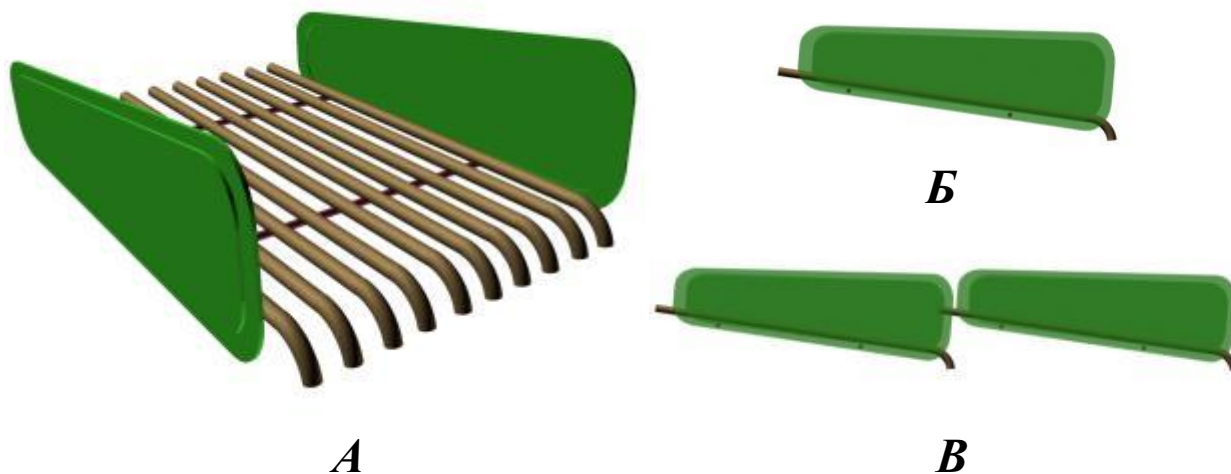


Рисунок 1.11 - Конвейєри-очищувачі грохотні

Привід здійснюється кривошипно-шатунним механізмом. Частота коливань регулюється варіатором за допомогою клинопасової передачі. При русі грохоту вперед ворох коренеплодів переміщається разом з ним в тому ж

напрямку; при русі грохоту в зворотньому напрямку (назад) ворох коренеплодів залишається нерухомим, а грохот немов би йде з-під нього. В результаті таких зворотно-поступальних рухів грохоту відбувається поступальне переміщення вороху коренеплодів в потрібному напрямку і просівання ґрунту крізь щілини в струнній поверхні.

Робоча поверхня грохота може бути виконана як із повздовжніх так і поперечних прутків. Вони спроможні очищати ворох при дуже великому вмісті ґрунтових домішок, тому одержали найбільше розповсюдження на картоплезбиральних машинах. Найбільший ефект очищення досягається на легких супіщаних ґрунтах, тривкі ґрунтові грудки на решітних грохотах руйнуються незадовільно.

В Патенті ФРН №123857 (рис. 1.12) описана конструкція очищувача, в якому спеціальний привід передає узгоджені коливання поперечним пруткам, що мають хвилеподібну форму. Завдяки таким коливанням пруткової решітки ворох переміщується по робочій поверхні та очищається від домішок.

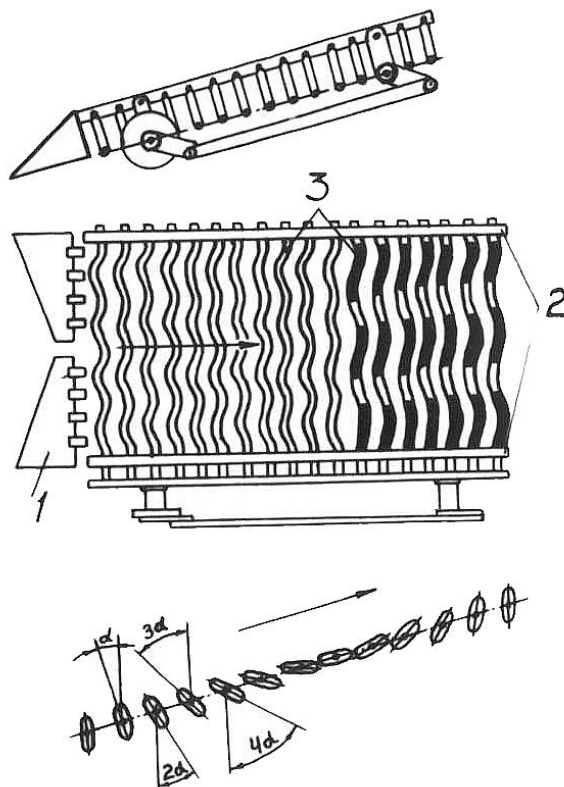


Рисунок 1.12 - Транспортёр і просіваючий пристрій

Для підвищення транспортуючої спроможності грохота, під ним встановлюється один або кілька валів з набором кулачків, лопаті яких розміщені між прутками і виступають над робочою поверхнею очищувача (№125420). В іншому випадку для підвищення транспортуючої спроможності та очищення робочої поверхні вібраційний грохот обладнаний щітками з'єднаними між собою нескінченним ланцюгом.

Запропонована конструкція очищувача, в якому коливання робочої поверхні здійснюється за рахунок еластичних елементів, що по чергово заповнюються енергоносієм (наприклад стисненим повітрям).

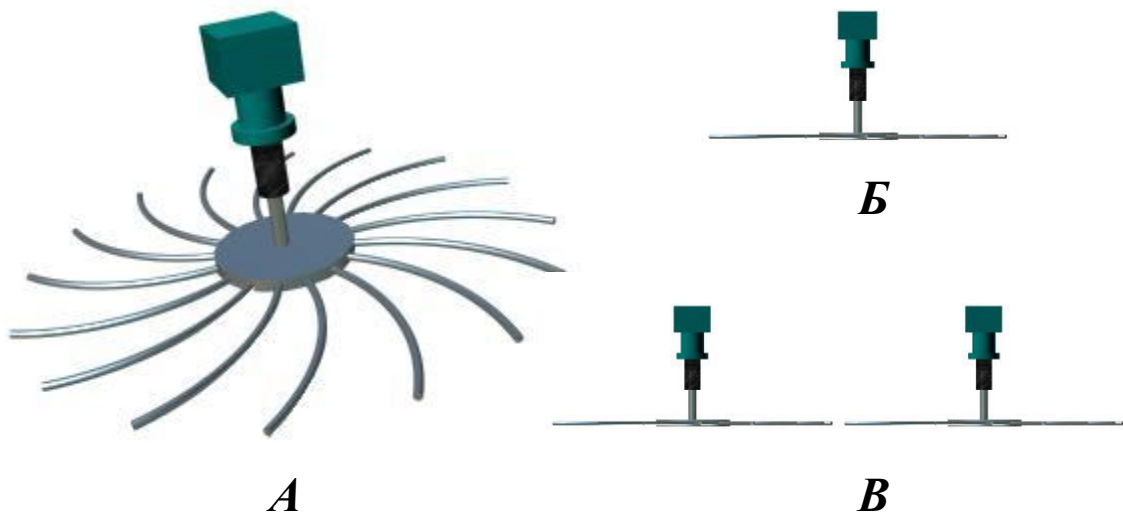


Рисунок 1.13 - Конвейєри-очищувачі турбінні

В більшості випадків у таких очищувачів взаємодіють рухомі та нерухомі пруткові решітки, проте відомі конструкції в яких нерухомий диск відсутній.

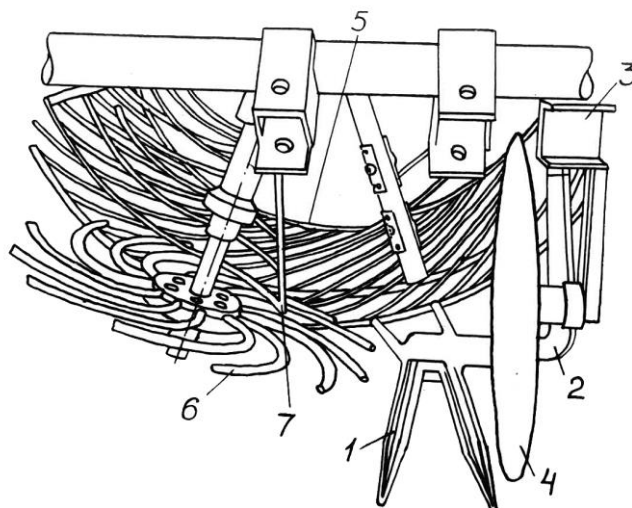


Рисунок 1.14 - Вдосконалена збиральна машина для цукрового буряка
Пруткові диски найчастіше працюють в бурякозбиральних машинах при парній взаємодії між собою. Є конструкції в яких використовується один чи три пруткових диски, встановлених під деяким кутом один до одного (Патент Бельгії № 550446).

В патенті Великобританії №779710 (рис.1.14) описано пристрій, в якому очищення коренеплодів від ґрунтових домішок виконується за допомогою пруткового диска, барабана та нерухомої решітки.

Конвейєри-очищувачі кулачкові. Кулачкові конвейєри-очищувачі широко використовуються для очищення вороху коренеплодів від ґрунту, як у мобільних, так і в стаціонарних машинах (рис.1.15).

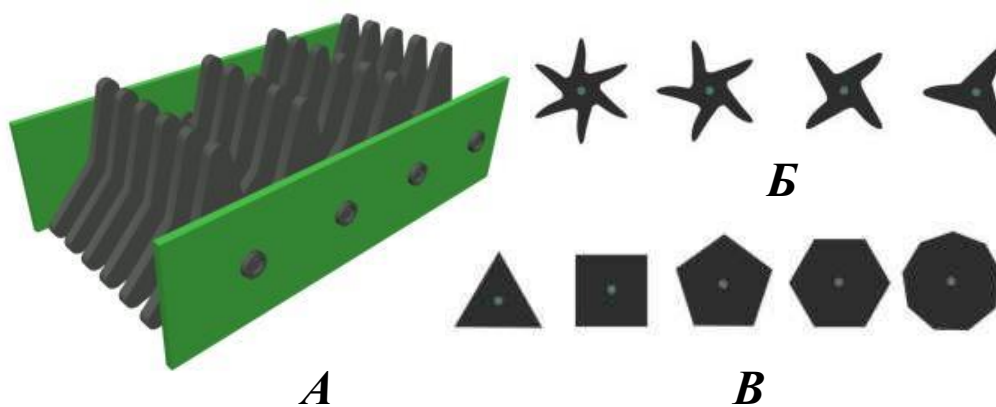


Рисунок 1.15 - Кулачкові конвейєри-очищувачі

Ці очищувачі конструктивно виконані у вигляді паралельних секцій, що представляють собою вали з закріпленими на них кулачками. Вали розміщені перпендикулярно відносно напрямку руху вороху та обертаються в одному напрямку. В більшості випадків всі вали обертаються з однією кутовою швидкістю. По формі кулачки поділяються на два види - лопатні та багатокутні. Такий конвейєр-очищувач одержує назву по виду кулачка. Кількість лопатей на кулачку може бути різною. На практиці використовуються кулачки з кількістю лопатей від трьох до шести.

Деякі кулачкові очищувачі описані в №280079 (рис.1.16) та № 341436 (рис.1.17), в патенті США № 3010522 (рис.1.18).

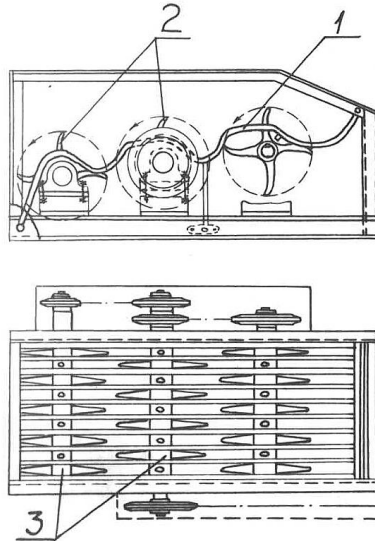


Рисунок 1.16 - Елеватор для коренеклубнеплодів

Ворох коренеплодів надходить на поверхню кулачків, що обертаються, і переміщується з однієї секції на наступну в напрямку їхнього обертання. Домішки ґрунту в процесі просування вороху інтенсивно просіваються крізь зазори між кулачками. При цьому транспортуюча спроможність очищувача з лопатними кулачками вище ніж з багатокутними, і при оптимальному кінематичному режимі вона наближається до транспортуючої спроможності скребкового транспортера.

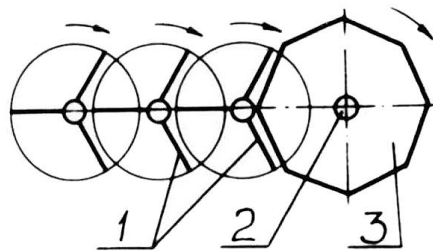


Рисунок 1.17 - Очищувач для коренезбиральної машини

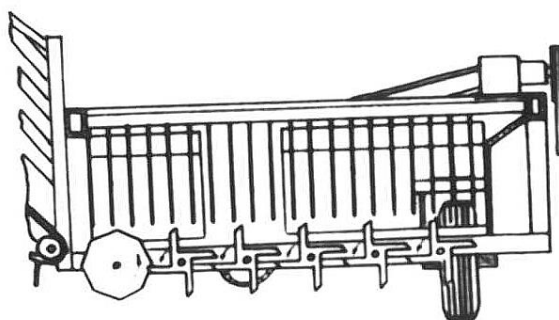


Рисунок 1.18 - Очищувач бурякокомбайна

Багатокутні кулачки, в порівнянні з лопатевими, мають перевагу в тому, що вони менше забиваються рослинними залишками. В конструкції роликового очищувача (рис.1.19) була зроблена спроба об'єднати позитивні властивості обох видів кулачків.

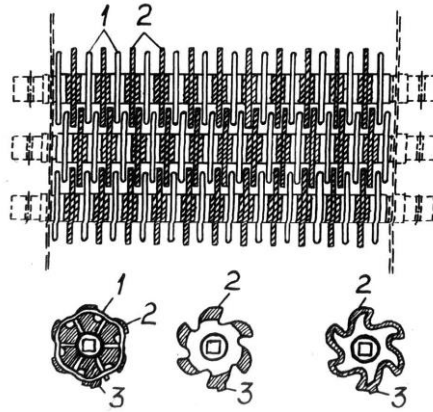


Рисунок 1.19 - Роликова очисна решітка

Секції даного очищувача набрані шестилопатевими та шестигранними кулачками, що чергуються поміж собою. Якщо забивання очищувача рослинними залишками в такому випадку зменшується, то про підвищення його транспортуючої спроможності говорити важко, тому що шестигранні кулачки будуть перешкоджати повній взаємодії шестилопатевих кулачків з ворохом коренеплодів.

Якість очищення коренеплодів на робочій поверхні ротаційного кулачкового очищувача збільшується, якщо після секції з лопатними кулачками встановити секцію з багатокутними кулачками великого діаметра (№ 341436). Проте в такому разі зменшується продуктивність очищувача за рахунок зменшення поступальної швидкості руху коренеплодів. Ефективне руйнування грудок досягається в тому випадку, коли забезпечується їх заклинювання між лопатями кулачків суміжних секцій, тобто при визначеному взаємному положенню секцій між собою (№ 157855). В даному винаході рекомендується кут між взаємодіючими лопатями кулачків, що дорівнює $\pi/3$ радіан. При цьому основна маса коренеплодів здатна покинути міжлопатевий простір кулачкового

очищувача, а більшість грудок заклинюється і руйнується. Якщо в воросі коренеплодів знаходиться каміння або металеві предмети, то їх защемлення в міжлопатевому просторі приводить до виходу з ладу кулачків або інших деталей очищувача. Відомий грудкоподрібнювач бурякокомбайна (рис.1.20), в якому кулачки взаємодіють з важелями 3, з'єднаними з пружиною 5. При цьому грудки руйнуються в зазорі між лопатями кулачків та важелями, причому кут між робочими поверхнями при великих силах защемлення збільшується завдяки пружині. Описаний пристрій запобігає пошкодженню деталей очищувача при попаданні каменів. Наявність пасивних робочих елементів на шляху переміщення вороху знижує продуктивність очищувача. Крім того, важко забезпечити постійне значення кута між лопатями кулачків, що обертаються, та нерухомими важелями, і якщо зважити на те, що розміри компонентів вороху змінюються в досить широкому діапазоні.

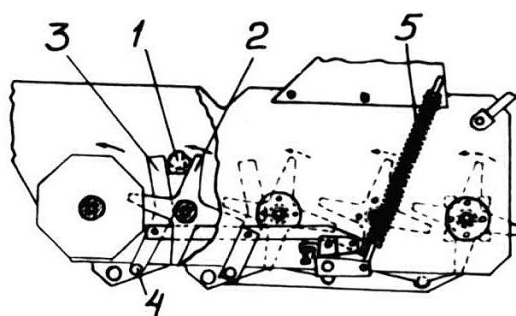


Рисунок 1.20 - Грудкоподрібнювач бурякокомбайна

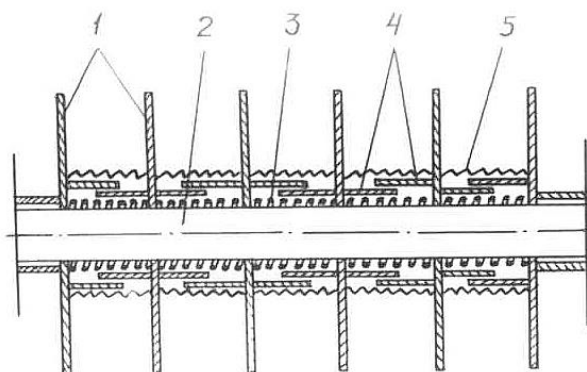


Рисунок 1.21 - Очищувач до коренеплодозбиральної машини

В № 378170 (рис. 1.21) запропонована конструкція секції ротаційного кулачкового очищувача, в якому кулачки встановлені на валу за допомогою телескопічних втулок, розпірних пружин та гумових трубок.

Такий пристрій виключає можливість виходу із ладу двох сусідніх кулачків при защемленні каменів між їхніми боковими поверхнями.

До переваг кулачкових очищувачів відносяться: компактність, простота будови та обслуговування, їх висока очисна та транспортуюча спроможність. Лопатями взаємодіючих кулачків можливе відділення грудок з вороху коренеплодів, що надто важливо при використанні коренезбирального агрегату на важких сухих суглинистих ґрунтах.

Висновки

На основі вивченого стану проблеми можна зробити висновки, що конвейєри-очищувачі коренеплодів від ґрунту, які відносяться до основних робочих органів коренезбиральних машин не в повній мірі задовольняють вимогам, що пред'являються до них, мають низьку спроможність відділення грудок, пошкоджують значну кількість коренеплодів, не дієздатні на твердих грудкуватих ґрунтах і на ґрунтах з підвищеною кількістю бур'янів. Недостатньо очищені коренеплоди перевозяться разом з ґрунтом до місця зберігання, що вимагає додаткового використання транспортних засобів на період збирання врожаю. Крім того, з полів вивозиться самий родючий верхній шар ґрунту, що можна назвати механічною ерозією ґрунту.

Застосовувані на коренезбиральних машинах конвейєри-очищувачі травмують коренеплоди (до 40%), що перешкоджає їхньому наступному тривалому зберіганню.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО КОНВЕЙЄРА-ОЧИЩУВАЧА

2.1. Обґрунтування координат взаємного розташування транспортера коренеплодів та кулачкового конвейєра-очищувача

Збиральний агрегат, або комбайн рухається відносно землі із швидкістю V_a . Коренеплоди мають початкову швидкість $V'_k=0$ і в першому пристрої – транспортері 1 (рис. 2.1) повинні набути швидкості відносно агрегату не менше ніж V_a , інакше вони будуть накопичуватись в пристрої 1.

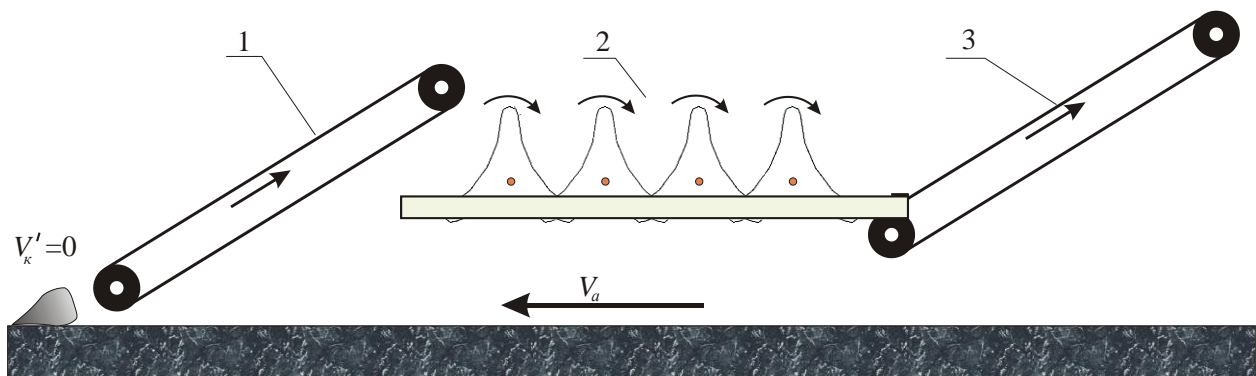


Рисунок 2.1 - До питання взаємного розташування пристроїв коренезбиральних машин: 1, 3 – транспортери; 2 – кулачковий конвейєр-очищувач

При збиранні коренеплодів, з метою їх розосередження на робочих органах, швидкість їх переміщення вздовж підйомника повинна перевищувати поступальну швидкість агрегату. Швидкість коренеплодів під час руху вздовж робочих органів агрегату може дорівнювати V_a і навіть поступово зменшуватися, але в такому випадку слід збільшувати поперечний переріз в пристроях 1...3, що призведе до збільшення маси та габаритів машини.

Якщо за нормальні умови роботи вважати швидкість $V_a=7,2...10,8\text{ км/год}$, що становить $2...3\text{ м/с}$, (а це стає можливим при використанні гумових, або ж гумованих робочих органів), тоді постає питання визначення траєкторії переміщення коренеплодів із одного пристрою до іншого. Розглянемо траєкторію сходу коренеплодів з транспортера 1 (рис.2.4). В математичному

плані за робоче тіло будемо вважати плоскі диски із діаметрами d_i і масою m_i , що зосереджена в його центрі C .

Одним із факторів, що впливають на траєкторію руху центра маси коренеплодів є його геометричні розміри. У відповідність із теорією ймовірностей [14] із центральної граничної теореми слідує, що сума великого числа незалежних випадкових величин наближається до нормального Гаусового розподілу. Важливим наслідком цієї теореми для біології є визначення розмірів як різних органів біологічних об'єктів, так і їх в цілому. Збільшення розміру біологічного індивіда в визначений проміжок часу пропорційний вже досягнутому розміру із коефіцієнтом, випадковим і таким, що залежить від умов зовнішнього середовища. Нехай весь період росту поділено на n проміжків, η_0 – початкове значення розміру, ξ_k – коефіцієнт пропорційності на k -ому проміжку. Природним є припущення, що значення ξ_k на різних проміжках є незалежними. Якщо η_k – розмір об'єкта після закінчення k -го проміжку часу, то $\eta_k = \xi_k \cdot \eta_{k-1}$. Тому $\eta_1 = \xi_1 \cdot \eta_0$; $\eta_2 = \xi_2 \cdot \eta_1 = \xi_2 \cdot \xi_1 \cdot \eta_0$ і в загальному вигляді $\eta_n = \eta_0 \cdot \xi_1 \cdots \xi_n$.

Візьмемо логарифм η_n

$$\log \eta_n = \log \eta_0 + \log \xi_1 + \dots + \log \xi_n.$$

Із умови незалежності величин η_0 , $\xi_1 \dots \xi_n$ виходить незалежність їх логарифмів, тому, $\log \eta_n$ – має приблизно нормальний розподіл.

Таким чином, розміри біологічних індивідів та їх органів є такими випадковими величинами, логарифми яких мають Гаусовий розподіл. В цьому випадку стверджують, що сама випадкова система має логарифмічно Гаусовий розподіл.

Для розмірів коренеплодів в раніше проведених дослідженнях показано, що розподіл їх величин наближається до Гаусового.

Проведені нами вимірювання розмірів та маси коренів на різних ланах показують, що характер розподілу є наближеним до нормального. Причому середні значення маси та розмірів коренів зв'язані із врожайністю (табл. 2.1).

Характер розподілу розмірів коренеплодів та врожайності

Середнє значення діаметру коренеплодів, м	0,07	0,095	0,11
Середня врожайність, ц/га	158	213	285

Для розрахунків траєкторії польоту приймаємо найменше значення діаметра буряків $d_{\min} = 0,04\text{м}$, а його найбільша величина $d_{\max} = 0,14\text{м}$ і середню величину $d_{\text{cp}} = 0,09\text{ м}$.

Переміщення тіла відбувається в вертикальній площині XOY (рис.2.2). Координата центру вихідного барабану транспортера (x_T, y_T) , кут нахилу транспортера відносно горизонтальної площини α . Швидкість вильоту тіла не залежить від його розмірів та складає V_T . Координати вильоту залежать від діаметра тіла і мають випадковий характер:

$$y_0 = y_T + \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha, \quad (2.1)$$

$$x_0 = x_T - \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha, \quad (2.2)$$

Причому діаметр змінюється в межах від d_{\min} до d_{\max} .

Примітка: Чисельне значення $(x_T; y_T)$ повинні бути такими, щоб при подальшому розміщенні наступних пристроїв їх координати були із знаком “+”, тобто $(x_T; y_T)$ треба брати із запасом.

Траєкторія руху центра мас тіла після сходу з транспортера є вирішенням другої задачі динаміки, коли на тіло діє постійна сила.

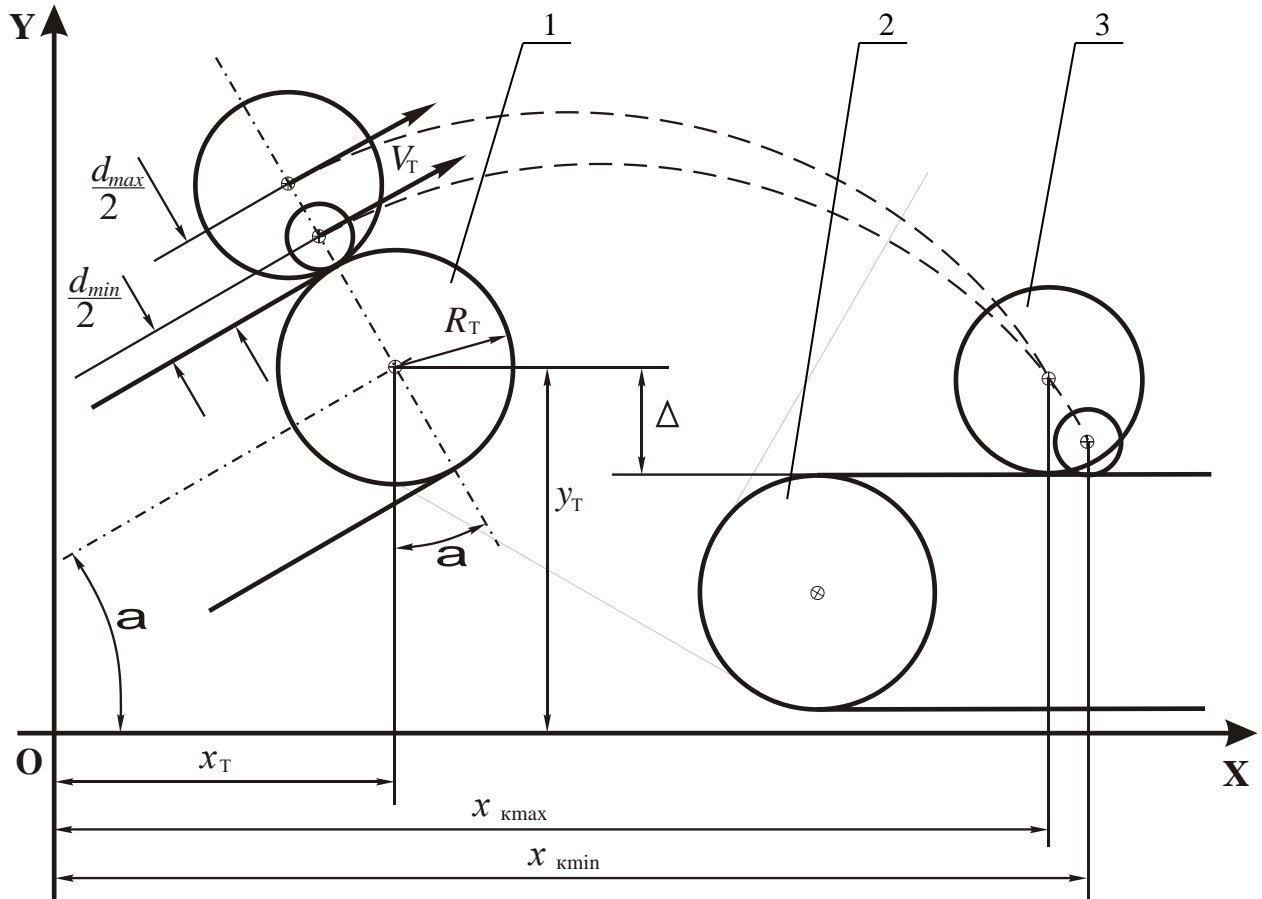


Рисунок 2.2 - Схема траєкторії польоту коренеплодів: 1 – транспортер; 2 – конвейєр-очишувач; 3 – модельне тіло

Проекції сил, що діють на центр мас

$$F_x = 0; F_y = -mg. \quad (2.3)$$

Відповідні диференціальні рівняння мають такий вигляд

$m\ddot{x} = 0$, $m\ddot{y} = -mg$, або ж після скорочення на $m = \text{const}$

$$\ddot{x} = 0, \quad \ddot{y} = -g. \quad (2.4)$$

Інтегруючи ці рівняння, отримуємо загальне вирішення

$$\begin{cases} x = C_1 \cdot t + C_2 \\ y = -\frac{g \cdot t^2}{2} + C_3 \cdot t + C_4 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$(2.6)$$

Для визначення сталих інтегрування C_i запроваджуємо відповідні початкові умови, а саме при $t=0$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 = x_T - \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha \end{array} \right. \quad (2.7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y_0 = y_T + \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha \end{array} \right. \quad (2.8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x'_0 = V_0 \cdot \cos \alpha \end{array} \right. \quad (2.9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y'_0 = V_0 \cdot \sin \alpha \end{array} \right. \quad (2.10)$$

У відповідності маємо

$$x' = C_1 \quad (2.11)$$

$$y' = -g \cdot t + C_3 \quad (2.12)$$

Тепер вирахуємо сталі інтегрування при $t=0$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_2 = x_T - \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha \end{array} \right. \quad (2.13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_4 = y_T + \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha \end{array} \right. \quad (2.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = V_0 \cdot \cos \alpha \end{array} \right. \quad (2.15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_3 = V_0 \cdot \sin \alpha \end{array} \right. \quad (2.16)$$

Підставляючи ці значення в (2.11), (2.12) знаходимо рівняння руху центра маси модельного тіла.

$$\left\{ \begin{array}{l} x = (V_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t + x_T - \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha \end{array} \right. \quad (2.17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y = -\frac{g \cdot t^2}{2} + (V_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t + y_T + \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha \end{array} \right. \quad (2.18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = V_0 \cdot \cos \alpha \end{array} \right. \quad (2.19)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y' = -g \cdot t + V_0 \cdot \sin \alpha \end{array} \right. \quad (2.20)$$

Із (2.19) слідує, що горизонтальна складова швидкості є величиною сталою. Модуль швидкості

$$V = \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2} = \sqrt{(V_0 \cdot \cos \alpha)^2 + (-g \cdot t + V_0 \cdot \sin \alpha)^2} \quad (2.21)$$

Виключаючи параметр t знаходимо рівняння траєкторії руху центру мас:

$$y = -\frac{g}{2} \cdot \left(\frac{(x - x_T) + \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha}{V_0 \cdot \cos \alpha} \right)^2 + \frac{(V_0 \cdot \sin \alpha) \cdot \left[(x - x_T) + \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha \right]}{V_0 \cdot \cos \alpha} + y_T + \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \cos \alpha \quad (2.22)$$

Наступний за транспортером очищувач розташований нижче транспортера, причому відстань від осі транспортера до поверхні очищувача складає $\Delta=0,1$ м, і координата зустрічі модельного тіла з поверхнею очищувача буде:

$$y = y_T - \Delta + \frac{d}{2}. \quad (2.23)$$

Знаходимо горизонтальну координату зустрічі модельного тіла з лопатями очищувача:

$$y_T - \Delta + \frac{d}{2} = -\frac{g}{2} \cdot \left(\frac{(x - x_T) + \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha}{V_0 \cdot \cos \alpha} \right)^2 + \frac{(V_0 \cdot \sin \alpha) \cdot \left[(x - x_T) + \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha \right]}{V_0 \cdot \cos \alpha} + y_T + \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \cos \alpha.$$

Прирівнявши до 0 отримаємо:

$$\begin{aligned}
& -\frac{g}{2} \cdot \frac{\left[x + \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha - x_T \right]^2}{V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + \operatorname{tg} \alpha \left[x + \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha - x_T \right] + \\
& + \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha + \Delta - \frac{d}{2} = 0.
\end{aligned} \tag{2.24}$$

Для деякого спрощення:

1) змінимо знаки на протилежні;

2) позначимо:

$$\frac{g}{2 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} = A; \quad \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \sin \alpha - x_T = B; \quad \left(R_T + \frac{d}{2} \right) \cdot \cos \alpha + \Delta - \frac{d}{2} = C.$$

Із прийнятими спрощеннями маємо квадратне рівняння:

$$Ax^2 + (2 \cdot A \cdot B - \operatorname{tg} \alpha) \cdot x + (B^2 \cdot A - B \cdot \operatorname{tg} \alpha + C) = 0 \tag{2.25}$$

розв'язком якого буде:

$$x_{1,2} = \frac{-(2 \cdot A \cdot B - \operatorname{tg} \alpha) \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}. \tag{2.26}$$

При вирішенні квадратного рівняння нас цікавлять корені тільки зі знаком “+”

Підставивши початкові числові значення $\alpha=30^\circ$; $R_T=0,1\text{м}$; $d=0,04\dots 0,14\text{м}$; $x_T=0\text{м}$, $\Delta=0,1\text{м}$ отримаємо результати, що характеризують розліт коренеплодів різного діаметру, а також дальність їх польоту (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Дальність польоту коренеплодів

$d, \text{ м}$	$x_{1,2}, \text{ м}$
$V_0=2\text{м/с}$	
0,04	0,496
0,08	0,483
0,1	0,477
0,12	0,471
0,16	0,465
$V_0=4\text{м/с}$	
0,04	1,62

0,08	1,607
0,1	1,6
0,12	1,594
0,14	1,587

- 1) Із збільшенням швидкості V_0 розліт тіл різного діаметра на заданому горизонті суттєво не змінюється ;
- 2) При зростанні швидкості від 2 м/с до 4 м/с відстань польоту коренеплодів збільшується від $0,46\text{ м}$ до $1,62\text{ м}$.

Тому є доцільним застосування направляючої дошки (не обов'язково плоскої), що встановлюється під кутом на ділянці траєкторії руху коренеплодів після їх відриву від транспортера, де коренеплоди рухаються вгору, що забезпечить компактне розташування підйомного транспортера та конвейєра-очищувача (рис. 2.3).

Задача руху коренеплоду при взаємодії із направляючою дошкою розділяється на декілька:

- знаходження координат точок зустрічі тіл різного діаметру з дошкою;
- знаходження швидкостей тіл до та після зіткнення з направляючою дошкою;
- визначення траєкторії руху тіла після удару по направляючій дошці;
- знаходження координат точки контакту тіл та очищувача.

В загальному випадку рівняння розташування направляючої дошки є рівняння прямої лінії

$$y=kx+b, \quad (2.27)$$

де $k=\text{tg}\beta$ – тангенс кута нахилу прямої лінії до осі x ;

b – відрізок, що відтинається на осі ординат.

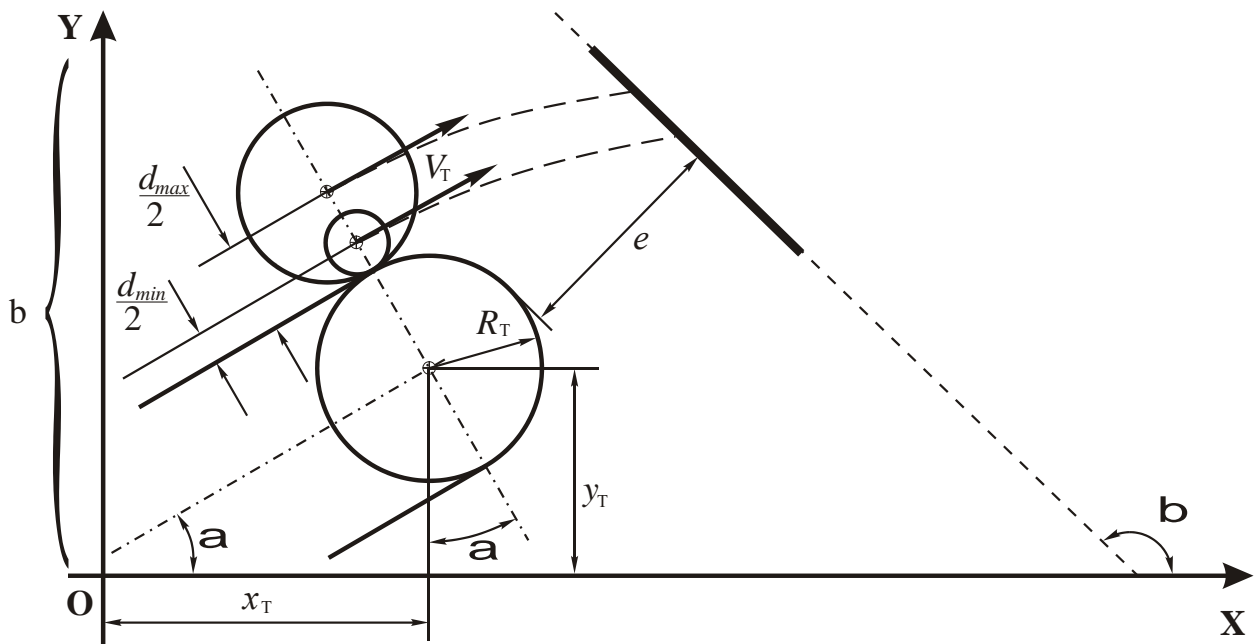


Рисунок 2.3. - Схема взаємного розташування транспортера та направляючої дошки

Для нормальної роботи очищувача повинна бути забезпечена деяка відстань e (рис. 2.3) від транспортера до дошки для вільного проходу буряків. Ця відстань повинна перевищувати максимальні розміри найбільшого коренеплоду. Подальше її збільшення не має сенсу, тому що призводить до збільшення габаритів машини.

Направляюча дошка розміщується по дотичній до кола радіусом $R_T + e$ із центром з координатами $(x_T; y_T)$, рівнянням якого є вираз:

$$(x - x_T)^2 + (y - y_T)^2 = (R_T + e)^2. \quad (2.28)$$

В ході розрахунків будемо задаватись кутом нахилу дошки β , а відрізок b на осі ординат знайдемо із вирішення системи рівнянь.

$$\begin{cases} (x - x_T)^2 + (y - y_T)^2 = (R_T + e)^2 \\ y = kx + b \end{cases};$$

$$x_{1,2} = \frac{2x_T - 2k(b - y_T) \pm \sqrt{4(-x_T + k(b - y_T))^2 - 4(k^2 + 1)(x_T^2 + (b - y_T)^2 - (R_T + e)^2)}}{2(k^2 + 1)};$$

В точці контакту дотичної лінії до кола радіусом $R + e$ $x_1 = x_2$ тоді:

$$b = y_T + \frac{-x_T \pm \sqrt{2x_T^2 + (R_T + e)(k^2 + 1)}}{k}. \quad (2.29)$$

В зв'язку з тим, що $k < 0$ то нас задовольнить рішення із більшим значенням b :

$$b = y_T + \frac{-x_T - \sqrt{2x_T^2 + (R_T + e)(k^2 + 1)}}{k}. \quad (2.30)$$

Тоді рівняння лінії дошки

$$y = kx + y_T + \frac{-x_T - \sqrt{2x_T^2 + (R_T + e)(k^2 + 1)}}{k}. \quad (2.31)$$

Але центр маси тіла не долітає до дошки на відстань $d/2$, тому модифіковане рівняння площини зустрічі має такий вираз:

$$y = kx + y_T + \frac{-x_T - \sqrt{2x_T^2 + \left(R_T + e - \frac{d}{2}\right)(k^2 + 1)}}{k}. \quad (2.32)$$

Сумісне вирішення рівнянь дає нам значення координат зустрічі центра маси та дошки:

$$x_{1,2}^3 = \frac{-(2AB - V_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha + k) \pm \sqrt{(2AB - V_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha + k)^2 - 4A(AB^2 - V_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot B + G - L)}}{2A}. \quad (2.33)$$

$$\text{де } A = \frac{g}{2 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha};$$

$$B = \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha - x_T,$$

$$L = \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cos \alpha; \quad G = \frac{-x_T - \sqrt{2x_T^2 + \left(R_T + e - \frac{d}{2}\right)(k^2 + 1)}}{k}.$$

Підставивши менше плюсове значення x до рівняння знайдемо і ординату точку зустрічі y^3 .

$$\begin{cases} V_s^x = V_0 \cdot \cos \alpha \\ V_s^y = -g \frac{(x - x_T) + \left(R_T + \frac{d}{2}\right) \cdot \sin \alpha}{V_0 \cdot \cos \alpha} + V_0 \sin \alpha \end{cases} \quad (2.35)$$

Аналіз рівняння показує, що при заданій нами умові про мінімальну відстань e координати зустрічі тіла і дошки залежать тільки від розташування транспортера $(x_T; y_T)$, та від кута нахилу дошки:

$$\beta = \arctg k. \quad (2.36)$$

Взаємодію модельного тіла та направляючої дошки в наближеному варіанті будемо розглядати, як удар тіла з діаметром d , але маса якого зосереджена в його центрі мас. Також враховуємо, що тіло та дошка не є абсолютно пружними, тому слід враховувати зменшення модуля нормальної складової швидкості до дошки після удару через коефіцієнт відновлення ε . Експериментально коефіцієнт відновлення ε визначається із співвідношення висоти падіння тіла H і висоти його підйому h після удару об горизонтальну площадку:

$$\varepsilon = \frac{V_{y\delta}^n}{V_3^n} = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{2gH}}. \quad (2.37)$$

Визначені нами середні значення коефіцієнтів для таких пар матеріалів:

- коренеплід – сталь (товщина 3 мм) $\varepsilon = 0,5$;
- коренеплід – сталь гумована $\varepsilon = 0,4$;

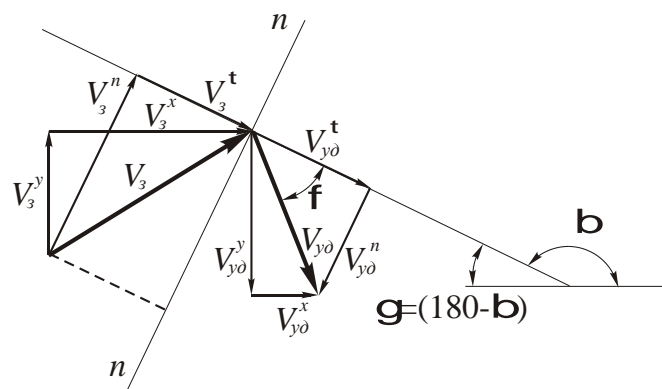


Рисунок 2.4 - Схема взаємодії тіла діаметром d з направляючою дошкою при ударі

- коренеплід – гума (товщина 10 мм) $\varepsilon = 0,35$;
- коренеплід – гума мікропориста (товщина 20 мм) $\varepsilon = 0,3$;

- коренеплід – коренеплід $\varepsilon = 0,4$;

Виходячи із незалежності руху тіла вздовж пар координатних осей можемо окремо розглядати проекції швидкості до зустрічі V_3^y та V_3^x на лінію дошки та на її нормаль n .

Якщо вектор швидкості V_3 розташований зліва від нормалі до дошки, то його проекція на площину дошки може бути представлена як:

$$|V_3^\tau| = V_3^x \cdot \cos \gamma - V_3^y \cdot \sin \gamma. \quad (2.38)$$

А проекція вектора V_3 на нормаль до дошки може бути представлена як:

$$|V_3^n| = V_3^x \cdot \sin \gamma - V_3^y \cdot \cos \gamma. \quad (2.39)$$

Тобто не обов'язково знаходити кут зустрічі тіла та дошки, а досить знати проекції вектора швидкості на координатні осі XOY .

Після удару дотична складова швидкості залишиться незмінною, а нормальна, внаслідок деформацій, зменшиться до значення $\varepsilon \cdot V_3^n$ і буде мати протилежний напрямок. В проекціях на осі XOY :

$$|V_{y\partial}^\tau| = |V_3^\tau| = V_3^x \cos \gamma - V_3^y \sin \gamma; \quad (2.40)$$

$$|V_{y\partial}^n| = |V_3^n| \varepsilon = \varepsilon (V_3^x \sin \gamma + V_3^y \cos \gamma), \quad (2.41)$$

але напрямок вектора $V_{y\partial}^n$ - протилежний.

Тангенс кута ψ між вектором швидкості $V_{y\partial}$ і напрямком дошки буде

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{V_{y\partial}^n}{V_{y\partial}^\tau} = \frac{\varepsilon \cdot V_3^n}{V_3^\tau} = \frac{\varepsilon \cdot (V_3^x \sin \gamma + V_3^y \cos \gamma)}{V_3^x \cos \gamma - V_3^y \sin \gamma}; \quad (2.42)$$

Проекція швидкості $V_{y\partial}$ має дві складові величини:

- на вісь OX

$$V_{y\partial}^x = V_{y\partial}^\tau \cdot \cos \gamma - V_{y\partial}^n \cdot \sin \gamma, \quad (2.43)$$

- на вісь OY

$$V_{y\partial}^y = V_{y\partial}^\tau \cdot \sin \gamma + V_{y\partial}^n \cdot \cos \gamma. \quad (2.44)$$

Після підстановки отримаємо:

$$V_{y\partial}^x = (V_3^x \cdot \cos \gamma - V_3^y \cdot \sin \gamma) \cdot \cos \gamma - \varepsilon \cdot (V_3^x \cdot \sin \gamma + V_3^y \cdot \cos \gamma) \cdot \sin \gamma,$$

$$V_{y\partial}^y = (V_3^x \cdot \cos \gamma - V_3^y \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \gamma + \varepsilon \cdot (V_3^x \cdot \sin \gamma + V_3^y \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \gamma,$$

або після перетворень:

$$V_{y\partial}^x = V_3^x \cdot (\cos^2 \gamma - \varepsilon \cdot \sin^2 \gamma) - V_3^y \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot (1 + \varepsilon), \quad (2.45)$$

$$V_{y\partial}^y = V_3^x \cdot \cos \gamma \cdot \sin \gamma \cdot (1 + \varepsilon) - V_3^y \cdot (\sin^2 \gamma - \varepsilon \cdot \cos^2 \gamma). \quad (2.46)$$

Отримані значення проекцій вектора швидкості після удару є початковими значеннями для розрахунку траєкторії польоту тіла від дошки до очищувача.

Рух модельного тіла (коренеплоду) після удару описується вже відомими рівняннями і їх вирішеннями. Але початкові умови будуть вже іншими, а саме, при $t=0$ координати точки зустрічі x_3 ; y_3 дадуть нам значення:

$$x_3 = C_2; \quad (2.47)$$

$$y_3 = C_4. \quad (2.48)$$

А значення швидкості після удару

$$V_{y\partial}^x = C_1; \quad (2.49)$$

$$-V_{y\partial}^y = C_3. \quad (2.50)$$

Знак „-” враховує напрямок руху коренеплоду після удару.

Після підстановки маємо рівняння руху центра мас тіла після зустрічі з направляючою дошкою.

$$x = V_{y\partial}^x \cdot t + x_3; \quad (2.51)$$

$$y = -\frac{g \cdot t^2}{2} - V_{y\partial}^y \cdot t + y_3; \quad (2.52)$$

$$x' = V_{y\partial}^x; \quad (2.53)$$

$$y' = -gt - V_{y\partial}^y. \quad (2.54)$$

Виключаючи параметр t (час) отримаємо рівняння траєкторії руху коренеплоду у вільному падінні після удару

$$y = -\frac{g \cdot (x - x_3)^2}{2 \cdot (V_{y\partial}^x)^2} - \frac{V_{y\partial}^y \cdot (x - x_3)}{V_{y\partial}^x} + y_3. \quad (2.55)$$

Задаючись вертикальною координатою розташування поверхні очищувача із врахуванням розмірів коренеплоду $y_{нов} = y_{оч} + R + \frac{d}{2}$ знаходимо координати входження центра мас коренеплоду до очищувача (рис. 2.5).

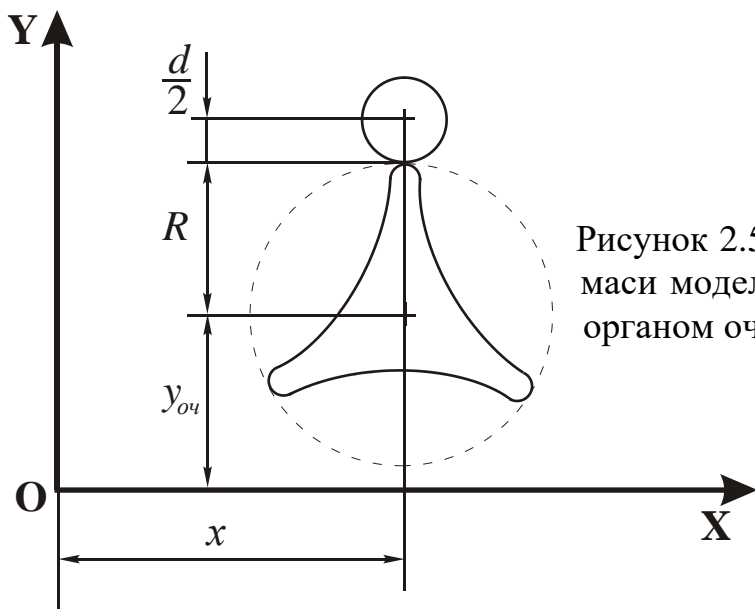


Рисунок 2.5 - Визначення координати центра маси модельного тіла при зустрічі з робочим органом очищувача

$$\frac{g(x - x_3)^2}{2 \cdot (V_{y\partial}^x)^2} + \frac{V_{y\partial}^y \cdot (x - x_3)}{V_{y\partial}^x} + y_{оч} + R + \frac{d}{2} - y_3 = 0. \quad (2.56)$$

Вводячи нову координату $x_n = (x - x_3)$ знайдемо відстань прольоту коренеплоду в горизонтальному напрямку від моменту зустрічі з дошкою, до попадання в очищувач:

$$\frac{g \cdot x_n^2}{2 \cdot (V_{y\partial}^x)^2} + \frac{V_{y\partial}^y \cdot x_n}{V_{y\partial}^x} + N = 0,$$

де $N = y_{оч} + R + \frac{d}{2} - y_3$.

Вирішуючи це рівняння відносно x_n знаходимо:

$$x_{n_{1,2}} = \frac{-V_{y\partial}^y \pm \sqrt{(V_{y\partial}^y)^2 - 2 \cdot g \cdot N}}{\frac{g}{V_{y\partial}^x}}. \quad (2.57)$$

2.2. Обґрунтування моделі функціонування кулачкового конвейєра-очищувача при збільшеній кутовій швидкості кулачків

Модельне тіло на вході в очищувач має, як свою початкову швидкість \bar{v} , що може змінюватись в досить широкому діапазоні значень, так і різні координати входу до робочого об'єму. Подальший рух коренеплоду (модельного тіла) забезпечується ударною дією лопатей ротора.

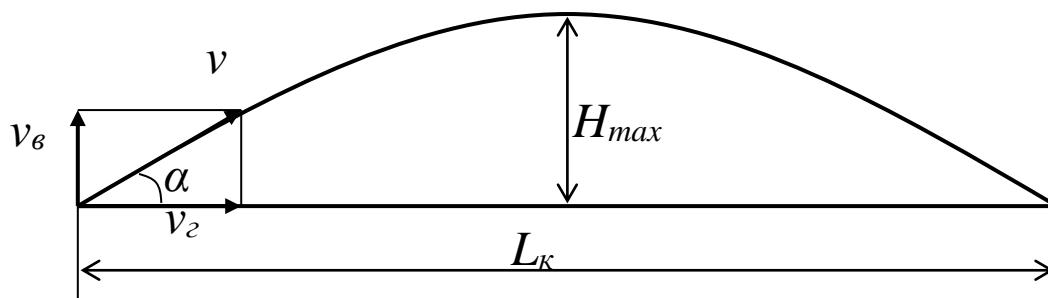


Рисунок 2.6 - Схема до визначення дальності вільного польоту коренеплодів

При прийнятій допустимій швидкості руху коренеплодів до 4,4 м/с слід обов'язково встановити обмежуючу поверхню [54]. Інакше, як показують розрахунки, після першого ж удару тіло може вилетіти за межі робочого простору. Із рівнянь руху при розташуванні точки вильоту та падіння тіла в горизонтальній площині (рис. 2.6):

$$\text{максимальна висота підйому складає } H_{\max} = V_6 t - \frac{gt^2}{2};$$

$$\text{швидкість в будь який момент часу } V_{6t} = V_6 - gt;$$

$$\text{час підйому до максимальної висоти } t = \frac{V_6}{g};$$

$$\text{дальність польоту } L_k = 2V_2 \cdot t = 2 \frac{V_2 \cdot V_6}{g}, \text{ що при середній швидкості, вказаній}$$

вище, та куту вильоту $\alpha=45^\circ$ буде становити близько 2м, а це значно перевищує габаритну довжину очищувача.

Для забезпечення необхідного технологічного обробітку коренеплодів встановлена обмежуюча поверхня на відстані H від кулачків.

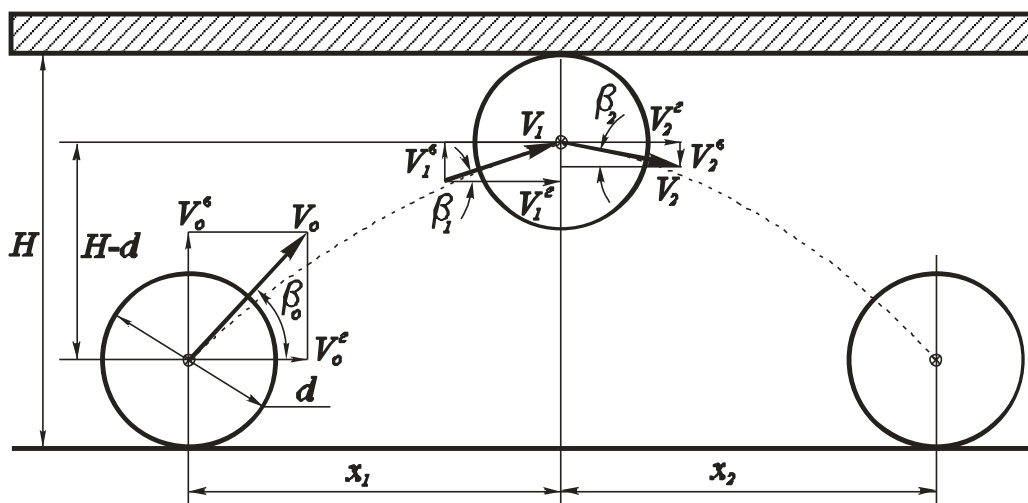


Рисунок 2.7 - Схема взаємодії модельного тіла з горизонтальною обмежуючою поверхнею

В момент вильоту тіла із початковою швидкістю V_0 під кутом β маємо такі значення проєкцій швидкості (рис. 2.7)

вертикальна: $V_0^s = V_0 \cdot \sin \beta$;

горизонтальна: $V_0^z = V_0 \cdot \cos \beta$.

Час підйому тіла до зіткнення з обмежуючою поверхнею знаходимо із рівняння:

$$H - d = V_0^s \cdot t_1 - \frac{g \cdot t_1^2}{2}. \quad (2.58)$$

$$t_1 = \frac{V_0^s \pm \sqrt{(V_0^s)^2 - 2 \cdot g \cdot (H - d)}}{g}. \quad (2.59)$$

Для того, щоб відбулась зустріч тіла з обмежуючою поверхнею необхідно, щоб була виконана умова: $V_0^s > 2 \cdot g \cdot (H - d)$.

Значення вертикальної складової швидкості перед ударом:

$$V_1^s = V_0^s - g \cdot t_1.$$

Після удару:

$$V_2^s = \varepsilon \cdot V_1^s = \varepsilon \cdot (V_0^s - g \cdot t_1),$$

але напрямок буде змінений на протилежний.

Горизонтальна складова швидкості залишається незмінною:

$$V_1^x = V_2^x = V_0 \cdot \cos \beta.$$

Час падіння тіла із початковою швидкістю V_2^x знаходимо із рівняння подібного:

$$H - d = V_2^x \cdot t_2 + \frac{g \cdot t_2^2}{2}.$$

Розв'язанням отриманого квадратного рівняння буде:

$$t_2 = \frac{-V_2^x \pm \sqrt{(V_2^x)^2 + 2 \cdot g \cdot (H - d)}}{g},$$

маємо враховувати лише вирішення із знаком „+”, тобто

$$t_2 = \frac{-V_2^x + \sqrt{(V_2^x)^2 + 2 \cdot g \cdot (H - d)}}{g}. \quad (2.60)$$

Виконаємо підстановку значень V_2^x та t_1 в рівняння:

$$t_2 = \frac{V_0^x - \varepsilon \cdot \sqrt{(V_0^x)^2 - 2 \cdot g \cdot (H - d)}}{g}. \quad (2.61)$$

Горизонтальні переміщення модельного тіла до і після удару:

$$x_1 = V_1^x \cdot t_1, \quad x_2 = V_2^x \cdot t_2.$$

Знайдемо співвідношення між часом t_1 та t_2 і переміщеннями x_1 та x_2 :

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{V_0^x - \sqrt{(V_0^x)^2 - 2 \cdot g \cdot (H - d)}}{V_0^x - \varepsilon \cdot \sqrt{(V_0^x)^2 - 2 \cdot g \cdot (H - d)}}. \quad (2.62)$$

Якщо вважати початкову швидкість однаковою, а коефіцієнт відновлення вертикальної складової швидкості $\varepsilon=0,5$, то час опускання тіла, буде більшим за час підйому. Але час перебування коренеплоду в апараті буде незмінним, тому що він визначається середньою швидкістю горизонтального руху, яка змінюється в незначних межах.

Із зменшенням ε (при зменшенні величини пружності матеріалу

обмежуючої площини) зростає значення часу t_2 , а значить і дальність польоту тіла після співударяння з обмежуючою площиною.

При заданому розташуванні роторів кут розкриття β (рис. 2.8) дорівнює:

$$\beta = \arcsin \frac{l}{2R},$$

що при вказаних вище значеннях l та R значення $\beta=44^\circ$.

В межах кута 2β найбільше значення горизонтальної складової окружної швидкості V_z змінюється від $V\cos\beta$ до V , або ж від $3,2\text{м/с}$ до $4,4\text{м/с}$. В той же час вертикальна складова швидкості V_v змінюється від $V\sin\beta$ до $-V\sin\beta$.

Тоді після удару тіло набуде середньої поступальної швидкості:

$$V_z = \frac{V + V \cos \beta}{2} = \frac{4,4 + 4,4 \cos 44}{2} = 3,78 \text{ м/с}.$$

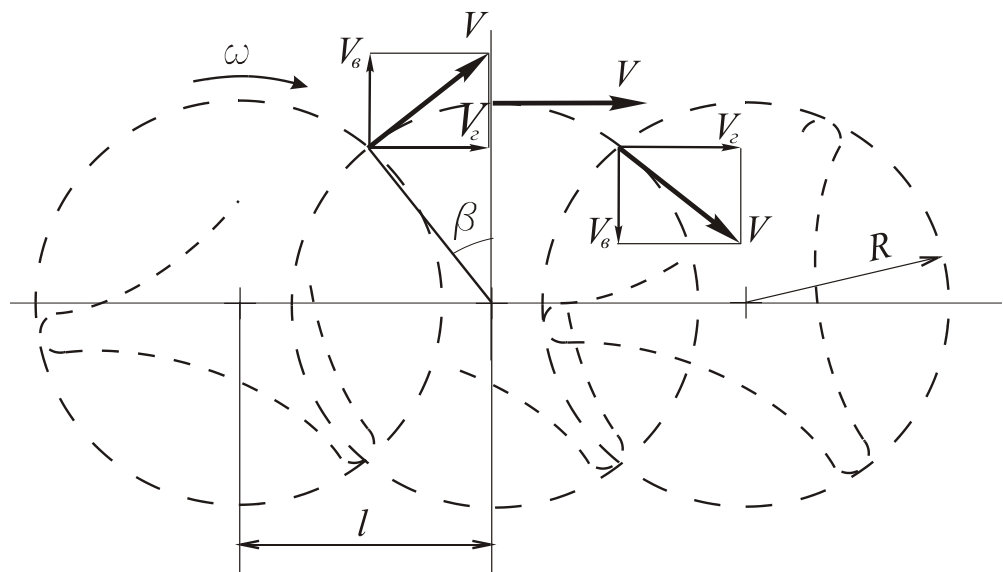


Рисунок 2.8 - Схема до визначення верхньої межі середньої поступальної швидкості руху коренеплодів

Це значення і буде основним при визначенні в подальшому найбільшої продуктивності очищувача.

2.3. Час обробітку коренеплодів в очищувачі

На розподіл часу перебування коренеплодів в конвейері-очищувачі повинна в основному впливати конфігурація умовної робочої камери, тобто відношення L/H (рис. 2.9), де L – довжина робочої камери.

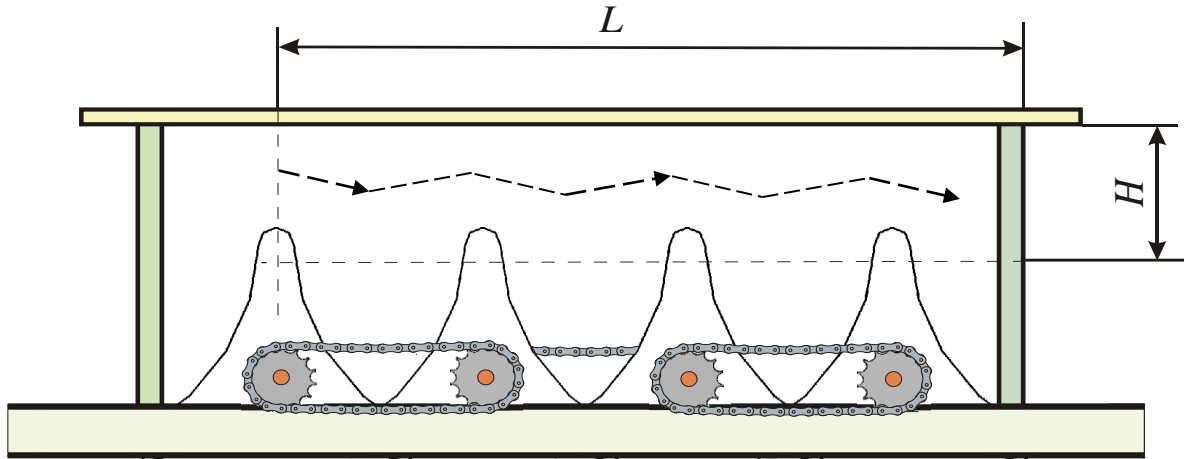


Рисунок 2.9 - Схема одноярусної конструкції конвейера-очищувача

Чим більшим буде співвідношення L/H , тим більше умовних робочих камер можна виділити. В першому наближенні при розташуванні роторів в один ряд, можна припустити, що число умовних робочих камер дорівнює числу роторів – $n=4$. А при двоюрисному розташуванні робочих органів довжина переміщення збільшується (рис. 2.10)

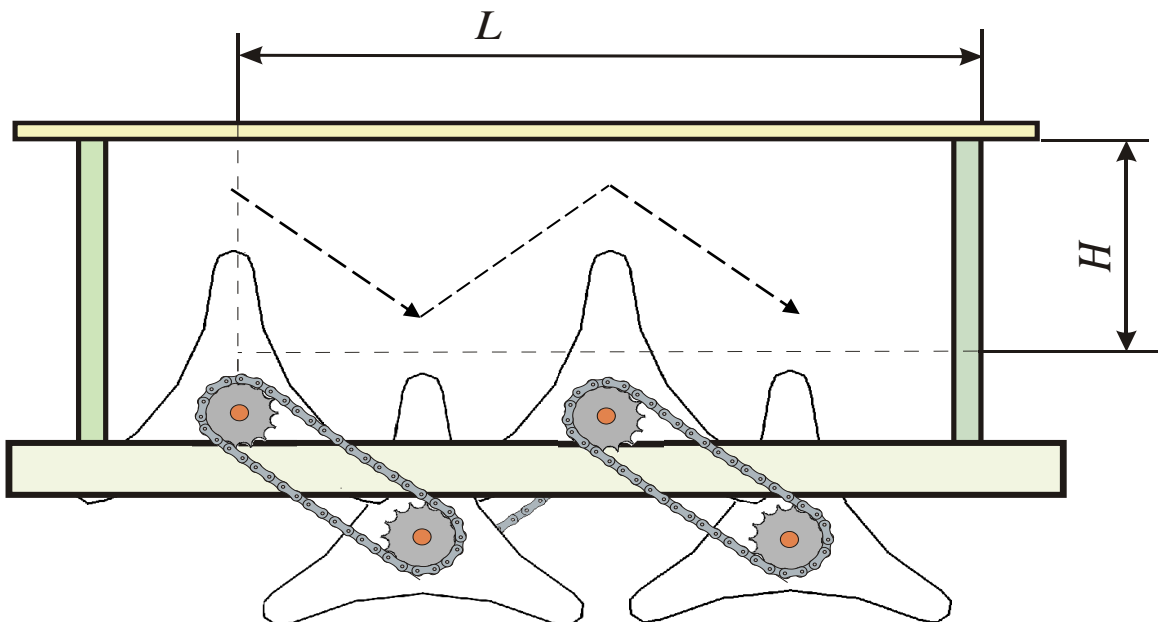


Рисунок 2.10 - Схема 2-х ярусної конструкції конвейера-очищувача

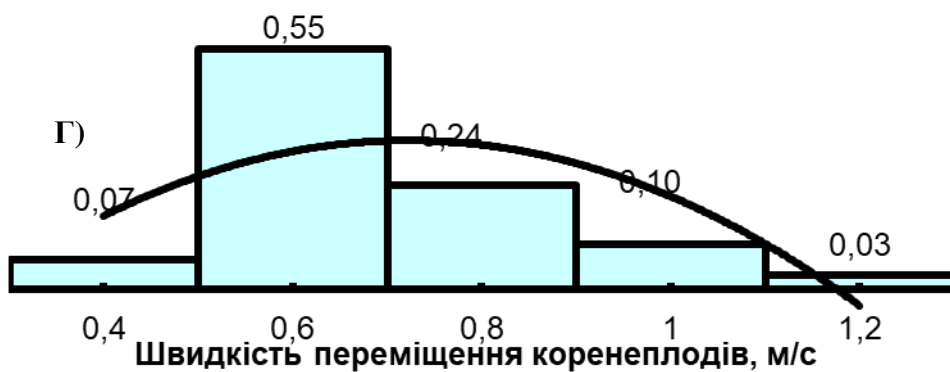
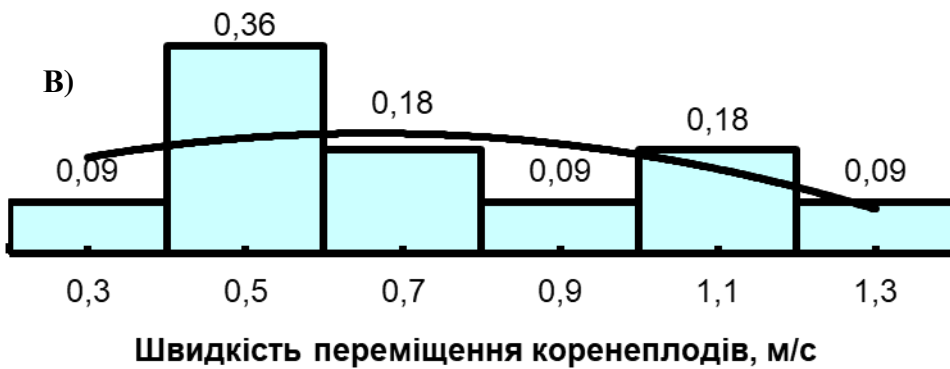
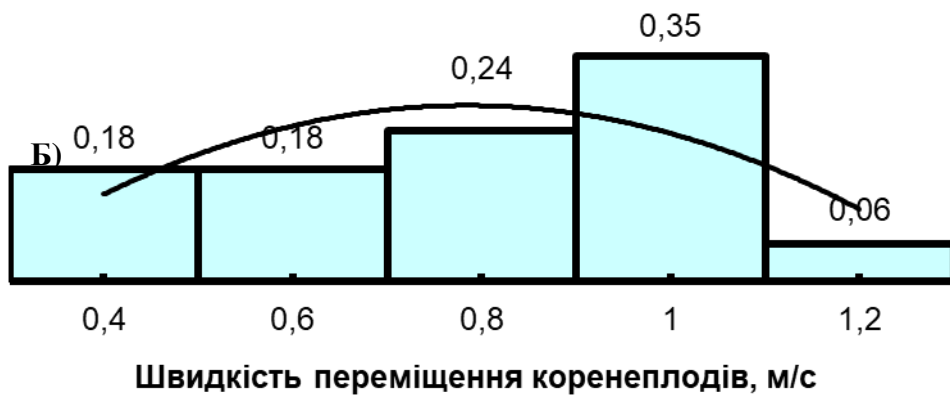
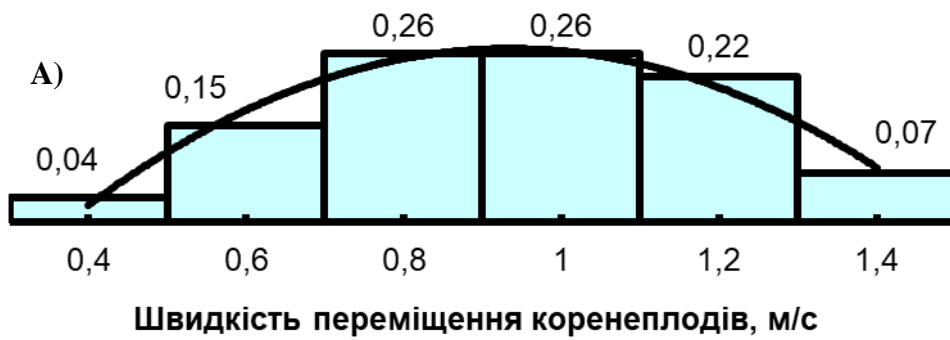


Рисунок 2.11 - Гістограми розподілу дослідних частот швидкості переміщення коренеплодів по конвейеру-очищувачу та теоретичні криві, що їх вирівнюють за умови: А) однарусне розташування секцій кулачків та плоска обмежуюча поверхня; Б) однарусне розташування секцій кулачків та фігурна обмежуюча

поверхня; В) двохярусне розташування секцій кулачків та плоска обмежуюча поверхня; Г) двохярусне розташування секцій кулачків та фігурна обмежуюча поверхня.

В проведених натурних та комп'ютерних експериментах (розділ 3, 4) отримані залежності розподілення середньої швидкості руху коренеплодів в робочій зоні конвейєра-очищувача (рис. 2.11), що пов'язане із часом перебування, а відповідно і часом обробітку коренеплодів.

На якість очищення коренеплодів впливає кількість його ударів з секціями кулачків та з обмежуючою поверхнею. Навіть при заданих початкових швидкостях коренеплодів на вході в очищувач траєкторія їх руху є дуже складною. Причому, деякі з них можуть дуже швидко переміститись через конвейєр-очищувач, а інші можуть затриматись на відносно тривалий час. В першому випадку кількість ударів може бути недостатньою для очистки, а в другому слід очікувати підвищеного травмування коренеплодів. Тому важливо знати характер розподілу часу перебування коренеплодів на конвейєрі-очищувачі.

Існують два крайні ідеалізовані випадки. Перший – коли всі тіла рухаються з однаковою швидкістю вздовж апарата і перебувають в ньому однаковий час. Наприклад, при переміщенні стрічковим транспортером. Такий режим руху називається ідеальне виштовхування [30] і час τ_0 перебування тіл в апараті визначається за формулою

$$\tau_0 = \frac{l}{V} = \frac{l \cdot S}{V \cdot S} = \frac{W}{Q}, \quad (2.63)$$

де l – довжина апарата, m ;

V – швидкість переміщення тіл, m/c ;

S – площа поперечного перерізу апарату, m^2 ;

W – робочий об'єм апарата, m^3 ;

Q – об'ємна витрата двохфазного потоку, m^3/c , що складається із суміші коренеплодів та повітря.

Другий – коли всі тіла, що знаходяться всередині апарата, рухаються хаотично і їх середня концентрація по об'єму вирівнюється. Такий режим має

назву – ідеальне змішування. До такої схеми наближається переміщення коренеплодів по кулачковому конвейєру-очищувачу із збільшеною частотою обертання секцій кулачків.

Функцію розподілу часу перебування в апараті ідеального змішування можна знайти з таких міркувань. Якщо всі тіла, що знаходяться в апараті позначити через N , а потім до апарату подати порцію Q таких же тіл, але іншого кольору, то після цього кількість помічених тіл, що були спочатку, почне поступово зменшуватись, тому що постійно будуть виноситись потоком на виході.

Складемо матеріальний баланс:

а) в апараті

$$dn = -N \cdot d\left(\frac{n}{N}\right); \quad (2.64)$$

б) в потоці

$$dn = \frac{n}{N} Q \cdot d\tau; \quad (2.65)$$

де N – загальна кількість тіл а апараті;

n – кількість відмічених тіл;

Q – витрата (потік) тіл, m^3/c ;

$d\tau$ – проміжок часу;

dn – зміна кількості тіл.

Прирівнюючи вирази (2.74) та (2.75)

$$\frac{n}{N} \cdot Q \cdot d\tau = -N \cdot d\left(\frac{n}{N}\right). \quad (2.66)$$

Отримали диференційне рівняння, в якому, виходячи з (2.73) для одиниці об'єму

$$\frac{d\left(\frac{n}{N}\right)}{\left(\frac{n}{N}\right)} = -\frac{d\tau}{\tau_0}, \quad (2.67)$$

де τ_0 – середній час перебування тіл в апараті.

Після інтегрування в межах від 1 до $\frac{n}{N}$ та від 0 до τ , запишемо залежність кількості помічених часток в апараті від часу:

$$\frac{n}{N} = e^{-\frac{\tau}{\tau_0}}, \quad (2.68)$$

або ж зворотну залежність:

$$\tau = -\tau_0 \cdot \ln \frac{n}{N}. \quad (2.69)$$

В реальному обладнанні спостерігаються проміжні режими. Для опису яких широко застосовують секційну та дифузійну моделі [30]. В відповідності з секційною моделлю очищувач слід умовно розділити на ряд послідовно з'єднаних ємностей, в кожній з яких потік ідеально змішаний. Єдиним параметром цієї моделі є кількість умовних камер – K .

Тоді функція розподілу часток за часом перебування:

$$\frac{n}{N} = \frac{K^K}{(K-1)!} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^{K-1} \cdot e^{-K\left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)}. \quad (2.70)$$

2.4. Визначення параметрів секційної моделі

Із гістограм розподілу швидкостей переміщення коренеплодів вздовж очищувача для чотирьох різних конфігурацій робочих зон (рис. 2.11) були визначені середні швидкості їх руху при обертанні секцій кулачків з кутовою швидкістю $10,5c^{-1}$ і підрахована максимальна продуктивність очищувачів за формулою:

$$Q_m = \rho_{nom} \cdot Q_v, \quad (2.71)$$

де ρ_{nom} – щільність потоку вороху коренеплодів, $кг/м^3$;

Q_v – об'ємна продуктивність, $м^3/с$, визначається із співвідношення

$$Q_v = V_{cp} \cdot S, \quad (2.72)$$

де S – площа поперечного перерізу вхідного вікна, $м^2$, віднесена до одного метра ширини очищувача при мінімально можливій висоті $0,15м$, що визначається розмірами коренеплоду.

Коли обробіток вороху коренеплодів проводився в суцільному шарі [83] щільність його складала приблизно $700\text{кг}/\text{м}^3$. В нашому випадку, при обробітку ударним способом, ми накладаємо обмеження щодо відсутності контакту між коренеплодами. А це можливо, коли шлях вільного польоту, вимірний між центрами мас буде однаковим із відстанню між робочими поверхнями очищувача із врахуванням розмірів коренеплодів. Величина шляху польоту між ударами може бути визначена із відомого співвідношення:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n}, \quad (2.73)$$

де n – кількість коренеплодів в 1м^3 ;

d – діаметр коренеплодів, м .

Виходячи з того, що $\lambda = (l - d)$, а $l=0,15\text{м}$ – відстань між поверхнею секцій кулачків та обмежуючою площиною, то кількість коренеплодів буде становити $n \approx 500$ при $d=0,08\text{м}$. При масі одного коренеплоду $m = 0,4\text{кг}$ можна підрахувати максимальну щільність потоку за умови відсутності взаємодії між коренеплодами:

$$\rho_{\text{ном}} = m \cdot n = 0,4 \cdot 500 = 200\text{кг}/\text{м}^3.$$

На основі теоретичних та експериментальних досліджень були отримані наступні дані для різних конфігурацій очищувачів (табл. 2.3).

Для побудови графіків розподілу часу перебування коренеплодів в очищувачу потрібно визначити середній час їх перебування:

$$\tau_{\text{cp}} = \frac{W}{Q_v},$$

де W – робочий об'єм камери очищувача, м^3 ;

Q_v – об'ємна продуктивність очищувача, $\text{м}^3/\text{с}$.

Значення фактичного часу перебування коренеплодів і розрахованого відносного часу $\tau_{відн} = \frac{\tau}{\tau_{ср}}$ наведені в таблиці 2.4, а графічна залежність

$$\frac{n}{n_0} = f\left(\frac{\tau}{\tau_0}\right) \text{ на рис. 2.12.}$$

Таблиця 2.3

Характеристики робочих камер очищувачів

Позначення	Тип очищувача	Робочий об'єм, м ³	Кількість умовних секцій <i>n</i>	Продуктивність, т/год	Середній час перебування $\tau_{ср}$, с
А	Одноярусний з плоскою обмежуючою площиною	0,12	5	96,41	0,90
Б	Одноярусний з фігурною обмежуючою площиною	0,10	9	86,07	0,84
В	Двоярусний з плоскою обмежуючою площиною	0,18	9	79,16	1,65
Г	Двоярусний з фігурною обмежуючою площиною	0,16	12	74,46	1,55

Чисельний розв'язок рівняння $\frac{n}{n_0} = \frac{K^K}{(K-1)!} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^{K-1} \cdot e^{-K\left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)}$ показує, що

початкова кількість коренеплодів, що виходять із апарату при ідеальному перемішуванні відповідає їх кількості для проміжного типу при $K=6,3$, тобто у відносних долях складає $\frac{n}{n_0} = 0,28$. Виходячи із цього розрахована кількість

умовних секцій для кожного із типів очищувачів і занесена до табл. 2.3.

Таблиця 2.4

Розподіл часу перебування коренеплодів в очищувачі

Тип очищувача (див. табл. 2.3)	А					
Частотність	0,07	0,22	0,26	0,26	0,15	0,04
τ	0,57	0,67	0,8	1	1,33	2
$\tau_{відн}$	0,633	0,744	0,889	1,11	1,48	2,222
Тип очищувача (див. табл. 2.3)	Б					
Частотність	0,06	0,35	0,24	0,18	0,18	
τ	0,67	0,8	1	1,5	2	
$\tau_{відн}$	0,798	0,95	1,19	1,786	2,38	
Тип очищувача (див. табл. 2.3)	В					
Частотність	0,09	0,18	0,09	0,18	0,36	0,09
τ	0,615	0,727	0,889	1,143	1,6	2,67
$\tau_{відн}$	0,373	0,44	0,539	0,693	0,97	1,618
Тип очищувача (див. табл.)	Г					
Частотність	0,03	0,1	0,24	0,55	0,08	
τ	0,67	0,8	1,0	1,33	2,0	
$\tau_{відн}$	0,432	0,516	0,645	0,858	1,29	

Аналіз графічних залежностей показує, що із збільшенням складності конфігурації робочих зон збільшується співвідношення між довжиною траєкторії руху коренеплоду та висотою каналу очищувача, тобто спостерігається збільшення умовних секцій. У відповідності із секційною моделлю це спричиняє більшу однорідність обробітку коренеплодів, що виражається збільшенням частки об'єктів, що перебувають в очищувачі при середньому часу обробітку. Але водночас зменшується середня швидкість переміщення коренеплодів вздовж очищувача, що викликано зменшенням горизонтальної складової швидкості при співударянні з похилою ділянкою обмежуючої поверхні. Тим самим зменшується максимальна продуктивність очищувачів, що видно із табл. 2.3.

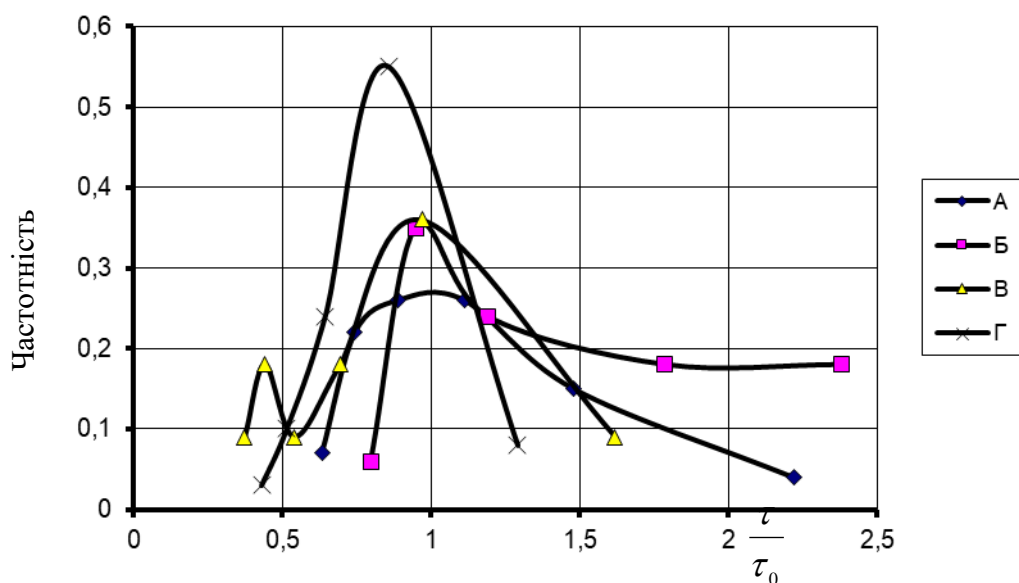


Рисунок 2.12 - Розподіл часу перебування коренеплодів в очищувачі.

Позначення А, Б, В, Г – відповідають позначенням в табл. 2.3

Таким чином, орієнтуючись на задану продуктивність очищувача при обмежених його габаритах, можна рекомендувати відповідну конфігурацію робочої зони очищувача. Наведені розрахунки виконані для режиму роботи із найменшою пошкоджуваністю коренеплодів, яка складає близько 2,5%.

Якщо за агротехнічними вимогами ступінь пошкоджуваності коренеплодів не є лімітуючим параметром, то при збільшенні кутової

швидкості кулачків до 16 рад/с продуктивність збільшується до 162 т/год . Частка пошкоджених коренеплодів складає при цьому 4...6%.

Теоретичні розрахунки, наведені в другому розділі, дають можливість розробити доцільну конструкцію вузла очищення коренеплодів від ґрунту. При вивченні законів руху модельного тіла на всіх стадіях технологічного процесу визначились основні геометричні параметри очищувача: взаємне розташування транспортера та очищувача, кут нахилу направляючої дошки, відстань між обмежуючою поверхнею та кулачками очищувача. Ці параметри були закладені в проект експериментального очищувача, в якому, з метою їх уточнення, була передбачена можливість їх зміни в прийнятому заданому діапазоні.

Рекомендовані у виробництво розміри робочих органів, самої очищувальної камери та вузла перевантаження були визначені під час польових досліджень.

В другому розділі при застосуванні опису перемішування тіл під час їх руху вздовж конвейера-очищувача був виявлений вплив конфігурації робочої камери, зокрема відношення довжини до висоти, на розподіл часу перебування коренеплодів в очищувачу. Для опису функції розподілу часу перебування коренеплодів в очищувачі запропоновано секційну модель, що є проміжною між режимом ідеального виштовхування та ідеального змішування. Єдиним параметром цієї моделі є кількість секцій ідеального змішування, що з'єднані послідовно. З'ясовано, що із збільшенням відношення L/H час перебування все більшої частини коренеплодів наближається до середньої величини і стає більш передбачуваним ступінь обробітку коренеплодів, що підтверджується даними дослідів в 3 – 4 розділах.

Висновки

1. Розроблена математична модель роботи кулачкового конвейера-очищувача, за допомогою якої встановлені максимальні режимні параметри

роботи (швидкість руху коренеплодів, кількість активних робочих зон, конфігурація, розташування та параметри відбивних площин).

2. Збільшення кутової швидкості кулачків дозволяє приблизно на таку ж величину підвищити продуктивність кулачкового конвеєра-очисника.

3. Виявлена залежність продуктивності та якості обробітку від основних параметрів моделі, що є основою для розробки методики інженерного розрахунку очищувача.

3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма досліджень

Програмою експериментальних досліджень передбачено вивчення та визначення наступних показників:

1. Впливу обмежуючої поверхні на поступальну швидкість руху коренеплодів по кулачковому конвейєру-очищувачу, при підвищеній частоті обертання робочих секцій .
2. Залежності продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею над віссю кулачків при підвищенні частоти обертання валу кулачків.
3. Конструктивних параметрів кулачкового конвейєра-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею (висоти розташування обмежуючої поверхні над віссю обертання кулачків, форми обмежуючої поверхні, матеріалу виготовлення обмежуючої поверхні).
4. Оптимальної кутової швидкості обертання секцій кулачків конвейєра-очищувача при встановленні обмежуючої поверхні.
5. Пошкодження коренеплодів при їх проходженні по конвейєру-очищувачу.

3.2. Опис експериментальної установки

В експериментальній установці на зварній рамі 1 змонтовані секції з трилопатовими кулачками 4 (рис.3.1). Секції очищувача склалися з валів,



Рисунок 3.1 - Експериментальна установка кулачкового конвейера-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею

на яких набрані комплекти робочих елементів (кулачків). Між трилопатевиими кулачками, виготовленими з гуми, встановлені розпірні втулки. Зміною

довжини розпірних втулок забезпечується зміна відстані між сусідніми кулачками на одній осі. Кріплення секцій до рами забезпечувало можливість зміни відстані між суміжними секціями конвейєра-очищувача, як по горизонталі так і по вертикалі. Вали робочих секцій кріпилися за допомогою пари підшипникових опор.

Над поверхнею секцій з трилопатовими кулачками встановлювалась обмежуюча поверхня 5. Спосіб її кріплення до рами забезпечував можливість зміни відстані від секцій з кулачками до обмежуючої поверхні, а також кута її нахилу відносно поверхні конвейєра-очищувача.

В якості обмежуючої поверхні використовувалось декілька матеріалів (деревина 5, брезентова стрічка та ін.).

Привід усіх секцій конвейєра-очищувача здійснювався за допомогою однакових привідних зірочок, встановлених з однієї сторони кожної секції та ланцюгів 3. Перестановкою ланцюга на зірочці змінювався кут між лопатями кулачків суміжних секцій.

Для зміни кутової швидкості обертання секцій кулачків використовувалась коробка зміни передач 1. Крім того, на вихідному валу коробки встановлювався привідний шків різного діаметру 2. Клинопасова передача давала можливість змінювати кутову швидкість обертання секцій кулачків при перестановці пасу на шківі різного діаметру, а також виконувала роль запобіжного пристрою.

Використання коробки зміни передач та клинопасової передачі давало можливість змінювати кутову швидкість обертання робочих секцій в діапазоні $2,6...30,8 \text{ рад/с}$.

Вся установка приводиться в дію від електричного двигуна 3 змінного струму потужністю 2,2 кВт.

3.3 Методика визначення продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача

Дослідження проводились з метою експериментальної перевірки

теоретичних розрахунків про можливість підвищення продуктивності кулачкового конвейера-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею при підвищеній кутовій швидкості обертання робочих секцій. Як відомо, продуктивність кулачкового конвейера-очищувача знаходиться в прямій залежності від поступальної швидкості руху коренеплодів вздовж очищувача. Експериментальної перевірки потребує вплив обмежуючої поверхні на поступальну швидкість переміщення вороху коренеплодів вздовж очищувача з мінімальним часом їх перебування у відриві від робочих поверхонь.

Проведення експериментів передбачає кілька етапів. Одним з них є проведення попередніх дослідів з метою визначення особливостей розрахованих конструктивних параметрів та граничних режимів роботи машини, що розробляється.

В процесі проведення попередніх експериментів виникають труднощі пов'язані з необхідністю створення дослідних установок, які при проведенні таких дослідів потребують кілька разів зміни конструкції, що призводить до додаткових витрат часу, матеріалів та коштів. Крім того, специфікою розробки сільськогосподарських машин є сезонність проведення польових дослідів, що суттєво подовжує час, який витрачається на доведення конструкції.

Проте, сучасні інформаційні технології дають можливість майже повністю відмовитися від необхідності створення натурних моделей, що використовуються для проведення попередніх експериментів. Даний етап досліджень можна провести скориставшись можливостями сучасних комп'ютерів та відповідним програмним забезпеченням.

В такому разі за допомогою комп'ютера, створюється тримірна графічна модель машини, що розроблюється, яка є в усіх деталях її точною копією. Отриманій таким чином моделі надаються фізичні та кінематичні властивості реальної конструкції, та моделюється технологічний процес роботи. Після проведення відповідних розрахунків отримані результати аналізуються. В разі отримання результатів, що не відповідають передбачуваним, досить легко змінити конструкцію моделі або робочі параметри та повторно змоделювати

процес її роботи. Крім того, проведення досліджень за допомогою комп'ютера не пов'язане з порами року, що є суттєвим фактором який впливає на час необхідний для їх проведення .

Описані вище можливості інформаційних технологій були використані при розробці конструкції кулачкового конвейєра-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею над віссю кулачків. В нашому розпорядженні не було вузькоспеціалізованого програмного забезпечення, призначеного для проведення на комп'ютері дослідницьких робіт. Тому було вирішено адаптувати для цього програмні продукти призначення яких безпосередньо не пов'язане з моделюванням процесу роботи машини.

Так для розробки тримірної графічної моделі конвейєра-очищувача була використана універсальна графічна система автоматизації проектування конструкторської документації AutoCAD. Даний програмний продукт дає можливість створити креслення машини, що проектується, з подальшим їх перетворенням в тримірну модель. Крім того, рендерінг тримірної моделі дає можливість отримати реалістичне зображення конструкції.

Для моделювання технологічного процесу роботи машини, з метою отримання рекомендацій щодо конструктивних параметрів та технологічних режимів її роботи, отримані вище описаним чином креслення були експортовані в спеціалізовану програму тримірного моделювання та анімації 3D Studio MAX R2,5. Хоча дана програма безпосередньо не призначена для проведення інженерних розрахунків, проте в її складі є модуль, що дає можливість проводити розрахунок та відтворення в реальному часі процесів взаємодії між різними тілами з урахуванням всіх конструктивних особливостей моделі, властивостей матеріалів (густина, пружність), природних факторів (дія відцентрових сил, сила тяжіння, опір повітря та ін.). Протікання процесу може бути розраховане та відтворене з частотою в кілька сотень кадрів за секунду, що досить складно зробити за допомогою кіно- чи відео- знімальної апаратури.

Таким чином була змодельована тримірна графічна конструкція кулачкового конвейєра-очищувача в кількох варіантах, що відрізняються

розташуванням суміжних секцій робочих органів (одноярусна та двоярусна схема кулачкового конвейера-очищувача), а також з встановленням різних типів обмежуючих поверхонь.

З метою отримання результатів максимально наближених до реальних при моделюванні процесу роботи, кожній складовій частині конструкції призначався матеріал з властивостями, що відповідають реальним значенням. В процесі проведення досліджень, конструкцію моделі, а також режими роботи, можна легко змінювати. Це стосується зміни відстані по вертикалі між осями суміжних секцій кулачків, кута взаємного розташування лопатей кулачків розміщених на суміжних секціях, відстані між суміжними кулачками розташованими на одній осі, частоти обертання секцій кулачків, розміри коренеплодів та інших параметрів. Проте, такі зміни як форма кулачка, форма обмежуючої поверхні потребують попереднього моделювання даних елементів, для отримання можливості їх заміни. Тому попередньо була створена бібліотека моделей елементів конструкції конвейера-очищувача, що використовувались при проведенні досліджень.

Загальний вигляд розробленої комп'ютерної моделі кулачкового конвейера-очищувача представлений на рис. 3.1 та рис. 3.2.

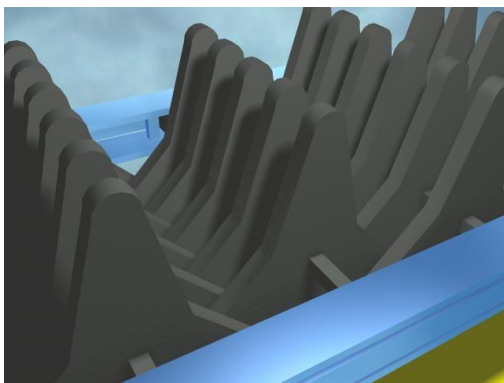


Рисунок 3.3 - Комп'ютерна модель одноярусного конвейера-очищувача

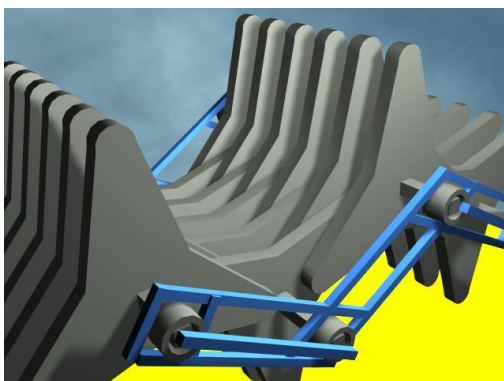


Рисунок 3.4 - Комп'ютерна модель двоярусного конвейера-очищувача

На рис. 3.1 зображена модель конвейєра-очищувача з розташуванням суміжних секцій робочих органів в одній площині (однорусна схема). Відповідно на рис. 3.2 представлена конструкція з розташуванням суміжних секцій кулачків в різних площинах (двохрусна схема).

З метою обмеження вільного польоту коренеплодів після відриву їх від робочої поверхні кулачків над секціями робочих органів розташовувалась обмежуюча поверхня (відбійник). На рис. 3.3 показано загальний вигляд однорусного конвейєра-очищувача з встановленою плоскою обмежуючою поверхнею.

Відстань H між віссю кулачків 1 та обмежуючою поверхнею 2 (рис. 3.3) можна змінювати, проте в разі використання жорсткої обмежуючої поверхні ця відстань повинна бути достатньою для вільного переміщення коренеплодів по поверхні конвейєра-очищувача. Таким чином, однією з задач дослідження є визначення оптимальної відстані між віссю кулачків та обмежуючою поверхнею для вільного переміщення коренеплодів різного діаметра по робочій поверхні конвейєра-очищувача при мінімумі часу їх перебуванні у вільному польоті.

Після проведення попередніх розрахунків технологічного процесу роботи кулачкового конвейєра-очищувача зображеного на рис.3.3 і аналізу траєкторії руху коренеплодів по ньому було встановлено, що кут початкового напрямку руху коренеплоду після відриву від робочої поверхні кулачка в більшості випадків не перевищує 45° відносно горизонтальної площини. В такому випадку різко збільшується час перебування коренеплодів у вільному польоті. З метою запобігання такого явища також проводились дослідження по використанню обмежуючої поверхні, робоча сторона якої (сторона що контактує з коренеплодами) під час їх руху вздовж конвейєра-очищувача по формі відрізняється від площини.

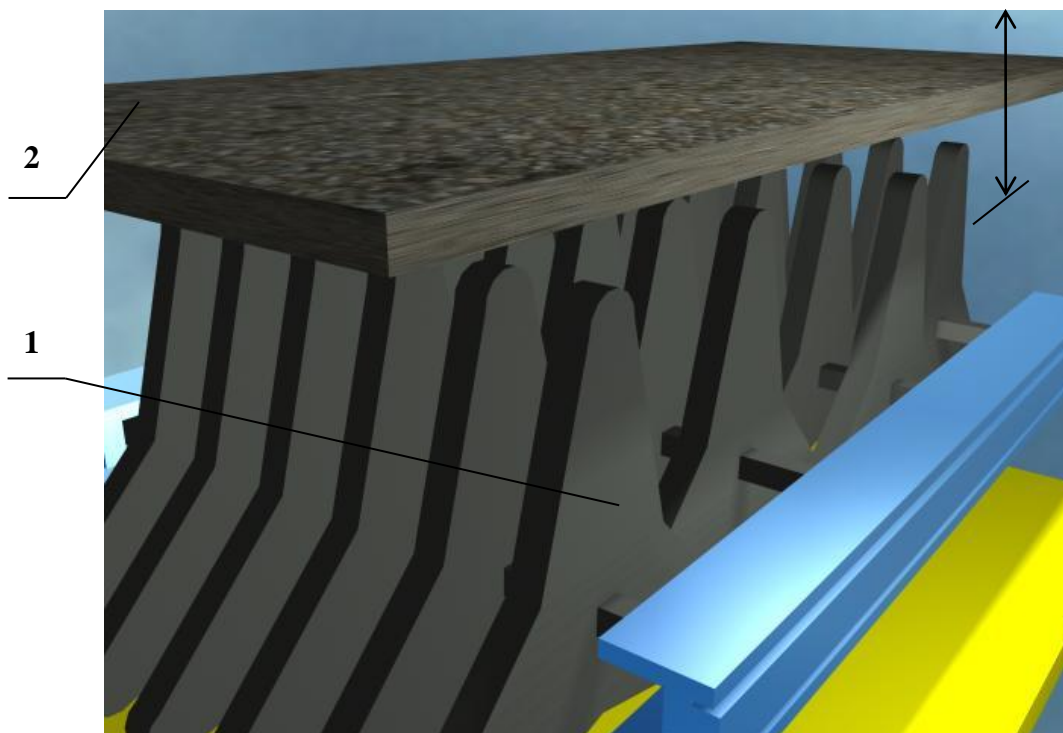


Рисунок 3.5 - Комп'ютерна модель одноярусного конвейера-очищувача з встановленою плоскою обмежуючою поверхнею: 1 – вісь кулачків; 2 – плоска обмежуюча поверхня; Н – відстань від осі кулачків до обмежуючої поверхні

При проведенні дослідів моделям коренеплодів надавалась деяка початкова швидкість руху, що імітувало реальні умови їх надходження до конвейера-очищувача встановленого на коренезбиральній машині. Припускалось, що швидкість руху коренеплодів, відносно коренезбиральної машини, при надходженні їх до конвейера-очищувача відповідає поступальній швидкості руху самої машини. При цьому приймається, що робочі секції конвейера-очищувача розташовуються впоперек напрямку руху агрегату і обертаються в напрямку протилежному руху агрегату.

Зважаючи на те, що результати розрахунку технологічного процесу роботи конвейера-очищувача програма 3D Studio MAX відтворює в графічній формі (у вигляді окремих кадрів відеофільму) потрібно визначитись з

дискретністю відтворення. Після проведення пробних розрахунків було вирішено фіксацію результатів руху моделі коренеплоду по робочій поверхні конвейєра-очищувача проводити з частотою 40 кадрів/с . Хоча така частота фіксації не досить висока, проте це дає можливість значно скоротити час, що витрачається комп'ютером на проведення розрахунку технологічного процесу роботи конвейєра-очищувача. Крім того, при відносно невеликих розмірах вихідних файлів є можливість фіксувати незначні зміни положення об'єктів контролю навіть при значних швидкостях їх руху. Так при максимальній кутовій швидкості обертання кулачків $\omega = 20,9 \text{ рад/с}$, що використовувалась в дослідах, за проміжок часу між суміжними кадрами кулачок повертається на кут $0,5 \text{ рад}$.

При проведенні розрахунків визначались такі показники як час знаходження коренеплодів у вільному польоті та час контакту їх з робочими поверхнями конвейєра-очищувача, поступальна швидкість переміщення коренеплодів вздовж конвейєра-очищувача. По отриманим результатам проводився розрахунок продуктивності конвейєра-очищувача.

Для визначення продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача контролювався час проходження моделі коренеплоду між двома фіксованими точками розташованими на відомій відстані одна від одної. В результаті чого визначалась поступальна швидкість руху коренеплоду. Отримане значення швидкості підставляємо в формулу визначення продуктивності

На рис. 3.6 представлено фрагмент з кількох послідовних кадрів комп'ютерного розрахунку технологічного процесу роботи кулачкового конвейєра-очищувача для випадку одноярусного розташування суміжних секцій, встановлення плоскої поверхні що обмежує політ коренеплодів, та кутової швидкості кулачків $15,7 \text{ рад/с}$. Поступальний рух агрегату приймається з права наліво по малюнку, а робочі секції очищувача обертаються по годинниковою стрілкою. Всі складові частини моделі були спроектовані в масштабі 1:1 до реальної конструкції. Це дає змогу більш точно визначити

параметри руху коренеплоду. Для орієнтації в лінійних розмірах моделі на рис. 3.6 внизу приведена масштабна лінійка.

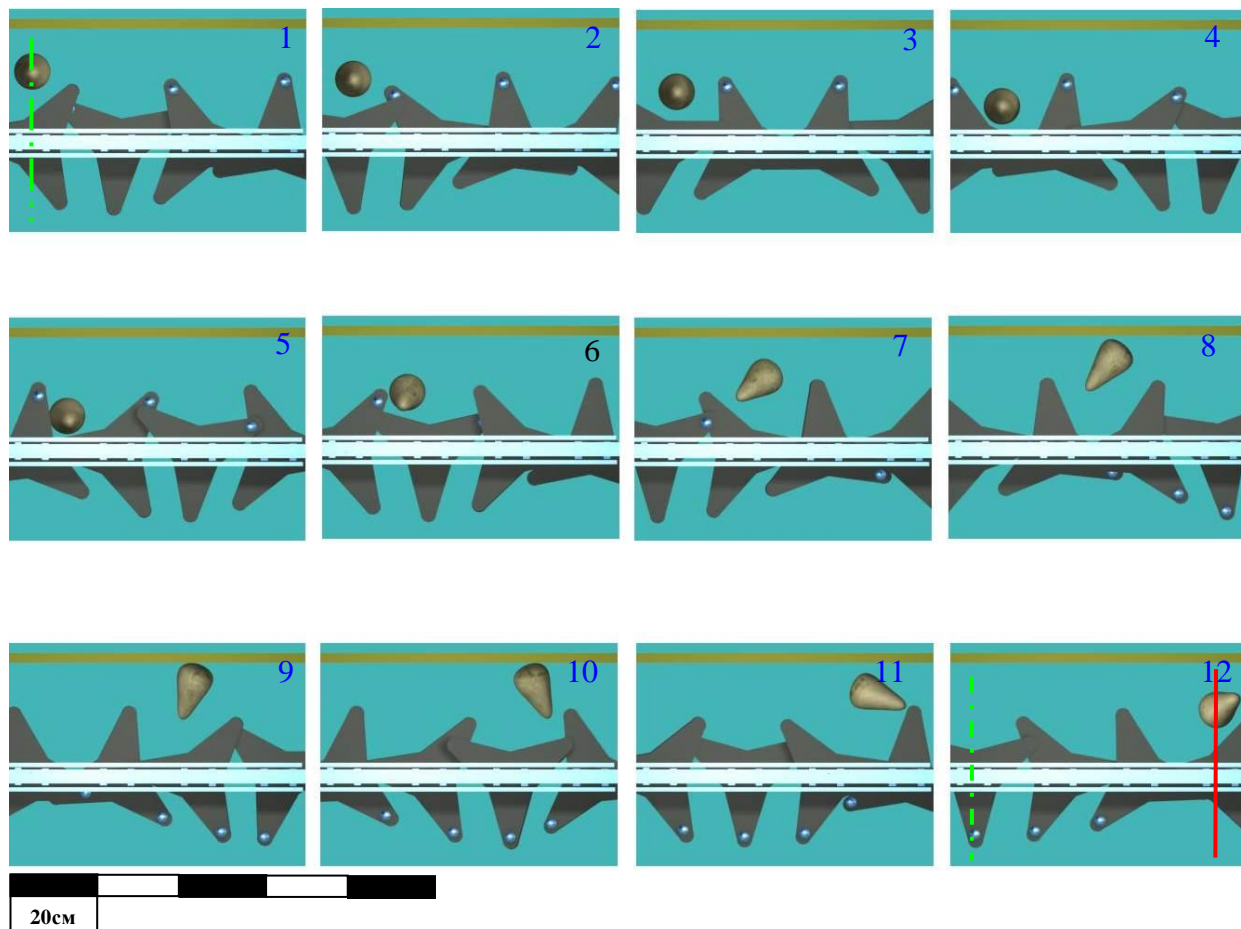


Рисунок 3.6 Фрагмент комп'ютерного експерименту по визначенню траєкторії руху та поступальної швидкості переміщення коренеплодів по конвейєру-очищувачу з плоскою обмежуючою поверхнею:

- · — - початкове положення коренеплоду;
- - кінцеве положення коренеплоду.

Методика визначення поступальної швидкості руху коренеплоду наступна (рис. 3.6): на першому та останньому кадрах фіксувались положення коренеплоду відносно конвейєра-очищувача. Згідно рисунку положення коренеплоду, що відповідає початку відліку позначено на першому кадрі пунктирною лінією, а його положення в кінці руху позначено на дванадцятому кадрі суцільною лінією. Додатково на дванадцятому кадрі позначена також лінія, що відповідає положенню коренеплоду на початку руху. Таким чином замірявши відстань між отриманими лініями визначаємо шлях, що проходить

коренеплід по конвейєру-очищувачу. Для даного випадку цей шлях становить 0,58 м. При відомій частоті зміни кадрів, що становить 40кадр/с підраховуємо, що середня поступальна швидкість руху коренеплоду відносно поверхні конвейєра-очищувача становить 1,93м/с.

Виходячи з отриманого значення поступальної швидкості коренеплоду та розмірів конструкції розраховуємо продуктивність конвейєра-очищувача. Для даного дослідження значення продуктивності буде становити $Q=44,5$ кг/с.

Для аналізу процесу переміщення коренеплоду потрібно мати траєкторію його руху. З метою отримання траєкторії руху коренеплоду, при переміщенні його вздовж конвейєра-очищувача, графічні кадри, отримані під час дослідження, суміщались послідовно один з одним. В результаті такого суміщення відразу було отримано траєкторію руху коренеплоду. Так, для випадку переміщення коренеплоду, зображеному на рис. 3.6, його траєкторія руху, отримана описаним вище способом, буде мати вигляд зображений на рис. 3.7.

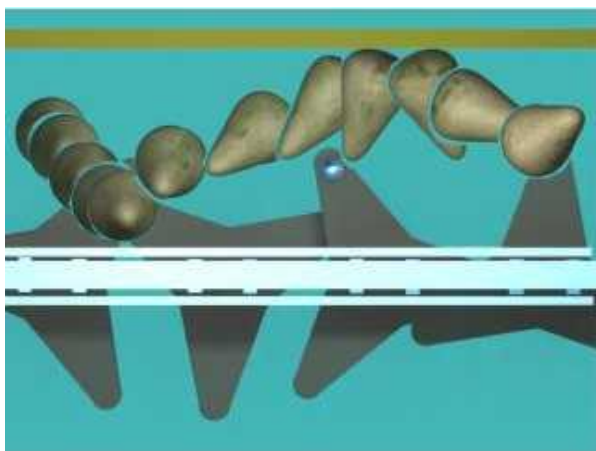


Рисунок 3.7 Траєкторія руху коренеплоду вздовж конвейєра-очищувача отримана шляхом суміщення кількох кадрів зображення. Коренеплід переміщується зліва направо, кулачки обертаються за годинниковою стрілкою

Аналізуючи весь експериментальний матеріал можна прийти висновку, що при встановленні фігурної обмежуючої поверхні продуктивність кулачкового конвейєра-очищувача значно зменшується. Проте при цьому зростає час контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача (кулачками та обмежуючою поверхнею). Підвищення часу перебування коренеплодів в контакті з робочими поверхнями конвейєра-очищувача буде позитивно впливати на якість їх очистки. Особливо цей показник впливає на

процес відділення від коренеплодів налиплого ґрунту. Таким чином, в подальшому, при плануванні експерименту потрібно отримати такі оптимальні показники конструктивних та технологічних параметрів кулачкового конвейєра-очищувача, щоб при максимальній його продуктивності час перебування коренеплодів в контакті з робочими поверхнями очищувача прагнув до максимуму.

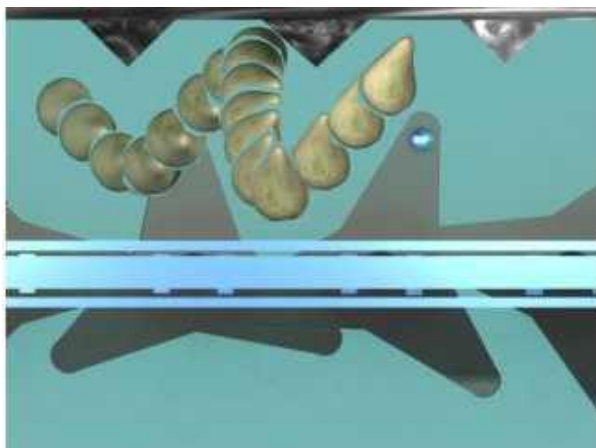


Рисунок 3.8 - Траєкторія руху коренеплоду вздовж конвейєра-очищувача отримана шляхом суміщення кількох кадрів зображення. Коренеплід переміщується зліва направо, кулачки обертаються по годинниковій стрілці

Математичне планування експерименту

При випробуваннях кулачкового конвейєра-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею було вирішено реалізувати багатофакторний експеримент. Як відомо, багатофакторний експеримент має багато переваг.

Критерії оптимізації дають можливість оцінити ефективність процесів, що досліджуються під час руху коренеплодів по кулачковому конвейєру-очищувачу з встановленою обмежуючою поверхнею, а також зв'язують фактори в математичну модель.

За вихідні фактори – критерії оптимізації - були прийняті (табл. 3.2): швидкість переміщення коренеплодів по поверхні очищувач V , відсоток часу коли коренеплід під час руху знаходився в контакті з робочими поверхнями конвейєра-очищувача τ .

Під час попередніх випробувань було встановлено, що на продуктивність кулачкового конвейєра-очищувача найбільший вплив мають такі фактори: кутова швидкість обертання секцій конвейєра-очищувача,

відстань між горизонтальними площинами, що проходять між осями суміжних секцій конвейєра-очищувача, форма обмежуючої поверхні, тобто кут нахилу робочої поверхні обмежуючої площини до поверхні конвейєра очищувач, діаметр коренеплоду. Перераховані фактори являються незалежними, тому з'являється можливість змінювати їх величини незалежно один від одного.

При цьому повинні були дотримуватись обмеження наступного характеру: кутова швидкість обертання кулачків не повинна виходити за межу, при якій відбувається травмування коренеплодів; відстань між горизонтальними площинами, що проходять через осі суміжних секцій конвейєра-очищувача, обмежується величиною при якій відбувається ефективна передача коренеплодів з однієї секції на наступну суміжну, мінімальна відстань від кулачків конвейєра-очищувача до обмежуючої поверхні повинна бути достатньою для вільного переміщення коренеплодів.

На основі таких умов та обмежень були визначені рівні варіювання факторів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Розрахунок рівнів варіювання факторів

Рівні варіювання факторів	ω , <i>рад/с</i>	l , <i>м</i>	Ψ , <i>град.</i>	d_k , <i>м</i>	Умовні позначення	Вихідні параметри	
Основний рівень	15,7	0,05	22,5	0,09	0		
Інтервал варіювання	5,2	0,05	22,5	0,05	ΔK_i	V	τ
Верхній рівень	20,9	0,1	45	0,14	+1	<i>м/с</i>	%
Нижній рівень	10,5	0	0	0,04	-1		
Кодове значення перемінних	x_1	x_2	x_3	x_4		y_1	y_2

В якості незалежних факторів, що впливають на продуктивність конвейєра-очищувача, взяті такі параметри: x_1 - кутова швидкість обертання

кулачків ω ; x_2 - відстань між горизонтальними площинами, що проходять крізь осі суміжних секцій кулачкового конвейєра-очищувача l ; x_3 - кут нахилу робочої поверхні відбійника до горизонту ψ ; x_4 - діаметр коренеплоду d_k .

При плануванні експерименту було вирішено реалізувати точний план, близький до D – оптимального дослідів B^4 . Критерій D – оптимальності потребує такого вибору плану, що містить N дослідів, при якому визначник дисперсійної матриці має мінімальну величину. Тому точки постановки дослідів повинні вибиратися з умови, що вона належить до тієї області, де можлива постановка експерименту таким чином, щоб виконувалась умова мінімально можливого розсіяння відносно центру розподілення D – зони оптимуму. Матриця планування експерименту наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Матриця майже D – оптимального плану для проведення експерименту з метою описання поверхні відклику поліномом другого порядку (план для чотирьох факторів Бокса B^4)

Номер дослідів	Фактори				
	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	+1	+1	+1	+1	Вершини гіперкубу (повний факторний план)
2	-1	+1	+1	+1	
3	+1	-1	+1	+1	
4	-1	-1	+1	+1	
5	+1	+1	-1	+1	
6	-1	+1	-1	+1	
7	+1	-1	-1	+1	
8	-1	-1	-1	+1	
9	+1	+1	+1	-1	
10	-1	+1	+1	-1	
11	+1	-1	+1	-1	
12	-1	-1	+1	-1	
13	+1	+1	-1	-1	

14	-1	+1	-1	-1	Центри (n-1) мірних граней (зоряні точки)
15	+1	-1	-1	-1	
16	-1	-1	-1	-1	
17	+1	0	0	0	
18	-1	0	0	0	
19	0	+1	0	0	
20	0	-1	0	0	
21	0	0	+1	0	
22	0	0	-1	0	
23	0	0	0	+1	
24	0	0	0	-1	

При дослідженні продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею було вирішено реалізувати матрицю (табл. 3.2) майже D – оптимального плану типу B^4 для кількості факторів $n=4$.

Основною перевагою D – оптимального плану є те, що він зводить до мінімуму узагальнюючу дисперсію.

Плани B^n містять вершини n – мірного кубу з координатами ± 1 . Ці точки утворюють повний факторний експеримент, число їх дорівнює 2^n . Крім того план B^n вводить до складу центри $(n-1)$ – мірних граней – зоряні точки з величиною плеча, що дорівнює одиниці. Число таких точок дорівнює $2n$. Загальне число точок плану $N = 2^n + 2n$. В даному випадку при реалізації плану B^n необхідно провести 24 досліди. Тоді модель процесу може бути представлена поліномом другого порядку типу

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^K b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^K b_{ii} \cdot x_i^2 + \dots \quad (3.1)$$

Кодування незалежних перемінних проводиться по формулі:

$$x_i = \frac{K_i - K_{icp}}{\Delta K_i} \quad (3.2)$$

де K_i – величина i –того фактору;

ΔK_i – інтервал варіювання, що дорівнює

$$\Delta K_i = \frac{K_{i \max} - K_{i \min}}{2}. \quad (3.3)$$

Після реалізації на експериментальній установці матриці планування експерименту, ставиться завдання по відшукуванню коефіцієнтів регресії при перемінних та ефектах їх взаємодії. Ця задача в більшості випадків вирішується за допомогою стандартної програми на електронно-обчислювальній машині (комп'ютері).

В силу ортогональності матриці коефіцієнти регресії можна також визначити незалежно один від одного за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^N x_{ij}^2}, \quad (3.4)$$

де j – порядковий номер стовпця в матриці;

x_{ij} – елемент відповідного стовпця.

Визначення виходу процесу y та забезпечення заданого рівня факторів здійснюється не точно, а з деякою помилкою, тому і коефіцієнти регресії визначені з помилкою. Статистичний аналіз рівняння з наперед заданою імовірністю $\alpha = 0,95$ встановлює, чи завдає даний фактор достатній вплив на процес. Якщо отримана абсолютна величина коефіцієнтів b_i , яка більша похибки в їх визначенні, то такий фактор чинить вплив на процес. Якщо такого впливу нема, то значення b_i буде мало відрізнятися від нуля, тобто зміна вихідного процесу y при зміні рівня відповідного фактору наближається до похибки його визначення. Такий фактор з рівняння регресії може бути виключений.

Статистичний аналіз рівнянь регресії, з метою визначення значимості коефіцієнтів регресії проводиться згідно методики, яка включає наступні операції: визначення порядкової дисперсії відтворюваності середнього результату; середньої для всього експерименту дисперсії відтворюваності одиничного результату; дисперсії відтворюваності середнього значення виходу

процесу (параметру оптимізації); дисперсії коефіцієнтів рівнянь регресії; похибки коефіцієнтів рівнянь регресії та значимість коефіцієнтів рівнянь регресії.

Отримані в результаті факторного експерименту рівняння регресії зв'язують рівні факторів з виходом процесу в області поверхні відклику, що вивчається. Тут необхідно впевнитися, що отримані рівняння з достатнім ступенем достовірності (адекватно) описують процес, що досліджується. Для цього необхідно визначити дисперсію адекватності із виразу:

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{im} - \bar{y}_{ie})^2}{n - d}, \quad (3.5)$$

де y_{im} – теоретичне значення функції для кожного вимірювання (після виключення незначимих коефіцієнтів регресії з рівняння);

\bar{y}_{ie} – середнє експериментальне значення функції із m серій, що визначається з рівняння:

$$\bar{y}_{ie} = \frac{y_{1e} + y_{2e} + \dots + y_{ne}}{m}. \quad (3.6)$$

$n-d$ – число ступенів свободи, де n – число вимірів в серії (повторностей); d – число коефіцієнтів рівняння теоретичної регресії.

Середня дисперсія всього експерименту визначається рівнянням:

$$D_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n (y_{im} - y_{ie})^2}{mn}. \quad (3.7)$$

Адекватність теоретичних рішень, тобто визначення похибки апроксимації, встановлюється, в більшості випадків, по критерію Фішера K_f . При умові задоволення нерівності:

$$K_{fe} < K_{fm}, \quad (3.8)$$

модель адекватна,

де K_{fe} – експериментальне (дослідне) значення критерію Фішера;

K_{fm} – теоретичне (табличне) значення критерію Фішера.

Експериментальне (дослідне) значення критерію Фішера визначається по формулі:

$$K_{\phi e} = \frac{D_a}{D_{cp}}. \quad (3.9)$$

Для використання отриманих рівнянь, виражених поліномом другого порядку в якості формул для розрахунків і інтерпретації результатів дослідів, їх необхідно привести до іменованих величин (провести декодування). Декодування здійснюється підстановкою в рівняння регресії в закодованому виді замість x_i правої частини рівняння (3.2).

Висновки

1. Приведена програма досліджень.
2. Виконано опис експериментальної установки.
3. Описана методика визначення продуктивності кулачкового конвеєра-очищувача.
4. Розкриті питання математичного планування експерименту: вибір критеріїв оптимізації, вибір факторів та інтервалів варіювання, вибір плану експерименту, статистичний аналіз рівняння регресії, перевірка моделі на адекватність.

4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як відомо, якісна робота кулачкового конвейєра-очищувача забезпечується за умови постійного контакту вороху коренеплодів з його робочими органами. Цього можна досягти лише при обмеженій кутовій швидкості секцій кулачків, що не дає можливості збільшення продуктивності конвейєра-очищувача без зміни його геометричних показників.

Проведені теоретичні дослідження показали, що при встановленні над кулачками конвейєра-очищувача обмежуючої поверхні, яка перешкоджає відриву коренеплодів від робочих поверхонь кулачків, можливе збільшення його продуктивності за рахунок підвищеної кутової швидкості секцій кулачків.

На основі теоретичних розрахунків була розроблена методика проведення експериментальних досліджень з метою підтвердження можливості збільшення продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача.

4.1. Визначення продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача

За допомогою комп'ютера, були побудовані та проаналізовані залежності впливу на поступальну швидкість руху коренеплодів таких факторів, як кутова швидкість секцій кулачків (рис. 4.1), відстань по вертикалі між осями суміжних секцій кулачків (рис. 4.2), куту нахилу обмежуючої поверхні (рис. 4.3), діаметру коренеплодів (рис. 4.4).

З усіх факторів, що враховувались при проведенні дослідження найбільший вплив на швидкість переміщення коренеплодів має зміна кутової швидкості секцій кулачків. При зростанні кутової швидкості кулачків, поступальна швидкість руху коренеплодів по поверхні конвейєра-очищувача підвищується майже прямо пропорц

ійно. При збільшенні кутової швидкості секцій кулачків в 2 рази поступальна швидкість руху коренеплодів збільшується в 2,3 рази.

На рис. 4.1 представлено усереднений графік залежності швидкості руху коренеплодів від кутової частоти обертання кулачків при зміні на кількох

рівнях значення інших незалежних факторів (кута встановлення обмежуючої поверхні, відстані по вертикалі між осями суміжних секцій кулачків, діаметру коренеплодів).

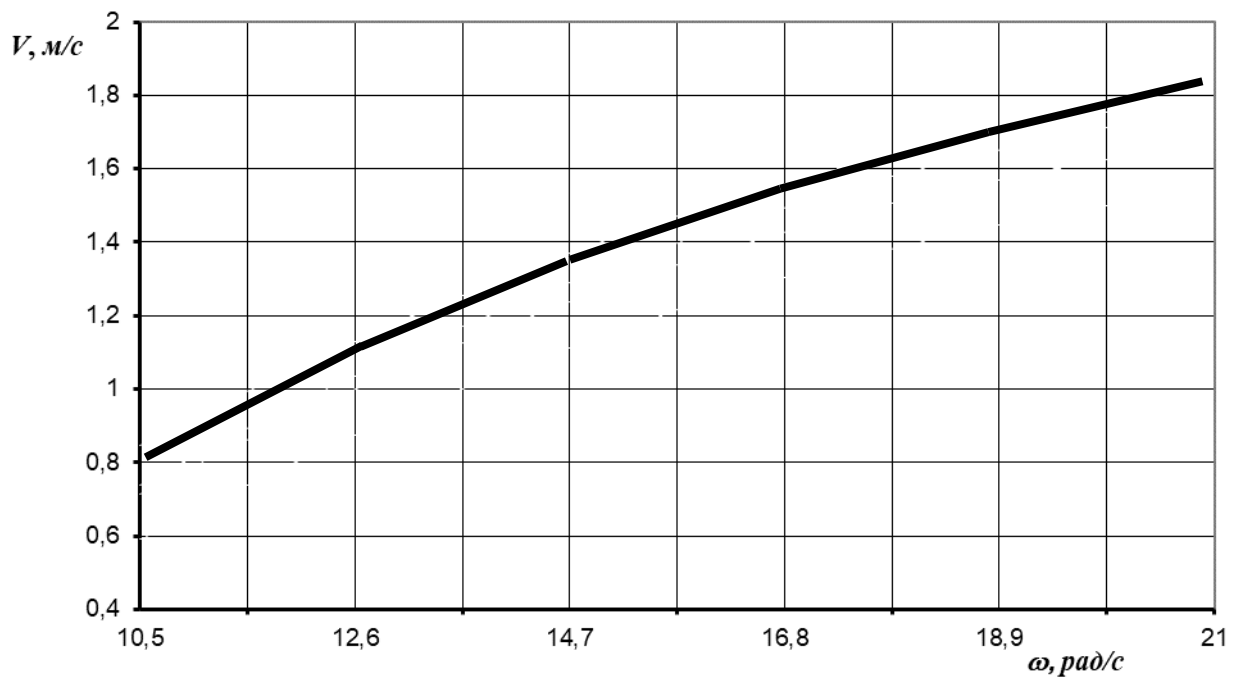


Рисунок 4.1 - Залежність швидкості руху V коренеплодів від кутової швидкості ω секцій кулачків

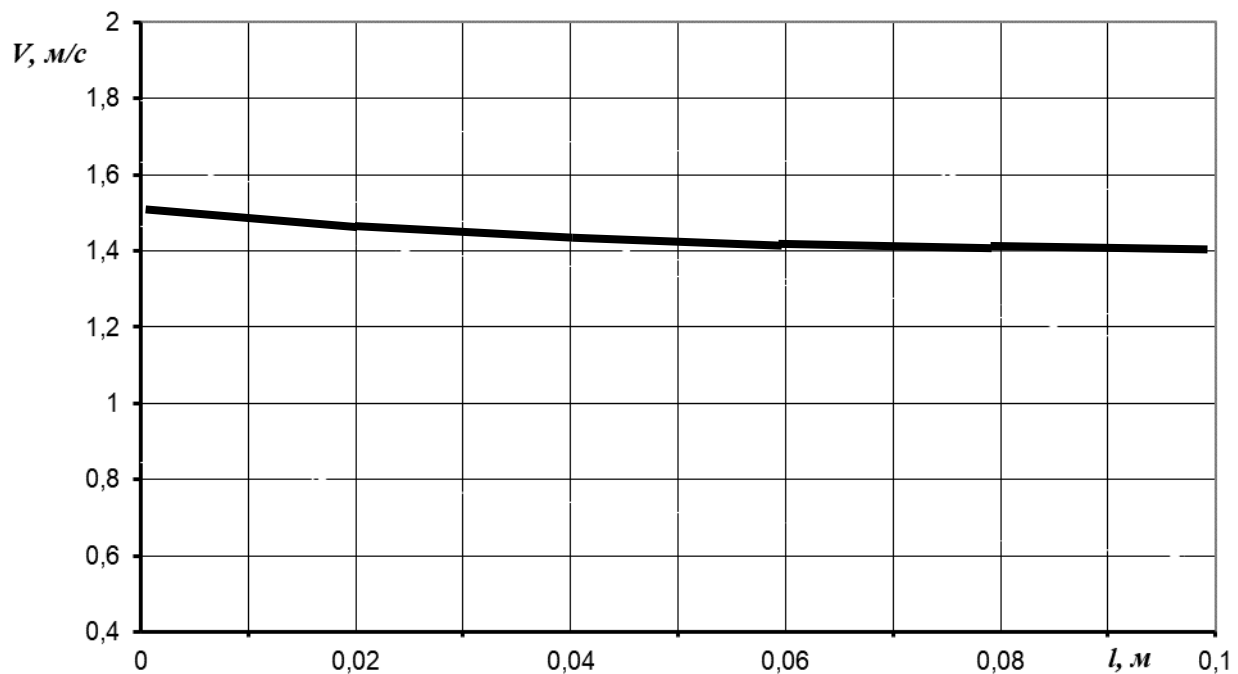


Рисунок 4.2 - Залежність швидкості руху V коренеплодів від відстані l по вертикалі між осями суміжних секцій кулачків

Характер зміни поступальної швидкості коренеплодів від відстані по

вертикалі між осями суміжних секцій представлено на рис. 4.2. При збільшенні відстані між осями суміжних секцій від 0 до 0,1м поступальна швидкість руху коренеплодів зменшується близько 7%.

Усереднена залежність швидкості руху коренеплодів по поверхні конвейєра-очищувача в залежності від кута нахилу обмежуючої поверхні представлена на рис. 4.3. Із збільшенням кута нахилу обмежуючої поверхні в межах від 0° до 34° поступальна швидкість руху коренеплодів зменшується і при куті 34° становить 96% до початкової. При подальшому збільшенні кута ψ поступальна швидкість руху коренеплодів залишається практично незмінною.

Аналізуючи залежність швидкості руху коренеплодів від зміни їх діаметру, можна відмітити, що найвище значення швидкості мають коренеплоди з діаметром 0,09м, тобто ті коренеплоди діаметр яких близький до середньостатистичного значення. При дослідженні руху коренеплодів діаметр яких як більший так і менший за вищевказаний, швидкість їх руху відповідно зменшується. Так при збільшенні діаметра коренеплодів від 0,04м до 0,09м їх швидкість руху по конвейєру-очищувачу підвищується в 1,1 рази, а при подальшому збільшенні діаметра до 0,14м швидкість руху коренеплодів зменшується в 1,08 рази.

Одним з етапів визначення якісних показників роботи кулачкового конвейєра-очищувача є знаходження відсотку часу коли коренеплід, рухаючись по поверхні очищувача, контактує з його робочими поверхнями. Даний показник буде впливати на якість відділення від коренеплодів налиплого ґрунту, а також на відділення з вороху коренеплодів тривких грудок. Бажано отримати такий режим роботи конвейєра-очищувача при якому відсоток часу контакту коренеплодів з його робочими поверхнями буде як можна більшим.

При проведенні попередніх досліджень визначалось як змінюється відсоток часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувач при зміні кутової швидкості обертання секцій кулачків ω , відстані по вертикалі між суміжними робочими секціями l , кута нахилу обмежуючої поверхні ψ та діаметру коренеплодів d .

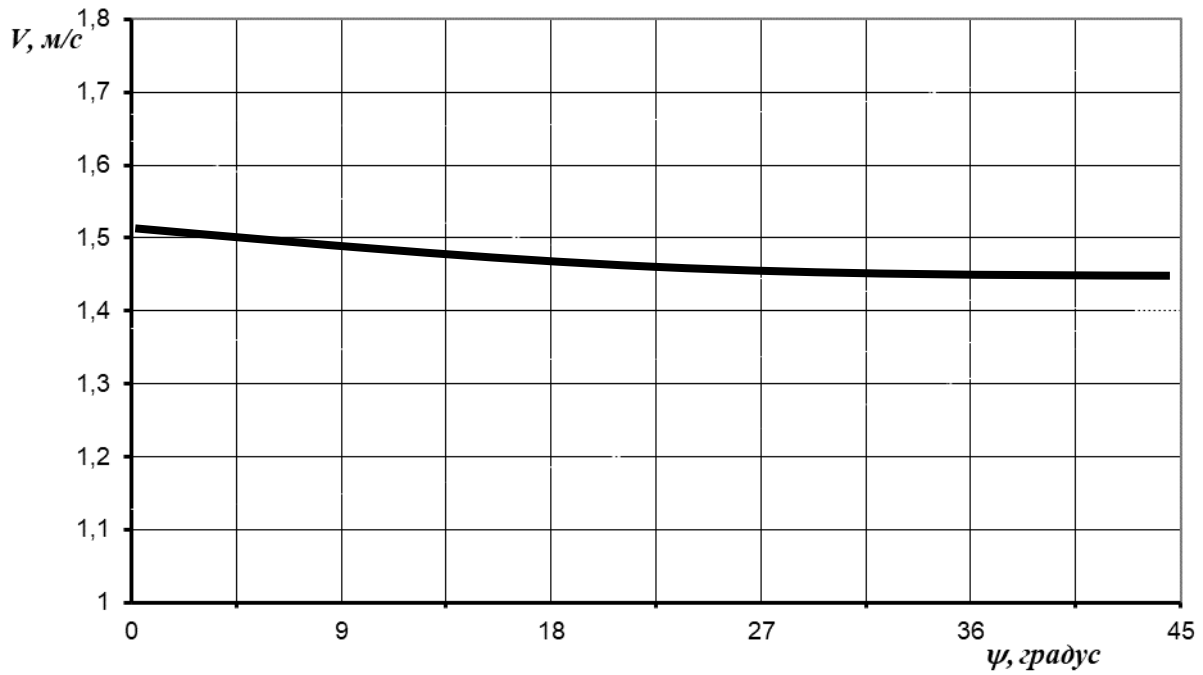


Рисунок 4.3 - Залежність швидкості руху коренеплодів від кута нахилу обмежуючої поверхні

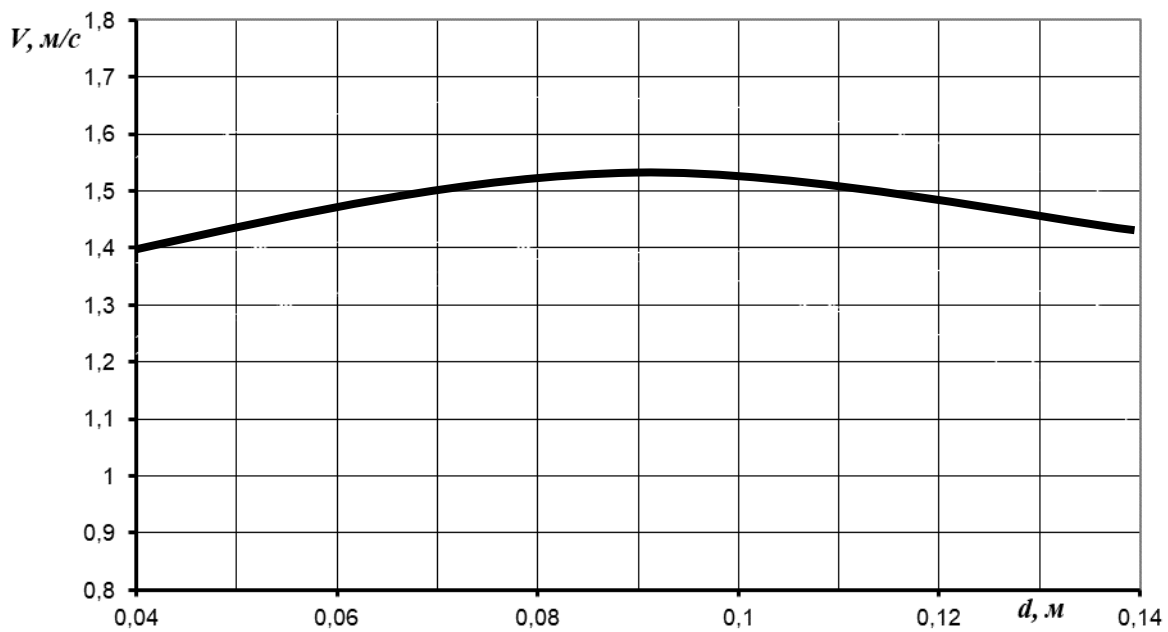


Рисунок 4.4 - Залежність швидкості руху коренеплодів від їх діаметра

Аналізуючи усереднену залежність часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями конвейєра-очишувача від кутової швидкості секцій кулачків, можна відмітити, що в діапазоні збільшення кутової швидкості від

10,5рад/с до 17,7рад/с відсоток часу збільшується в 1,18 рази порівняно з початковим значенням і сягає 58,5%. При подальшому збільшенні кутової швидкості секцій кулачків від 17,7рад/с до 21рад/с частка часу контакту починає поволі зменшуватися і при максимальному значенні кутової швидкості становить 56,5%.

Слід відмітити, що на рисунках 4.5 ... 4.8 зображені середні значеннями залежності відсотку часу контакту коренеплоду з робочими поверхнями очищувача від зміни одного з незалежних факторів (кутової швидкості обертання секцій кулачків, відстані по вертикалі між суміжними робочими секціями, куту нахилу обмежуючої поверхні та діаметру коренеплодів) при варіюванні інших незалежних факторів на кількох рівнях.

На рис. 4.6. представлений графік що характеризує вплив на рух коренеплодів відстані по вертикалі між осями суміжних секцій з кулачками. При розташуванні секцій кулачків в одній площині, тобто $l = 0\text{м}$, коренеплоди, рухаючись по очищувачу, контактують з його робочими органами близько 53,5% від загального часу знаходження коренеплодів на очищувачу. При збільшенні відстані по вертикалі між сусідніми робочими секціями очищувача відсоток часу контакту з робочими органами очищувача також зростає. Така тенденція спостерігається до досягнення відстані між осями секцій $l = 0,07\text{м}$. При подальшому збільшенні цієї відстані відсоток часу починає зменшуватись (рис. 4.6).

Залежність відсотку часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача від кута нахилу робочих елементів обмежуючої поверхні представлено на рис. 4.7. При зміні кута нахилу від горизонтального положення, коли $\psi = 0^\circ$ і до $\psi = 45^\circ$ відсоток часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувач збільшується в 1,2 рази. На відрізку зміни кута нахилу від $\psi = 0^\circ$ до $\psi = 36^\circ$ спостерігається досить інтенсивне зростання

показника τ . При подальшому збільшенні кута ψ відсоток часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями конвейєра-очищувача залишається практично незмінним (рис. 4.7).

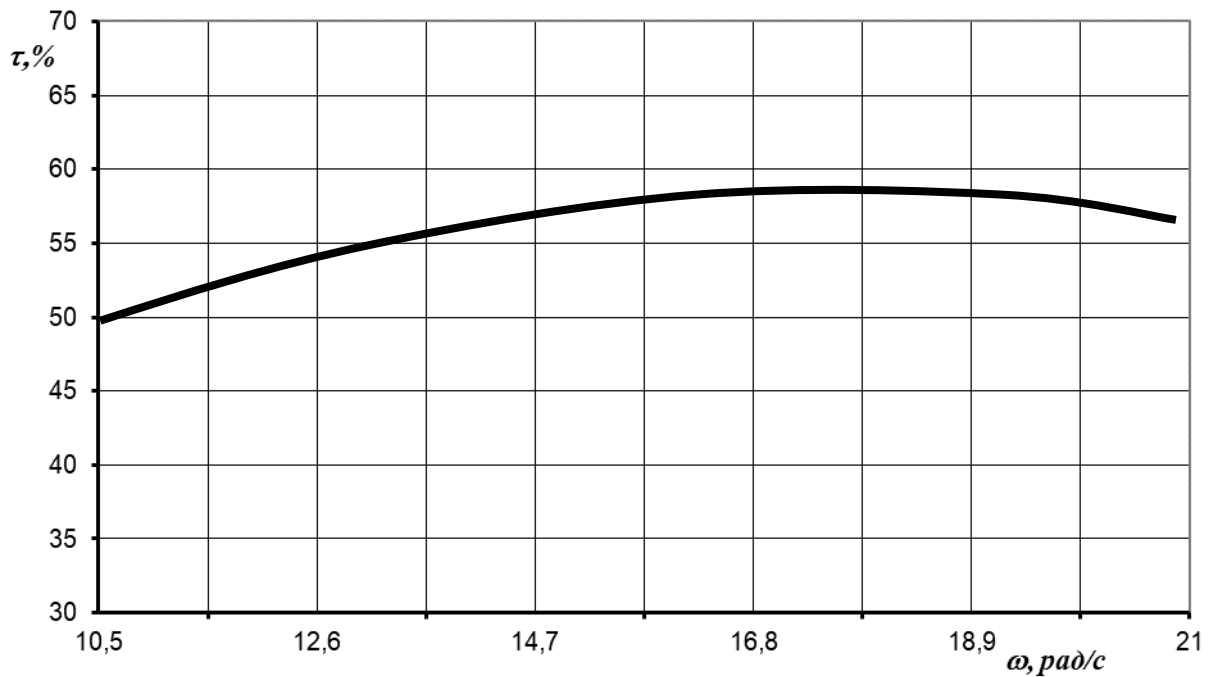


Рисунок 4.5 - Залежність відсотку часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача від кутової швидкості обертання секцій кулачків

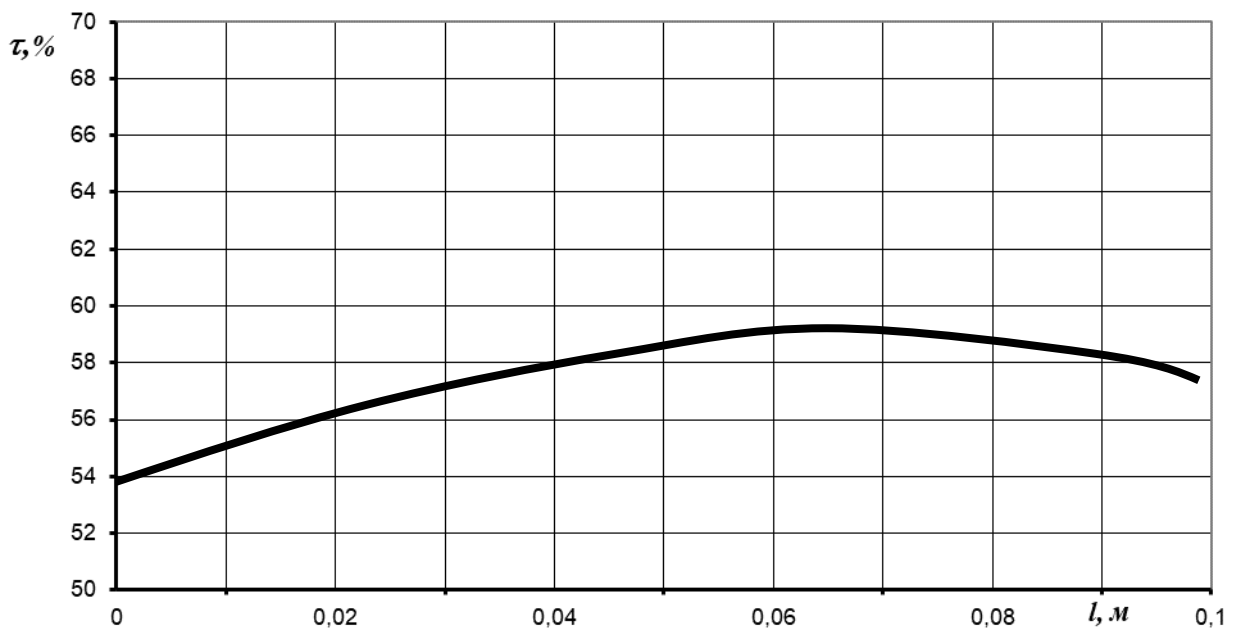


Рисунок 4.6 - Залежність відсотку часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача від відстані по вертикалі між суміжними секціями

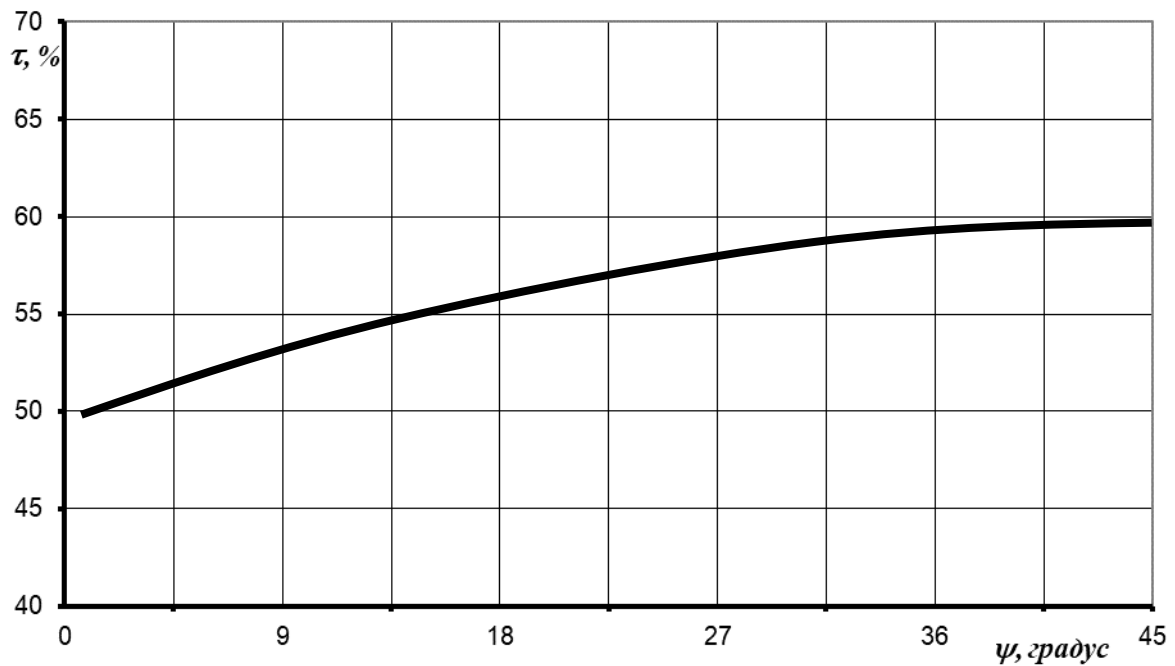


Рисунок 4.7 - Залежність відсотку часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача від кута нахилу відбійника

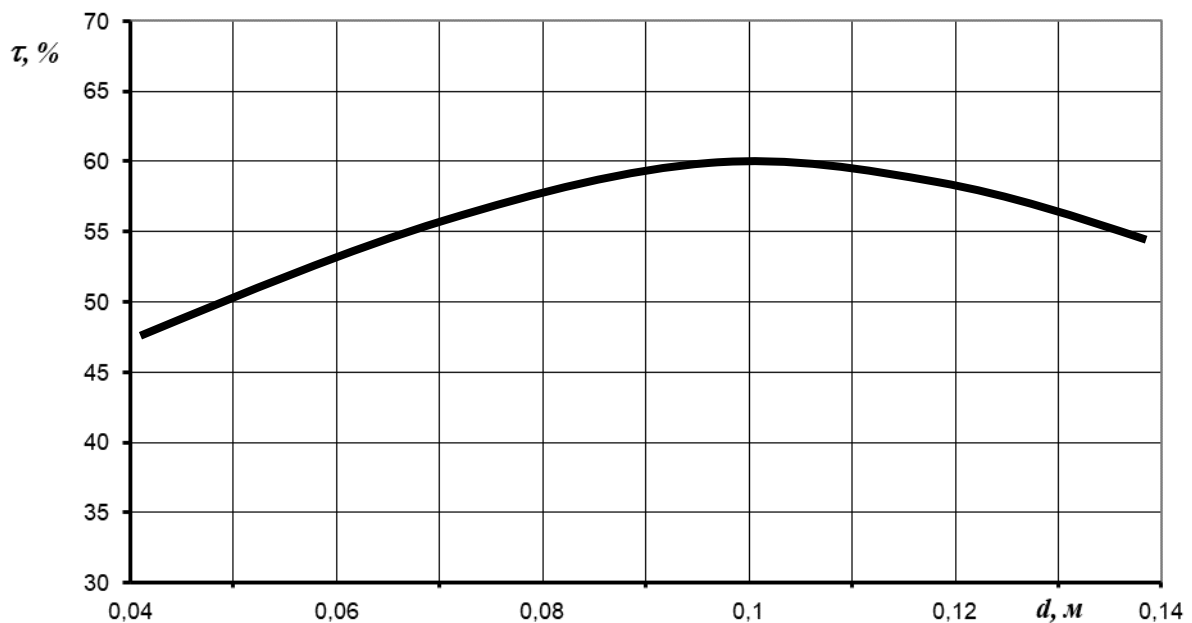


Рисунок 4.8 - Залежність відсотку часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувач від діаметра коренеплодів

Аналізуючи залежність, що характеризує вплив на інтенсивність контакту коренеплодів з робочими поверхнями конвейера-очищувача від їх діаметра можна відмітити, що найбільший відсоток часу коли коренеплоди

контактують з робочими поверхнями очищувача припадає на коренеплоди з діаметрами межах 0,09...0,11м (рис. 4.8). При дослідженні переміщення коренеплодів з діаметром від 0,04м і до 0,09м відсоток їх контакту з робочими поверхнями очищувач збільшується в 1,28 рази по відношенню до початкового, а при зміні діаметру коренеплодів від 0,11м до 0,14м цей показник зменшується відповідно в 1,1 рази.

На основі аналізу отриманих результатів з проведених за допомогою комп'ютера досліджень були визначені межі значень, як конструктивних параметрів (форма обмежуючої поверхні, висота її розташування і т.д.), так і кінематичних параметрів (кутова швидкість обертання кулачків) конвейєра-очищувача з встановленою над робочими секціями обмежуючою площиною.

Отримані результати були використані при математичному плануванні експерименту, а також при проектуванні та побудові лабораторної установки кулачкового конвейєра-очищувача, на якій виконувались всі подальші експерименти.

4.2. Вплив обмежуючої поверхні на якісні показники роботи очищувача

При розробці кулачкового конвейєра-очищувача із збільшеною продуктивністю одним з етапів було проведення експериментального дослідження по визначенню допустимої кутової швидкості обертання секцій кулачків при якій ворох коренеплодів рухається по очищувачу без відриву від робочих поверхонь кулачків.

Послідовність відеокадрів отриману при проведенню даного досліду за умов обертання кулачкового валу з кутовою швидкістю 6,28 *рад/с*. При такій кутовій швидкості валів з кулачками коренеплід знаходиться в постійному контакті з робочою поверхнею кулачків. Отже в даному випадку нема необхідності в використанні обмежуючої поверхні.

Такий характер руху коренеплодів зберігався при підвищенні кутової швидкості секцій кулачків до $7,3 \text{ рад/с}$. При подальшому підвищенні кутової швидкості секцій коренеплоди починали відриватися від робочих поверхонь кулачків

На рис. 4.1 показано фрагмент суміщення кадрів відеозйомки процесу руху коренеплоду при підвищенні кутової швидкості кулачкових валів до $10,47 \text{ рад/с}$. Зроблено висновок, що значну частину часу коренеплід знаходиться у вільному польоті, тобто він не має безпосереднього контакту з робочими органами конвейєра-очищувача що негативно впливає на якість очистки.



Рисунок 4.1 - Траєкторія руху коренеплоду по поверхні конвейєра-очищувача при обертанні кулачків з кутовою швидкістю $\omega = 10,47 \text{ рад/с}$ без встановлення обмежуючої поверхні

Як можна бачити, коренеплід під час руху частину часу знаходиться у вертикальному польоті, що знижує його середню поступальну швидкість, а відповідно буде знижуватись і продуктивність конвейєра-очищувача.

Дана серія досліджень підтвердила теоретичні розрахунки по визначенню допустимої кутової швидкості секцій кулачків.

З метою обмеження можливості вільного польоту коренеплодів після відриву від робочої поверхні кулачків, над секціями робочих органів встановлювалась обмежуюча поверхня. Один із етапів дослідження руху коренеплодів по конвейєру-очищувачу з встановленою плоскою обмежуючою поверхнею представлено на рис. 4.2.

В даному випадку коренеплід, потрапляючи на конвейєр-очищувач зустрічається з кулачком в точці, розміщеній близько до його зовнішнього радіусу. Проте його вільному польоту вгору перешкоджає обмежуюча

площина. Під час контакту з обмежуючою площиною відбувається додаткове очищення коренеплодів від ґрунту. Коренеплід, відштовхнувшись від обмежуючої площини, потрапляє на робочу поверхню кулачків де відбувається його защемлення між кулачками сусідніх секцій та очищення від налиплого ґрунту. В подальшому коренеплід виштовхується з міжлопатевого простору і летить до зустрічі з обмежуючою поверхнею. Далі процес взаємодії коренеплоду з робочими поверхнями конвейєра-очищувача повторюється. Таким чином, за час руху коренеплоду по конвейєру-очищувачу він активно контактує з його робочими поверхнями.



Рисунок 4.2 - Траєкторія руху коренеплоду вздовж конвейєра-очищувача отримана шляхом суміщення кадрів

Траєкторія руху коренеплоду, має тенденцію до більш горизонтального напрямку руху порівняно з траєкторією руху без обмежуючої.

4.3. Аналіз результатів математичного моделювання процесу впливу на продуктивність кулачкового конвейєра-очищувача обмежуючої поверхні

При випробовуваннях експериментальної установки кулачкового конвейєра-очищувача з встановленою обмежуючою поверхнею була поставлена задача визначення області відклику та її вивчення з метою отримання адекватної математичної моделі.

В експериментах на трьох рівнях варіювались чотири виділені раніше фактора (табл. 4.1) : $\omega (x_1)$ – кутова швидкість обертання кулачків (10,5...20,9рад/с); $l (x_2)$ – відстань між горизонтальними площинами що проходять через осі обертання суміжних секцій кулачків (0...0,1м); $\psi (x_3)$ – кут нахилу до горизонту робочої площини обмежуючої поверхні (відбійника) (0...45°); $d_k (x_4)$ – діаметр коренеплоду (0,04...0,14м).

При цьому визначалось кілька параметрів оптимізації: V - середня швидкість переміщення коренеплодів по конвейєру-очищувачу, м/с; τ - відсоток часу коли коренеплід контактує з робочими поверхнями конвейєра-очищувача за час руху по ньому, %.

В результаті реалізації матриці експерименту, яка включала в себе 24 досліди в трикратній повторності, були отримані дані, зведені до таблиці 4.1.

Розрахунок коефіцієнтів регресії D - оптимального плану і дисперсії адекватності проводився по стандартній програмі методом найменших квадратів. В результаті були отримані наступні значення вихідних величин в закодованому вигляді:

Таблиця 4.1

Результати реалізації матриці експерименту

Дослід	$V, м/с$				$\tau, \%$			
	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{1cp}	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{2cp}
1	1,8	2,1	2,1	2	59	61	60	60
2	0,7	0,6	0,5	0,6	46	48	47	47
3	1,7	1,6	1,8	1,7	55	56	54	55
4	0,4	0,5	0,6	0,5	36	37	47	40
5	1	0,9	0,8	0,9	45	44	49	46
6	0,3	0,3	0,3	0,3	34	29	27	30

7	1,4	1,5	1,9	1,6	51	51	48	50
8	0,9	0,7	1,1	0,9	38	40	30	36
9	1,2	1,3	1,7	1,4	60	61	29	50
10	0,8	0,5	0,5	0,6	47	50	47	48
11	1,6	1,4	1,8	1,6	44	45	49	46
12	1,2	0,9	0,6	0,9	44	42	46	44
13	1,4	1,5	1,6	1,5	33	37	35	35
14	0,6	0,6	0,3	0,5	22	24	29	25
15	2,1	2	1,9	2	38	39	37	38
16	0,8	0,7	0,9	0,8	31	32	27	30
17	1,5	1,7	1,9	1,7	57	60	63	60
18	0,7	0,6	0,8	0,7	55	58	52	55
19	1,2	1,2	1,5	1,3	60	57	69	62
20	1,5	1,6	1,1	1,4	59	63	64	62
21	1,3	1,1	1,2	1,2	64	66	62	64
22	1,8	1,7	1,3	1,6	57	58	59	58
23	1	1,2	1,1	1,1	62	59	59	60
24	1,2	1,1	1,6	1,3	48	45	48	47

$$\begin{aligned}
y_1 = & 1.3458 + 0.4778 \cdot x_1 - 0.1278 \cdot x_2 + 0.0222 \cdot x_3 - 0.0556 \cdot x_4 - \\
& - 0.1458 \cdot x_1^2 + 0.0042 \cdot x_2^2 + 0.0542 \cdot x_3^2 - 0.1458 \cdot x_4^2 + \\
& + 0 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0.0375 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0.0125 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0.125 \cdot x_2 \cdot x_3 + \\
& + 0.025 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0.0875 \cdot x_3 \cdot x_4
\end{aligned} \tag{4.1}$$

$$\begin{aligned}
y_2 = & 63.8333 + 4.7222 \cdot x_1 + 0.1111 \cdot x_2 + 5.8889 \cdot x_3 + 3.3889 \cdot x_4 - \\
& - 6.3333 \cdot x_1^2 - 1.8333 \cdot x_2^2 - 2.8333 \cdot x_3^2 - 10.3333 \cdot x_4^2 + \\
& + 0.125 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1 \cdot x_1 \cdot x_3 + 2.25 \cdot x_1 \cdot x_4 + 2.375 \cdot x_2 \cdot x_3 + \\
& + 0.125 \cdot x_2 \cdot x_4 - 1.25 \cdot x_3 \cdot x_4
\end{aligned} \tag{4.2}$$

Результати статистичного аналізу рівнянь регресії показали, що більшість коефіцієнтів рівнянь є значимими, і отримані рівняння адекватно описують процес з 95% вірогідністю.

Для використання рівнянь (4.1), (4.2) в якості розрахункових формул та інтерпретації результатів дослідів необхідно, як було відмічено вище, провести їх декодування.

Після декодування отримані наступні рівняння:

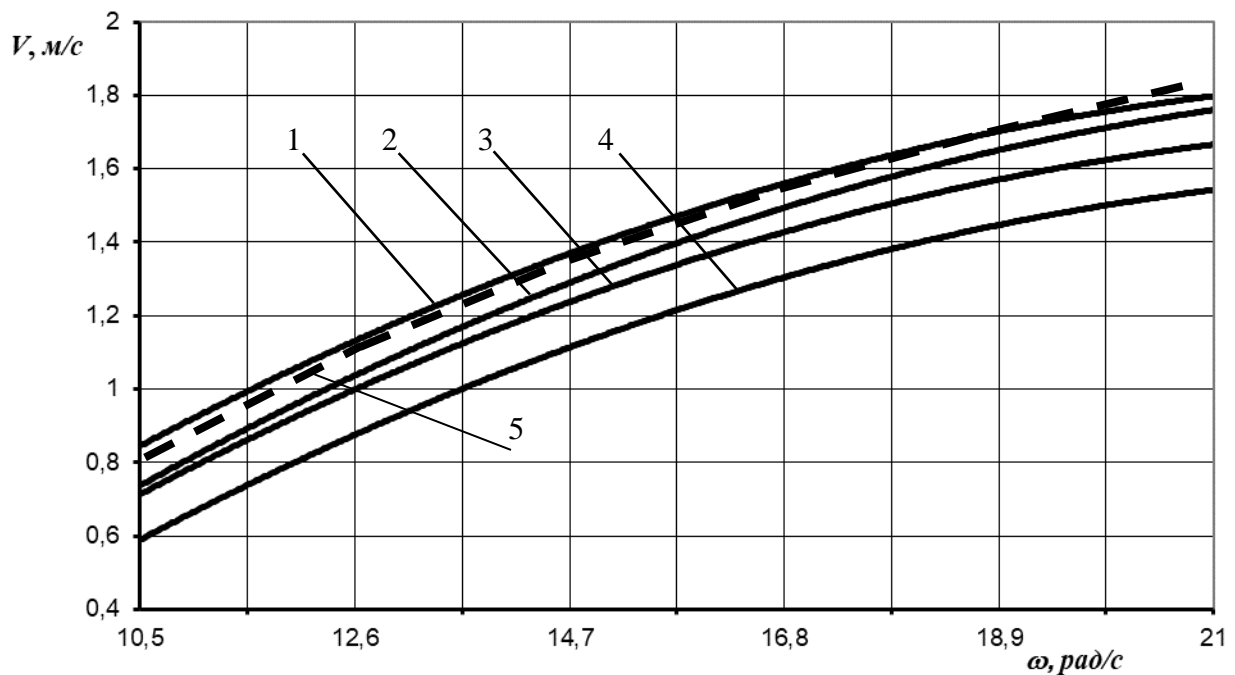
$$V = -1.1260 + 0.2497\omega - 6.1222l - 0.0214\psi + 6.3889d - \\ - 0.0054\omega^2 + 1.6667l^2 + 0.0001\psi^2 - 58.3333d^2 + \quad (4.3) \\ + 0.003\omega\psi + 0.0481\omega d + 0.1111l\psi + 10ld + 0.0778\psi d,$$

$$\tau = -48.4679 + 7.6521\omega + 16.0075l + 0.6422\psi + 698.4124d - \\ - 0.2342\omega^2 - 733.3333l^2 - 0.0056\psi^2 - 4133.3333d^2 + \quad (4.4) \\ + 0.4808\omega l - 0.0086\omega\psi + 8.6538\omega d + 2.1111l\psi + 50ld - \\ - 1.1111\psi d$$

Для зручності інтерпретації отриманих рівнянь (4.3) та (4.4) був використаний графічний метод представлення залежності зміни поступальної швидкості руху коренеплодів по поверхні очищувача V та відсотку часу коли коренеплоди контактують з робочими поверхнями очищувача τ від керованих факторів процесу – кутової швидкості обертання кулачків ω , відстані між горизонтальними площинами, що проходять крізь осі обертання суміжних секцій l , кута нахилу обмежуючої поверхні (відбійника) до площини робочих органів очищувача ψ та діаметру коренеплодів d .

При підвищенні кутової швидкості кулачків від $10,5\text{rad/c}$ до 21rad/c швидкість переміщення коренеплодів зростає в 2,11...2,63 рази, причому, при зміні кутової швидкості кулачків в межах $10,5\text{...}16,8\text{rad/c}$

спостерігається більш інтенсивне зростання поступальної швидкості переміщення коренеплодів, ніж при зростанні кутової швидкості кулачків в межах $16,8...21 \text{ рад/с}$. Зміна інших факторів не впливає суттєво на характер зміни поступальної швидкості коренеплодів в межах розглянутої кутової швидкості кулачків. На зміну абсолютного значення їх поступальної



швидкості найбільший вплив має розташування суміжних секцій кулачків.

Рисунок 4.3 - Залежність швидкості руху коренеплодів від кутової швидкості кулачків. Криві відповідають: 1 - $l = 0 \text{ м}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 2 - $l = 0,05 \text{ м}$, $\psi = 45^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 3 - $l = 0,05 \text{ м}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 4 - $l = 0,1 \text{ м}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 5 - теоретична залежність

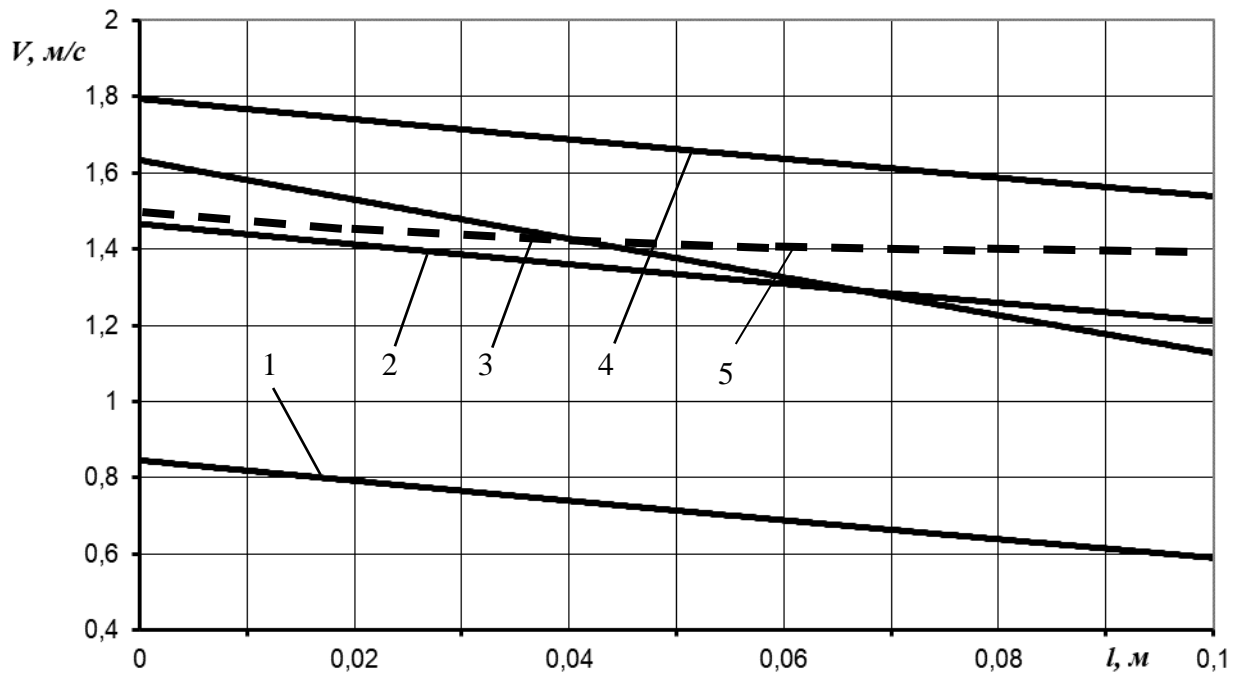


Рисунок 4.4 - Залежність швидкості руху коренеплодів від відстані по вертикалі між суміжними секціями. Криві відповідають: 1 - $\omega = 10,5 \text{ рад/с}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 2 - $\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 3 - $\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $\psi = 0^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 4 - $\omega = 20,9 \text{ рад/с}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09 \text{ м}$; 5 - теоретична залежність

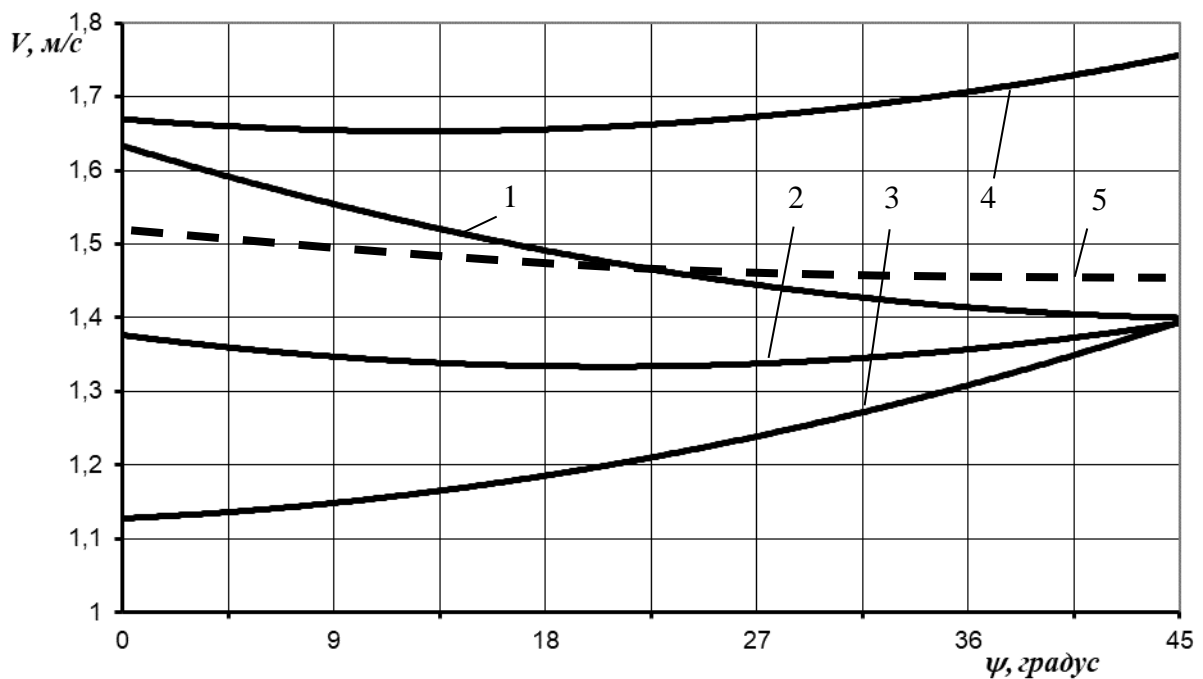


Рисунок 4.5 - Залежність швидкості руху коренеплодів від куту встановлення робочої поверхні обмежуючої площини (відбійника). Криві відповідають: 1 - $\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $l = 0 \text{ м}$, $d = 0,09 \text{ м}$; 2-

$\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $l = 0,05 \text{ м}$, $d = 0,09 \text{ м}$; 3 - $\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $l = 0,1 \text{ м}$, $d = 0,09 \text{ м}$; 4 - $\omega = 20,9 \text{ рад/с}$, $l = 0,05 \text{ м}$, $d = 0,09 \text{ м}$; 5 – теоретична залежність

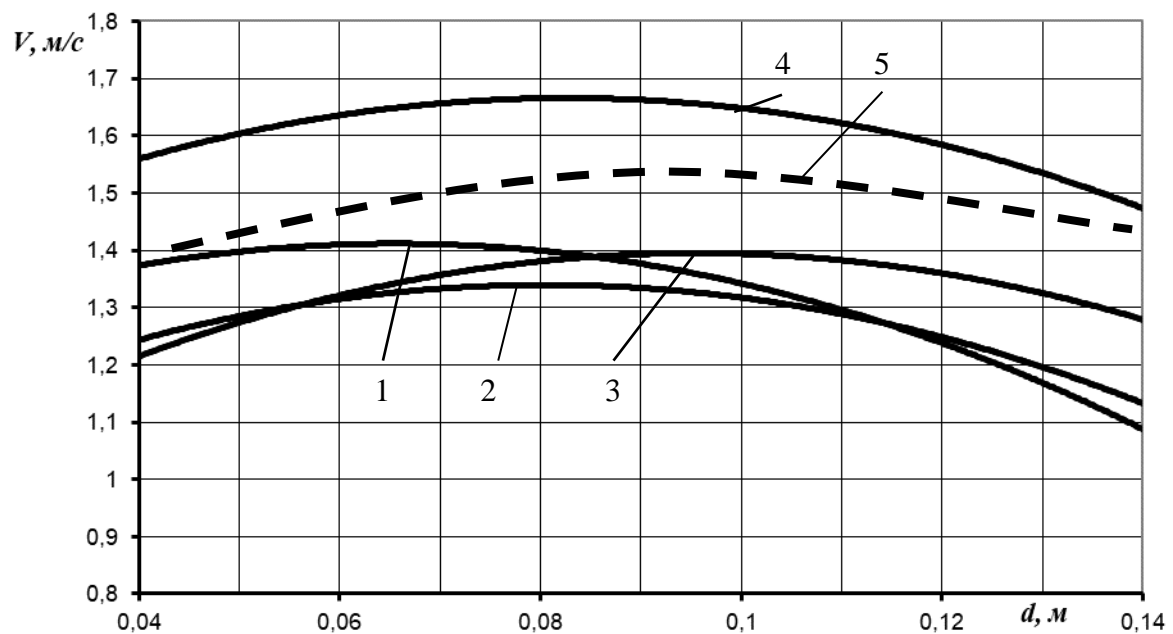


Рисунок 4.6 - Залежність швидкості руху коренеплодів від їх діаметру. Криві відповідають: 1 - $\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $l = 0,05 \text{ м}$, $\psi = 0^\circ$; 2 - $\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $l = 0,05 \text{ м}$, $\psi = 22,5^\circ$; 3 - $\omega = 15,7 \text{ рад/с}$, $l = 0,05 \text{ м}$, $\psi = 45^\circ$; 4 - $\omega = 20,9 \text{ рад/с}$, $l = 0,05 \text{ м}$, $\psi = 22,5^\circ$; 5 – теоретична залежність

Розглянувши залежності швидкості переміщення коренеплодів по конвейеру-очищувачу від кутової швидкості обертання секцій кулачків, відстані по вертикалі між валами суміжних секцій конвейера-очищувача, кута нахилу робочої поверхні обмежуючої площини (відбійника) до поверхні конвейера-очищувача та діаметру коренеплодів, слід зробити наступний висновок, що для отримання максимальної поступальної швидкості переміщення коренеплодів по конвейеру-очищувачу його параметри та режими роботи повинні знаходитись в наступних межах: кутова швидкість обертання секцій $\omega = 18,9 \dots 21 \text{ рад/с}$, відстань по вертикалі між осями суміжних секцій $l = 0 \dots 0,05 \text{ м}$, кут нахилу робочої поверхні обмежуючої площини до площини конвейера-очищувача $\psi = 36 \dots 45^\circ$,

найбільш ефективно будуть переміщуватись коренеплоди з діаметром $d=0,06\dots0,1\text{м}$.

Вивчення залежності відсотку часу коли коренеплоди контактують з робочими поверхнями від кутової швидкості кулачків $\tau = f(\omega)$ показує, що із збільшенням кутової швидкості в межах $10,5\dots16,8 \text{ рад/с}$ цей відсоток зростає в межах $1,12\dots1,26$ рази, а при підвищенні кутової швидкості кулачків понад $16,8 \text{ рад/с}$ відсоток часу коли коренеплоди знаходяться в контакті з робочими поверхнями починає поволі зменшуватись. Інші фактори не впливають на характер зміни τ від ω . Найбільший вплив на час знаходження коренеплодів в контакті з робочими поверхнями конвейєра-очищувача має кут встановлення обмежуючої поверхні. Так при куту $\psi=0^\circ$ максимальний час контакту коренеплодів з робочими поверхнями конвейєра-очищувача за час їх руху буде становити $56,2\%$ (крива 1), тоді як при $\psi=45^\circ$ ця величина буде становити $67,4\%$ (крива 4).

Аналіз залежності відсотку часу коли коренеплоди контактують з робочими поверхнями від відстані по вертикалі між осями суміжних секцій очищувача $\tau = f(l)$ показує, що із збільшенням відстані по вертикалі між осями суміжних секцій очищувача від 0м до $0,1\text{м}$ час перебування коренеплодів в контакті з робочими поверхнями очищувача змінюється в межах $1,03\dots1,09$ рази. На характер зміни відсотку часу коли коренеплоди контактують з робочими поверхнями при зміні відстані по вертикалі між осями суміжних секцій очищувача, найбільш суттєво впливає такий фіксований фактор, як кут нахилу обмежуючої поверхні. При куті нахилу обмежуючої поверхні що дорівнює 0° спостерігається зменшення часу контакту коренеплодів з робочими

поверхнями очищувача при збільшенні відстані по вертикалі між осями суміжних секцій (крива 1). В тому випадку коли кут нахилу обмежуючої поверхні дорівнює $22,5^\circ$ та збільшенні вертикальної відстані між суміжними секціями від 0м до 0,05м час контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача дещо збільшується (в 1,03 рази від початкового значення). При цьому зміна вертикальної відстані між суміжними секціями від 0м до 0,05м приводить до збільшення часу контакту, а при подальшому збільшенні відстані від 0,05м до 0,1м час контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача починає зменшуватись (2 та 3). Коли кут нахилу обмежуючої поверхні дорівнює 45° спостерігається збільшення часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача в 1,09 рази при збільшенні відстані по вертикалі між осями суміжних секцій в межах від 0м до 0,08м. Коли відстань по вертикалі між осями суміжних секцій стає більшою 0,08м і до 0,1м час контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача залишається практично незмінним (крива 4).

Вивчення характеру залежності відсотку часу коли коренеплоди контактують з робочими поверхнями від кута нахилу робочої поверхні обмежуючої площини показало, що час контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача збільшується (залежність $\tau = f(\psi)$) по мірі збільшення цього кута. При збільшенні кута нахилу обмежуючої площини від 0° до 45° час контакту коренеплодів з робочими поверхнями збільшується в 1,16...1,31 рази. При цьому найбільш інтенсивне зростання часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями конвейера-очищувача спостерігається при максимальній вертикальній відстані між осями суміжних секцій (крива 2). Інші

фактори на мають суттєвого впливу на характер зміни показника τ .

Аналіз залежності відсотку часу коли коренеплоди контактують з робочими поверхнями від діаметра коренеплодів $\tau = f(d)$ (рис. 4.10) показує, що із збільшенням діаметра коренеплоду в межах 0,04...0,1м час контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача збільшується в 1,22...1,37 рази. При зміні діаметра коренеплодів від 0,1м до 0,14м час контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача починає зменшуватись в 1,12...1,2 рази. При зміні інших факторів можна відмітити, що вони суттєво не впливають на характер зміни залежності відсотку часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями при русі коренеплодів різного діаметру. Проте на абсолютне значення цього показника найбільш суттєво впливає кут встановлення обмежуючої площини ψ . Так при $\psi=22,5^\circ$ максимальне значення для τ буде становити 52,6%, а для $\psi=45^\circ$ максимальний відсоток часу контакту коренеплодів з робочими поверхнями очищувача буде становити 66,9%.

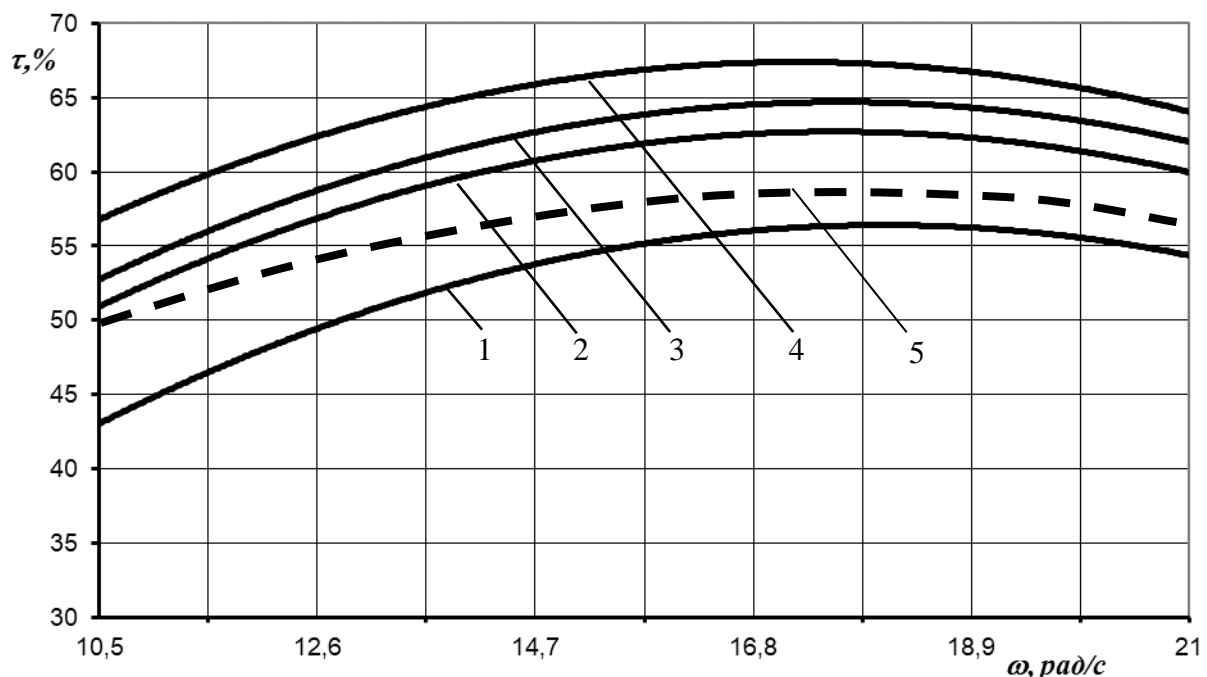


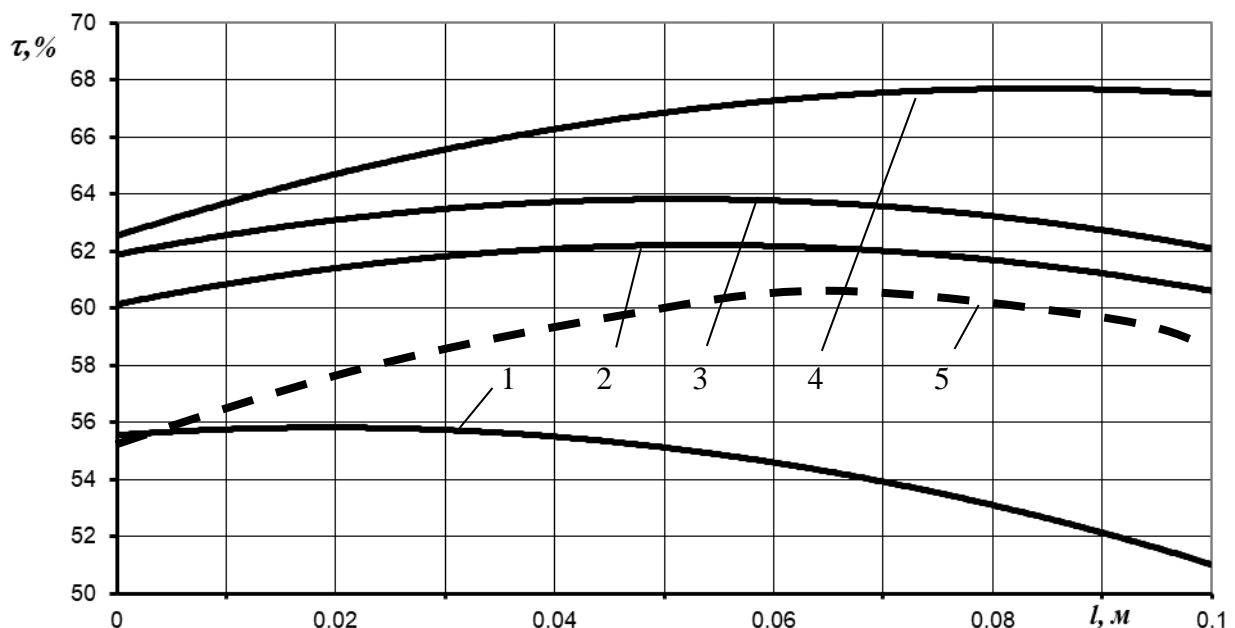
Рисунок 4.7 - Залежність впливу кутової швидкості кулачків на час контакту коренеплодів з робочими поверхнями конвейєра-очищувача. Криві відповідають: 1 - $l = 0,05\text{м}$, $\psi = 0^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 2 - $l = 0\text{м}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 3 - $l = 0,05\text{м}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 4 - $l = 0,05\text{м}$, $\psi = 45^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 5 - теоретична залежність

Рисунок 4.8 - Залежність впливу вертикальної відстані між суміжними секціями конвейєра-очищувача на час контакту коренеплодів з робочими поверхнями. Криві відповідають: 1 - $\omega = 15,7\text{рад/с}$, $\psi = 0^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 2 - $\omega = 20,9\text{рад/с}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 3 - $\omega = 15,7\text{рад/с}$, $\psi = 22,5^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 4 - $\omega = 15,7\text{рад/с}$, $\psi = 45^\circ$, $d = 0,09\text{м}$; 5 - теоретична залежність

По результатам проведеного експерименту побудовано графік залежності продуктивності кулачкового конвейєра-очищувача від кутової швидкості обертання секцій кулачків при встановленні обмежуючої поверхні.

Як видно з даного графіку експериментально отримана залежність підтверджує теоретичні розрахунки.

Проаналізувавши залежності відсотку часу контакту коренеплодів



з робочими поверхнями конвейєра-очищувача від різних параметрів можна зробити наступний висновок, що з метою отримання максимального часу взаємодії коренеплодів із робочими поверхнями конвейєра-очищувача, його параметри та режими роботи повинні

знаходиться в таких межах: швидкість обертання секцій $\omega = 15 \dots 19 \text{ рад/с}$, відстань по вертикалі між осями суміжних секцій $l = 0,04 \dots 0,09 \text{ м}$, кут нахилу робочої поверхні обмежуючої площини до площини конвейєра-очищувача $\psi = 36 \dots 45^\circ$, найбільш ефективно будуть переміщуватись коренеплоди з діаметром $d = 0,07 \dots 0,12 \text{ м}$.

Деяке зменшення продуктивності конвейєра-очищувача отримане під час експериментальних досліджень в порівнянні з теоретичним значенням можна пояснити тим, що в теоретичних співвідношеннях не враховувались тертя коренеплодів і робочих органів (кулачків, та обмежуючої поверхні).

Висновки

1. Існуючі кулачкові очищувачі не в повному обсязі задовольняють вимогам, що пред'являються до них по очищенню буряків від ґрунту і мають порівняно незначну продуктивність, що негативно впливає на термін збирання урожаю в обмежений осінній період.

2. Вдосконалений технологічний процес і підвищена продуктивність кулачкового очищувача без зміни його основних габаритів і збереження якості виконання технологічного процесу способом встановлення над очищаючими кулачками обмежувача вильоту коренеплодів.

3. Розроблена конструкція нового кулачкового пристрою для транспортування та очищення коренеплодів дозволила при дотриманні агротехнічних вимог відокремлення ґрунту з мінімальним пошкодженням коренеплодів майже в 1,3 рази підвищити його продуктивність.

4. Проведеними теоретичними дослідженнями з використанням сучасних інформаційних технологій встановлено, що продуктивність кулачкового конвейєра-очищувача при наявності обмежуючої поверхні можна підвищувати при збільшенні кутової швидкості кулачків до 20 рад/с з дотриманням агротехнічних вимог.

5. Розроблена математична модель взаємодії коренеплодів з лопатями кулачків і обмежуючою поверхнею при переході від детермінованого до стохастичного опису руху коренеплодів, що пов'язує основні параметри очищувача з його технологічними показниками.

6. Раціональна відстань обмежуючої поверхні від крайніх точок обертання кулачків повинна дорівнювати максимальному діаметру коренеплодів в робочій зоні очищувача.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Збирання коренеплодів (буряків, моркви, картоплі тощо) належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки пов'язане з використанням самохідних, причіпних і навісних машин, роботою персоналу в полі, на транспортних засобах та пунктах приймання врожаю. Тому дотримання вимог охорони праці є обов'язковою умовою забезпечення безпеки працівників і запобігання виробничому травматизму.

1. Загальні вимоги безпеки

- До роботи допускаються лише особи, які пройшли медичний огляд, інструктаж з охорони праці, перевірку знань правил безпечного виконання робіт та мають відповідну кваліфікацію.

- Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту (рукавиці, захисні окуляри, головні убори, сигнальні жилети).

- Перед початком робіт необхідно перевірити справність машин, агрегатів і знарядь, а також наявність огорожувальних і запобіжних пристроїв.

- Забороняється перебування сторонніх осіб у зоні роботи збиральних агрегатів і транспортних засобів.

2. Вимоги безпеки під час роботи з технікою

- Перед пуском двигуна машиніста слід переконатися у відсутності людей поблизу рухомих частин.

- Під час роботи машин заборонено очищати робочі органи, регулювати або ремонтувати обладнання – ці операції виконуються лише після повної зупинки двигуна.

- Усі зчіпні пристрої мають бути справними, а агрегати – надійно з'єднані з трактором.

- При русі агрегатів у темну пору доби необхідно використовувати освітлювальні та сигнальні прилади.

3. Вимоги безпеки під час ручних робіт

- При ручному збиранні коренеплодів слід застосовувати лише справний інвентар (лопати, вила, ножі) з міцно закріпленими ручками.

- Заборонено перебувати перед або позаду транспортних засобів під час навантаження або розвантаження продукції.

- Роботи мають виконуватись у зручному положенні тіла, з періодичним відпочинком для запобігання перевтомі.

4. Вимоги безпеки під час транспортування і зберігання врожаю

- Транспортні засоби повинні бути технічно справними, обладнані світловою сигналізацією та пристроями для закріплення вантажу.

- Під час руху заборонено перебувати на кузові або стояти на бортах транспортних засобів.

- При розвантаженні коренеплодів необхідно уникати перебування під піднятим кузовом або у зоні дії гідравлічних механізмів.

5. Протипожежна та електробезпека

- Забороняється паління та використання відкритого вогню поблизу машин, які працюють на паливі.

- Усі електричні установки мають бути заземлені, а електроінструмент – справним.

- Місце стоянки техніки слід обладнати первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, лопати).

6. Дії у разі нештатних ситуацій

- При виникненні несправностей або загрози травмування роботу необхідно негайно припинити, зупинити техніку і повідомити керівника робіт.

- У разі нещасного випадку слід надати домедичну допомогу постраждалому і викликати медичних працівників.

Особливості вимог з охорони праці при збиранні цукрових буряків

Збирання цукрових буряків супроводжується використанням складних збиральних агрегатів (бурякозбиральних комбайнів, копачів, гичкозрізувачів, навантажувачів, транспортних засобів), тому основна увага приділяється

безпеці при їх експлуатації, технічному обслуговуванні та організації робіт у полі.

1. Підготовка до роботи

- Перед виходом у поле механізатор зобов'язаний провести ретельний технічний огляд бурякозбиральної техніки: перевірити стан ріжучих і копальних органів, гідросистеми, гальм, рульового керування, світлової сигналізації.

- Не допускається експлуатація машин із несправними робочими органами, витоком палива або мастила, відсутністю захисних кожухів і запобіжних пристроїв.

- Під час регулювання копальних лемешів, очисних валків та транспортерів комбайна двигун повинен бути зупинений, а ключ запалювання – вийнятий.

- Робоче місце оператора має бути очищене від сторонніх предметів, а сидіння та педалі – у справному стані.

2. Безпечна організація робіт у полі

- До роботи на бурякозбиральних комбайнах допускаються лише оператори, які пройшли спеціальне навчання та інструктаж.

- Робота комбайна здійснюється тільки на рівній, попередньо очищеній від каміння та сторонніх предметів ділянці.

- Забороняється присутність людей у радіусі 10 м від працюючого комбайна, особливо поблизу копальних органів, гичкозрізувачів і транспортерів.

- При русі агрегату заднім ходом оператор зобов'язаний переконатися у відсутності людей або перешкод позаду машини.

3. Безпека під час роботи з гичкозрізувальними та копальними апаратами

- При очищенні ріжучих механізмів від налиплого ґрунту або бурякової маси необхідно повністю зупинити двигун і зачекати, поки рухомі частини припинять обертання.

- Забороняється торкатись руками транспортерів або очисних барабанів під час їх роботи.

- Для видалення залишків гички або бруду слід користуватися спеціальними дерев'яними або металевими шкребками.

4. Безпека при навантаженні та транспортуванні буряків

- Навантаження буряків у транспортні засоби повинно проводитися на рівних майданчиках, із дотриманням безпечної відстані між технікою.

- Заборонено стояти на платформі транспортного засобу під час його заповнення буряками.

- Водій транспортного засобу має забезпечити надійне закріплення вантажу, не перевищуючи допустиму масу.

- Під час руху колон техніки в темний час доби на комбайнах і тракторах мають бути ввімкнені фари, габаритні вогні та сигнальні ліхтарі.

5. Робота на пунктах приймання та зберігання буряків

- Під час розвантаження буряків біля кагатів необхідно дотримуватись відстані не менше 3 м від рухомих частин транспортерів і перевантажувальних механізмів.

- Кагати буряків формуються у відповідності до встановлених технологічних норм, із дотриманням безпечної висоти укладання.

- Заборонено перебувати під піднятим кузовом автомобіля або в зоні дії гідравлічних циліндрів під час розвантаження.

- Роботи з очищення буряків на приймальних пунктах повинні виконуватись із застосуванням засобів індивідуального захисту: гумових рукавиць, фартухів, чобіт.

6. Додаткові вимоги безпеки

- При тривалій роботі слід робити регламентовані перерви для відпочинку, особливо в умовах високої запиленості або шуму.

- Не допускається вживання алкоголю або медикаментів, що знижують увагу під час роботи з технікою.

- У кожній бригаді має бути аптечка першої допомоги, вогнегасник та засоби зв'язку.
- Перед початком зміни керівник робіт повинен провести цільовий інструктаж, нагадати правила поведінки у разі аварійних ситуацій, пожежі або поломки техніки.

Висновки

Дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки під час збирання коренеплодів, є ключовою умовою забезпечення безаварійної роботи технічних засобів, збереження здоров'я працівників і підвищення ефективності виробничого процесу. Аналіз технологічних операцій показує, що основні ризики травмування пов'язані з експлуатацією бурякозбиральних комбайнів, роботою з ріжучими та копальними органами, а також із транспортними процесами. Висока технічна насиченість збиральних машин потребує суворого дотримання правил експлуатації, регулярного технічного обслуговування, своєчасного усунення несправностей і наявності кваліфікованого персоналу. Безпечна організація робіт передбачає проведення інструктажів, використання засобів індивідуального захисту, встановлення чіткої взаємодії між операторами машин, водіями транспортних засобів та допоміжним персоналом.

Особливе значення має контроль за технічним станом бурякозбиральних агрегатів, правильним регулюванням робочих органів, дотриманням безпечних відстаней між машинами, а також організацією безпечного завантаження, транспортування і зберігання продукції. Виконання протипожежних вимог, наявність первинних засобів пожежогасіння та аптечок першої допомоги значно знижують ризики виникнення аварійних ситуацій.

Отже, система заходів з охорони праці при збиранні цукрових буряків має комплексний характер і охоплює технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та профілактичні аспекти.

6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА

Впровадження додаткових робочих органів і вузлів у коренеплодозбиральну техніку має на меті підвищити якість збирання, зменшити втрати продукції в полі та оптимізувати витрати на експлуатацію. Одним із таких рішень для бурякозбиральних машин є конвеєр-очисник – пристрій, що підвищує ефективність транспортування коренеплодів у бункер, знижує кількість сторонніх домішок та питомі втрати коренеплодів.

Метою цього документу є розробка методики та виконання прикладного розрахунку економічної ефективності впровадження конвеєра-очисника на конкретній моделі бурякозбиральної машини – КС-6Б. Розрахунок включає вихідні припущення, покрокові економічні обчислення, аналіз чутливості до ключових параметрів та висновки з практичними рекомендаціями.

Документ розраховано на фахівців агротехнічних відділів, інженерів з механізації та економістів сільськогосподарських підприємств.

- Модель машини: КС-6Б
- Робочі години за сезон – 300 год
- Продуктивність до модернізації – 8,0 т/год (або 2400 т/сезон)
- Підвищення продуктивності після встановлення конвеєра – +12% (8,96 т/год)
- Частка втрат коренеплодів до модернізації – 8%, після – 3%
- Ціна реалізації буряків – 1 200 грн/т
- Вартість установки – 250 000 грн
- Термін служби – 8 років
- Річні експлуатаційні витрати (ТО) – 20 000 грн
- Зростання витрат пального – 10 000 грн/рік
- Норма дисконту (r) – 10%

1. Загальний обсяг збирання до модернізації:

$$M_0 = P_0 \times H \quad (6.1)$$

M_0 – загальна маса зібраних коренеплодів до модернізації, т;

P_0 – продуктивність машини до модернізації, т/год;

H – кількість відпрацьованих годин за сезон, год

2. Втрати до і після модернізації:

$$L_{до} = M_0 \times \ell_{до} \quad (6.2)$$

$$L_{після} = M_0 \times \ell_{після} \quad (6.3)$$

$L_{до}$, $L_{після}$ – втрати до і після модернізації, т;

$\ell_{до}$, $\ell_{після}$ – відсоток втрат у частках одиниці.

3. Зменшення втрат (економія маси):

$$\Delta M_{втрат} = L_{до} - L_{після} \quad (6.4)$$

$\Delta M_{втрат}$ – збережена маса коренеплодів після модернізації, т.

4. Збільшення продуктивності:

$$\Delta M_{продукт} = (P_1 - P_0) \times H \quad (6.5)$$

P_1 – продуктивність машини після модернізації, т/год.

5. Річний ефект від зменшення втрат:

$$V_{втрат} = \Delta M_{втрат} \times C_t \quad (6.6)$$

C_t – ціна реалізації 1 т коренеплодів, грн/т.

6. Річний ефект від підвищення продуктивності:

$$V_{продукт} = \Delta M_{продукт} \times C_t \quad (6.7)$$

7. Загальний валовий ефект:

$$V_{вал} = V_{втрат} + V_{продукт} \quad (6.8)$$

8. Річні витрати на впровадження:

$$A_{річн} = (K_{вст} / T) + O_{річн} \quad (6.9)$$

$K_{вст}$ – капітальні вкладення (вартість установки), грн;

T – термін служби, років;

$O_{річн}$ – річні експлуатаційні витрати (ТО, пальне), грн.

9. Чистий річний економічний ефект:

$$N = V_{вал} - A_{річн} \quad (6.10)$$

10. Період окупності інвестицій:

$$PP = K_{вст} / N$$

PP – період окупності, років.

11. Чиста приведена вартість (NPV):

$$NPV = -K_{вст} + \sum (N / (1 + r)^t) \quad (6.11)$$

r – норма дисконту (ставка прибутковості), частки одиниці;

t – номер року експлуатації.

Річний ефект від зменшення втрат визначають за формулою:

$$В_{втр} = \Delta M_{втр} \times C_t, \quad (6.12)$$

Обсяги збирання

$$P_0 = 8,0, P_{-0} = 8,0, P_0 = 8,0 \text{ т/год}, N = 300, N = 300 \text{ год}$$

$$M_0 = 8,0 \times 300 = 2400 \text{ т/сезон}$$

Втрати

$$L_{до} = 2400 \times 0,08 = 192 \text{ т}$$

$$L_{після} = 2400 \times 0,03 = 72 \text{ т}$$

$$\Delta M_{втр} = 192 - 72 = 120 \text{ т/рік}$$

Продуктивність

$$P_1 = 8 \times 1,12 = 8,96 \text{ т/год}$$

$$\Delta M_{продукт} = (8,96 - 8,0) \times 300 = 288 \text{ т/рік}$$

Річний ефект

$$В_{втр} = 120 \times 1200 = 144000 \text{ грн}$$

$$В_{продукт} = 288 \times 1200 = 345600 \text{ грн}$$

$$В_{вал} = 489600 \text{ грн}$$

Витрати

$$\text{Амортизація: } 250000 / 8 = 31250 \text{ грн}$$

$$\text{ТО: } 20\,000 \text{ грн}$$

$$\text{Пальне: } 10\,000 \text{ грн}$$

$$\text{Арічн} = 61250 \text{ грн}$$

Чистий ефект

- Консервативний: $144000 - 61250 = 82750 \text{ грн}$

- Оптимістичний: $489600 - 61250 = 428350 \text{ грн}$

Таблиця 5.1 – показники до і після модернізації

Показник	До модернізації	Після	Різниця
Продуктивність, т/год	8,00	8,96	+12%
Втрати, %	8	3	-5 п.п.
Втрати, т/сезон	192	72	-120
Додатковий збір, т	—	288	—
Виграш від втрат, грн	—	144 000	—
Виграш від продуктивності, грн	—	345 600	—
Річні витрати, грн	—	61 250	—
Чистий ефект (конс.), грн	—	82 750	—
Чистий ефект (опт.), грн	—	428 350	—

Проект залишається прибутковим у межах реальних коливань ринку.

Отже, запропонована модернізація є прикладом ефективного поєднання технічних інновацій і економічного підходу, що дозволяє підвищити продуктивність сільськогосподарського виробництва, поліпшити якість продукції та забезпечити стаке зростання прибутковості підприємств бурякосійної галузі.

Висновки

Проведений техніко-економічний аналіз упровадження конвеєра-очисника на бурякозбиральній машині КС-6Б показав, що застосування модернізованого вузла має суттєве економічне та виробниче значення для сільськогосподарських підприємств, що займаються вирощуванням і збиранням цукрових буряків.

Передусім, модернізація конструкції машини за рахунок встановлення конвеєра-очисника забезпечує зменшення втрат коренеплодів у полі з 8 % до 3 %, що в середньому становить економію близько 120 т буряків на сезон. Цей результат безпосередньо впливає на підвищення виходу товарної продукції та прибутковості виробництва, оскільки збережені коренеплоди - це додатковий

ресурс, який може бути реалізований без збільшення площі посівів і витрат на вирощування.

Крім того, у результаті модернізації продуктивність бурякозбиральної машини зростає приблизно на 12 %, що забезпечує додаткове збирання до 288 т коренеплодів на сезон. Це дозволяє оптимізувати робочий час і скоротити період польових робіт, зменшити вплив несприятливих погодних умов, а також ефективніше використовувати машинно-тракторний парк.

Економічні розрахунки показали, що річний валовий ефект від упровадження конвеєра-очисника становить 489,6 тис. грн, при цьому річні витрати (амортизація, технічне обслуговування, додаткове пальне) - близько 61,25 тис. грн. Таким чином, чистий економічний ефект у базовому (оптимістичному) сценарії досягає 428,35 тис. грн на рік, що забезпечує повну окупність проєкту менш ніж за один рік.

У консервативному варіанті, коли враховується лише ефект від зменшення втрат, період окупності становить близько 3 років, що також є економічно прийнятним показником для аграрного виробництва. Додатково розрахована чиста приведена вартість (NPV) для оптимістичного сценарію має позитивне значення понад 2 млн грн, що підтверджує інвестиційну доцільність проєкту навіть при застосуванні ставки дисконту 10 %.

Важливою перевагою впровадження конвеєра-очисника є не лише економічна вигода, але й якісні зміни у технологічному процесі. Модернізований вузол забезпечує більш повне очищення коренеплодів від ґрунтових домішок, зменшує навантаження на подальші операції транспортування та переробки, підвищує рівномірність подачі продукції в бункер. Це сприяє зниженню трудомісткості робіт, зменшенню простоїв техніки та покращенню умов праці операторів машин.

Крім того, конвеєр-очисник сприяє підвищенню довговічності основних робочих органів машини завдяки рівномірнішому розподілу потоку коренеплодів і зниженню ударних навантажень.

ВИСНОВКИ ЗАГАЛЬНІ

1. На основі вивченого стану проблеми можна зробити висновки, що конвейєри-очищувачі коренеплодів від ґрунту, які відносяться до основних робочих органів коренезбиральних машин не в повній мірі задовольняють вимогам, що пред'являються до них, мають низьку спроможність відділення грудок, пошкоджують значну кількість коренеплодів, не дієздатні на твердих грудкуватих ґрунтах і на ґрунтах з підвищеною кількістю бур'янів. Недостатньо очищені коренеплоди перевозяться разом з ґрунтом до місця зберігання, що вимагає додаткового використання транспортних засобів на період збирання врожаю. Крім того, з полів вивозиться самий родючий верхній шар ґрунту, що можна назвати механічною ерозією ґрунту. Застосовувані на коренезбиральних машинах конвейєри-очищувачі травмують коренеплоди (до 40%), що перешкоджає їхньому наступному тривалому зберіганню.

2. Розроблена математична модель роботи кулачкового конвейєра-очищувача, за допомогою якої встановлені максимальні режимні параметри роботи (швидкість руху коренеплодів, кількість активних робочих зон, конфігурація, розташування та параметри відбивних площин). Збільшення кутової швидкості кулачків дозволяє підвищити продуктивність кулачкового конвеєра-очисника. Виявлена залежність продуктивності та якості обробітку від основних параметрів моделі, що є основою для розробки методики інженерного розрахунку очищувача.

3. Приведена програма досліджень, виконано опис експериментальної установки. Описана методика визначення продуктивності кулачкового конвеєра-очищувача. Розкриті питання математичного планування експерименту: вибір критеріїв оптимізації, вибір факторів та інтервалів варіювання, вибір плану експерименту, статистичний аналіз рівняння регресії, перевірка моделі на адекватність.

4. Розроблена конструкція нового кулачкового пристрою для транспортування та очищення коренеплодів дозволила при дотриманні

агротехнічних вимог відокремлення ґрунту з мінімальним пошкодженням коренеплодів майже в 1,3 рази підвищити його продуктивність. Проведеними теоретичними дослідженнями з використанням сучасних інформаційних технологій встановлено, що продуктивність кулачкового конвейєра-очищувача при наявності обмежуючої поверхні можна підвищувати при збільшенні кутової швидкості кулачків до 20 рад/с з дотриманням агротехнічних вимог. Розроблена математична модель взаємодії коренеплодів з лопатями кулачків і обмежуючою поверхнею при переході від детермінованого до стохастичного опису руху коренеплодів, що пов'язує основні параметри очищувача з його технологічними показниками. Раціональна відстань обмежуючої поверхні від крайніх точок обертання кулачків повинна дорівнювати максимальному діаметру коренеплодів в робочій зоні очищувача.

5. Дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки під час збирання коренеплодів, є ключовою умовою забезпечення безаварійної роботи технічних засобів, збереження здоров'я працівників і підвищення ефективності виробничого процесу. Аналіз технологічних операцій показує, що основні ризики травмування пов'язані з експлуатацією бурякозбиральних комбайнів, роботою з ріжучими та копальними органами, а також із транспортними процесами. Висока технічна насиченість збиральних машин потребує суворого дотримання правил експлуатації, регулярного технічного обслуговування, своєчасного усунення несправностей і наявності кваліфікованого персоналу. Безпечна організація робіт передбачає проведення інструктажів, використання засобів індивідуального захисту, встановлення чіткої взаємодії між операторами машин, водіями транспортних засобів та допоміжним персоналом.

6. Проведений техніко-економічний аналіз упровадження конвеєра-очисника на бурякозбиральній машині КС-6Б показав, що застосування модернізованого вузла має суттєве економічне та виробниче значення для сільськогосподарських підприємств, що займаються вирощуванням і збиранням цукрових буряків.

Передусім, модернізація конструкції машини за рахунок встановлення конвеєра-очисника забезпечує зменшення втрат коренеплодів у полі з 8 % до 3 %, що в середньому становить економію близько 120 т буряків на сезон. Цей результат безпосередньо впливає на підвищення виходу товарної продукції та прибутковості виробництва, оскільки збережені коренеплоди — це додатковий ресурс, який може бути реалізований без збільшення площі посівів і витрат на вирощування.

Крім того, у результаті модернізації продуктивність бурякозбиральної машини зростає приблизно на 12 %, що забезпечує додаткове збирання до 288 т коренеплодів на сезон. Це дозволяє оптимізувати робочий час і скоротити період польових робіт, зменшити вплив несприятливих погодних умов, а також ефективніше використовувати машинно-тракторний парк.

Економічні розрахунки показали, що річний валовий ефект від упровадження конвеєра-очисника становить 489,6 тис. грн, при цьому річні витрати (амортизація, технічне обслуговування, додаткове паливо) — близько 61,25 тис. грн. Таким чином, чистий економічний ефект у базовому (оптимістичному) сценарії досягає 428,35 тис. грн на рік, що забезпечує повну окупність проєкту менш ніж за один рік.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Алімов Д.М. Технологія виробництва продукції рослинництва / Д.М. Алімов, Ю.В. Шелестов. – К.: Вища школа, 1995. –271с.
2. Бакум Н.В. Обґрунтування раціональних параметрів технологічного процесу сепарації дрібнонасінних сумішей на вібраційній машині: Дис. ...канд. техн. наук.- Харків, 1984. -220с.
3. Василенко А.А. Комплексная механизация производства сахарной свеклы / А.А. Василенко. – К: Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1962.
4. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику / П.М. Василенко. – К: Сільгоспосвіта, 1996. -252с.
5. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К: Из-во укр. акад. с.-х. наук, 1960. -283с.
6. Верменко Я.И. Исследование процесса сепарации в картофелеуборочных машинах с ротационными рабочими органами: Автореферат. дис...канд. техн. наук. – К, 1964. –18с.
7. Внуков И.Т. Исследование и совершенствование очистительных устройств корней сахарной свеклы / И.Т. Внуков, П.И. Бондаренко // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Итоги и перспективы развития конструкций машин для производства сахарной свеклы и кукурузы на зерно». –Харьков: УкрНИИИСХОМ, –1976. –С. 105-107.
8. Войтюк Я.Ю. Сільськогосподарські машини / Я.Ю. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – К.: Урожай, 1994. –448 с.
9. Денисенко И.И. Исследование физико-механических свойств сахарной свеклы и механизированных операций ее уборки: Автореф. дис...канд. техн. наук. – К, 1965. –18с.
10. Довжик М.Я. Научно-технические основы совершенствования механизации способов извлечения корнеплодов кормовой свеклы из почвы: Дис. ...канд. техн. наук. –К., 1985.- 198с.

11. Егоров А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / А.Е. Егоров, Г.Н. Азаров, А.В. Коваль. – Харьков.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. –240с.
12. Любарский Г.Я. Математическое моделирование и эксперимент / Г.Я. Любарский, Р.П. Слабоспицкий, М.А. Хажмурадов. –К.: Наук. думка, 1987.– 160с.
13. Мальцев П.М. Основы научных исследований / П.М. Мальцев, Н.А. Емельянова. – К.: Вища школа, 1982. –192с.
14. Мельник Д.К. К характеристике физико-механических свойств сахарной свеклы / Д.К. Мельник, М.А. Самойлов // Труды ВНИС. «Наука и передовой опыт – производству». – К, 1965.
15. Войтюк Д.Г. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Д.Г. Войтюк, О.М. Царенко, С.С. Яцун. – К.: Вища школа, 2000. – 93с.
16. Патент 42126 А Україна, МКВ А01D33/08. Пристрій для транспортування та очистки коренеплодів/ Шабельник Б.П., Рева Д.Л., Саржанов О.А. (Україна).- №99031203; Заявл. 03.03.1999; Опубл. 15.10.2001, Бюл. №9.
17. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка. – К.: Вища школа, 1979. –696с.
18. Примак І.Д. Операційні технології вирощування кормових культур / І.Д. Примак, В.П. Гудзь. – К.: Урожай, 1995. – 288 с.
19. Проценко О.О. Довідник з механізації виробництва цукрових буряків / О.О. Проценко. Довідник – К.: Урожай, 1987. –256 с.
20. Сарапулов А.К. Исследование процесса очистки корней от земли при уборке сахарной свеклы: Автореф. дис...канд. техн. наук. –К, 1965. –17с.
21. Саржанов О.А. Використання комп'ютера при розробці конструкції кулачкового конвеєра-очищувача з підвищеною продуктивністю / О.А. Саржанов // Вісник Сумського державного аграрного університету. –2000. –№5. –С. 63-67.

22. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Рогатинський Р.М., Синій С.В., Флонц І.В., Погрішчук Б.В. Вплив параметрів доочисного транспортера коренезбиральної машини на якісні показники її роботи // INMATEH Agricultural Engineering. – 2019. – Vol. 59, No 3. – С. 41–48.
23. Böttcher J., Rollwagen D. New developments in beet harvesting, cleaning and transport operations // Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering (AgEng). – Aarhus, 2016. – С. 120–127.
24. Rollins E.C. Beet harvester with grab roller cleaner: US Patent 3722397. – 1973. – 5 p.
25. Low-damage beet cleaner and elevator: US Patent 4382471. – 1983. – 7 p.
26. Grab roller cleaner for sugar beet harvester and conveyor: US Patent 5372546. – 1994. – 8 p.
27. Hevko R.B., et al. Principles of Mechanical Cleaning Tools for Sugar Beet. – Hohenheim Univ., 2018. – 45 с.
28. Khomenko S.P., Dziubyk A.I. Дослідження руху вороху цукрових буряків у процесі очищення на роликівочисниках // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків, 2020. – № 6 (1381). – С. 52–58.
29. Лях М.І., Шкурят О.В. Машини для збирання цукрових буряків. – К: НУБіП, 2017. — 96 с.
30. Патент UA 61560. Спосіб дезінфекції кагатів коренеплодів. – Заявл. 12.03.2010; опубл. 25.09.2010. – Бюл. № 18. — 4 с.
31. Holmer GmbH. Terra Felis 3 evo – Beet Loader and Cleaner. – Brochure. – Germany, 2021. – 32 p.
32. Ковальчук В.М., Кушнір М.М. Технічні засоби для збирання цукрових буряків. – Вінниця: ВНАУ, 2015. – 124 с.
33. Артюх В.І., Пилипенко І.Ф. Механізація збирання і первинної обробки коренеплодів. – К: Урожай, 2006. – 188 с.

34. Бабенко Л.І. Технологічні процеси при збиранні цукрових буряків // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2019. – Вип. 101. – С. 27–33.
35. Сорока О.М., Кулик С.В. Конструкційні рішення очисних конвеєрів у бурякозбиральних машинах // Техніка і технології АПК. – 2020. – № 9. – С. 45–51.
36. Шульга В.М. Дослідження систем очищення вороху цукрових буряків у комбайнах ROPA Tiger // Науковий вісник НУБіП України. – 2021. – Вип. 312. – С. 89–95.
37. Фещенко І.А. Вплив параметрів шнекового конвеєра на ступінь очищення буряків // Механізація аграрного виробництва. – 2022. – № 2. – С. 22–28.
38. Баранов П.О. Сучасні технології та машини для збирання кормових буряків // Агропромисловий вісник. – 2018. – № 11. – С. 14–19.
39. Васильченко О.В., Мельник І.П. Дослідження ефективності систем очищення вороху в бурякозбиральних машинах // Технічні науки та технології. – 2021. – № 1 (23). – С. 61–68.
40. Білик Р.А. Збирання та первинна обробка коренеплодів кормових буряків. – Полтава: ПДАА, 2014. – 76 с.
41. Голуб В.М. Основи експлуатації машин для збирання коренеплодів. – К: НУБіП, 2013. – 112 с.
42. Дорошенко А.П. Механізація процесу збирання кормових буряків // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – 2020. – № 220. – С. 73–79.
43. Continuous longitudinal flow root crop harvesting: US Patent 5271283. – 1993. – 10 p.
44. KWS Saat SE. Beet Technology Manual. – Einbeck (Germany), 2019. – 56 p.
45. Ropa GmbH. Beet Harvester Tiger 6 XL – Technical Description. – Germany, 2021. – 40 p.

46. Bonn D., Fischer M. Evaluation of soil and root losses in mechanical sugar beet harvesting // European Journal of Agricultural Engineering. – 2020. – Vol. 6 (2). – С. 75–82.

47. Ultrasonic powered sugarbeet and cut sugar cane cleaning: US Patent 4905709. – 1990. – 9 p.

48. Open mesh belt cleaner: US Patent 3631980. – 1972. – 6 p.

49. Conveyor belt cleaning system: US Patent 5141082. – 1992. – 7 p.

50. Кириленко М.О., Савчук В.П. Ефективність різних типів очисників буряків // Вісник ТДАТУ. – 2022. – Вип. 12. – С. 58–64.

51. Плужников С.О. Технологія та техніка післязбирального обробітку коренеплодів. – Київ: Ліра-К, 2020. – 158 с.

ДОДАТКИ