

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітнього ступеня “Магістр”
на тему:

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ОЧИСНИКА КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МґАІ-1-22
за спеціальністю 208 “Аґроінженерія”

_____ Юрій ДЕМЧЕНКО

Керівник _____ Наталія ПОНОМАРЕНКО

Рецензент _____
(підпис, прізвище та ініціали)

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2023 р.

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

_____ Демченко Юрій Андрійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи _____ Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2023 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд технологічних процесів очищення вороху та аналіз роботи очисників коренезбиральних машин. Теоретичні дослідження технологічного процесу роботи очисника. Програма та методика проведення експериментальних досліджень. Результати експериментальних досліджень. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Оцінка економічної ефективності роботи гвинтово-еліпсного очисного робочого органу. Загальні висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1,2. Мета і задачі досліджень. 3. Конструктивні схеми очисників вороху коренеплодів. 4,5,6. Теоретичне обґрунтування технологічного процесу роботи очисника. 7 Програма та методика експериментальних досліджень. 8,9 Класифікація і характеристики систем керування сільськогосподарськими машинами . 10. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О		
2	Пономаренко Н.О		
3	Пономаренко Н.О		
4	Пономаренко Н.О		
5			
6			
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 20.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п /п	Назва етапів дипломного Проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2023 р.	
2	Теоретичний	до 10.10.2023 р.	
3	Експериментальний	до 29.10.2023 р.	
4	Охорона праці	до 15.11.2023 р.	
5	Економічний	до 22.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 29.11.2023 р.	

Студент

(підпис)

Демченко Юрій

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пономаренко Наталія

(прізвище та ініціали)

№	Формат	Позначення	Найменування	К-ть аркушів	Номер аркуша	Примітка
1	A4	52 ДР.000.000.000.ПЗ	Пояснювальна записка			
2	A4	Microsoft PowerPoint	Презентаційні матеріали			

Зміст

Анотація.....	7
Вступ.....	8
1. Огляд технологічних процесів очищення вороху та аналіз роботи очисників коренезбиральних машин.....	10
1.1. Аналіз конструктивних особливостей та результатів досліджень очисників вороху коренезбиральних машин.....	10
1.2. Мета і задачі досліджень.....	30
2. Теоретичні дослідження технологічного процесу роботи очисника.....	32
2.1. Кінематичний режим очищення коренеплодів.....	32
2.2. Висновки до розділу.....	44
3. Програма та методика проведення експериментальних досліджень.....	46
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	46
3.2. Об'єкт та предмет експериментальних досліджень.....	47
3.3. Методика проведення експериментальних досліджень.....	51
3.4. Методика проведення польових експериментальних досліджень і порівняльних випробувань гвинтово-еліпсного очисника коренезбиральної машини МКП-6.....	64
3.5. Висновки до розділу.....	68
4. Результати експериментальних досліджень.....	69
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	86

5.1. Загальний стан охорони праці при роботі коренезбиральної машини.....	79
5.2. Аналіз потенційних виробничих небезпек при експлуатації корене- збиральної машини.....	89
5.3. Заходи по покращенню умов праці.....	90
5.4. Протипожежна профілактика.....	92
6. Оцінка економічної ефективності роботи гвинтово-еліпсного очисного робочого органу.....	93
Загальні висновки.....	99
Список використаної літератури.....	102

Анотація

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів очисника коренезбиральної машини.

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 47 найменувань. Основна частина роботи викладена на 91 сторінці машинописного тексту, містить 34 рисунки і 6 таблиць.

У першому розділі представлено огляд технологічних процесів очищення вороху та аналіз роботи очисників коренезбиральних машин.

У другому розділі виконано теоретичні дослідження технологічного процесу роботи очисника.

У третьому розділі представлено програму та методику проведення досліджень.

У четвертому розділі приведені результати експериментальних досліджень.

У п'ятому розділі приведено оцінку економічної ефективності роботи гвинтово-еліпсного очисного робочого органу.

Ключові слова: бурякозбиральна машина, очисник коренеплодів, пошкодження коренеплодів.

Вступ

Однією з передумов подолання кризової ситуації сільського господарства України є подальший розвиток машинобудування, який сприяє зростанню продуктивності праці, підвищенню ефективності виробництва та покращанню якості продукції і вимагає принципово нових підходів до створення й використання високоефективних прогресивних технологій збирання сільськогосподарської продукції.

Збільшення обсягів виробництва цукрових буряків та зниження їх собівартості є актуальною науково-технічною та народногосподарською проблемою. Це пояснюється великим попитом продукції цукрової промисловості, необхідністю додаткового забезпечення кормової бази тваринництва України та значним попитом цукру за її межами.

Один із основних резервів зростання виробництва цукрових буряків полягає у вдосконаленні технологій їх збирання. Збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків є одним із найскладніших і енергоємних процесів, в тому числі й за кількістю операцій: обрізування гички, доочищення головок, викопування коренеплодів, сепарація викопаного вороху тощо.

Своєчасне збирання коренеплодів цукрових буряків в оптимальні агротехнічні строки при мінімальних втратах і найменших затратах праці - одна з актуальних проблем, вирішення якої потребує створення високопродуктивних бурякозбиральних машин, основними складовими яких є викопувальні та очисні робочі органи. Важливе місце серед вказаних операцій займає процес очищення вороху коренеплодів від домішок.

Відомі сучасні машини для збирання цукрових буряків задовільно працюють лише на легких незабур'ячених ґрунтах. В умовах середніх і важких ґрунтів, та збільшеній або зниженій вологості якість їх роботи не відповідає агротехнічним вимогам.

Залежно від умов роботи й забур'яченості полів загальна кількість

домішок у зібраному вороші коренеплодів складає більше 25%. Це пояснюється використанням недосконалих технологічних процесів і робочих органів для очищення коренеплодів, котрі не забезпечують належної сепарації ґрунту, відокремлення рослинних залишків і пошкоджують значну кількість коренеплодів (до 30%). За умови, що очисники коренезбиральної машини не в змозі роздрібнити грудки землі та відокремити її від коренеплодів під час транспортування вороху, то разом із зібраним урожаєм (250 ц/га) з поля вивозиться близько 3% родючого ґрунту. В сухий період збирання кількість ґрунту, вивезеного з поля разом із коренеплодами, збільшується в 5-10 разів.

Від компонувальних схем, вибору конструктивних і кінематичних параметрів очисних робочих органів відповідно до ґрунтово-кліматичних умов залежить якість очищення коренеплодів, їх пошкодження та втрати.

Одним із резервів підвищення якості очищення коренеплодів є поліпшення технологічного процесу очищення вороху коренеплодів шляхом застосування комбінованих очисних систем, які поєднують в собі завантажувальний транспортер, очисну гірку та гвинтово-еліпсний транспортер-очисник. Інтенсифікація процесу відокремлення землі та рослинних домішок відбувається за рахунок значного підвищення динамічності процесу очищення вороху шляхом використання ефекту додаткового осцилюючого руху коренеплодів на поверхнях еліпсних вальців в вертикальній площині.

В зв'язку з цим, розроблення нових робочих органів для відокремлення домішок від коренеплодів цукрових буряків і дослідження впливу конструктивно-кінематичних параметрів очисників для поліпшення показників якості технологічного процесу роботи коренезбиральних машин є актуальною народногосподарською задачею.

1. Огляд технологічних процесів очищення вороху та аналіз роботи очисників коренезбиральних машин

1.1. Аналіз конструктивних особливостей та результатів досліджень очисників вороху коренезбиральних машин

В технологічному процесі збирання цукрових буряків наступною операцією після викопування є очищення (сепарація) коренеплодів від землі й рослинних залишків і транспортування їх на поздовжні елеватори.

Одним із основних критеріїв оцінки якості роботи коренезбиральних машин під час збирання цукрових буряків є ступені пошкодження коренеплодів і відокремлення домішок із складу вороху. Ефективність і якість роботи виконання машиною технологічного процесу значною мірою залежить від конструкції робочих органів очисників вороху, показники якості роботи яких повинні відповідати вихідним вимогам до коренезбиральних машин [1].

Широкий діапазон фізико-механічних властивостей ґрунтів (вологість, щільність, липкість тощо) обумовили конструктивну різноманітність робочих органів очисників коренеплодів бурякозбиральних машин.

Робочі органи, які найбільш широко використовуються для очищення вороху коренеплодів [2].

Ряд робочих органів мають універсальні властивості, тому що вони використовуються для відокремлення різних видів домішок із складу викопаного вороху коренеплодів. В теперішній час існують два основних напрямки, створення робочих органів машин, які повинні забезпечувати велику надійність і розділяти з високою якістю на окремі компоненти поступаючі на збиральні машини складові частини вороху.

Одним із цих напрямків є створення робочих органів на основі механічних способів відокремлення коренеплодів від домішок. При цьому використовуються такі властивості розділяючих тіл, як форма (маса, розмірні

характеристики тіл), пружність, коефіцієнт тертя, опору перекочування тощо.

Другим напрямком є створення пристроїв для відокремлення домішок із вороху на основі використання їх специфічних властивостей, які сприймають електронні пристрої [3]. Але як правило, електронні (автоматичні) пристрої для відокремлення домішок від коренеплодів не знайшли широкого застосування на мобільних коренезбиральних машинах і використовуються на стаціонарних пунктах доочищення коренебульбоплодів.



Рис. 1.1. Конструктивні схеми очисників вороху коренеплодів.

На рис. 1.1 наведено класифікацію очисників коренеплодів за видом відокремлених компонентів та за способом їх відокремлення.

За видом відокремлення домішок очисники вороху цукрових буряків поділяються на чотири основні групи: очисники вороху від сипучої землі; очисники вороху від рослинних залишків; очисники вороху від грудок і каменів; очисники вороху від залишків гички на головках коренеплодів.

Очисники перших двох груп бувають лише механічного типу. Це пов'язано з тим, що варіаційні криві показників властивостей (коефіцієнт тертя, розмір, форма тощо) компонентів вороху практично не перехрещуються, що дозволяє забезпечити припустиму ступінь сепарації [12].

Із приведеної класифікації очисників дрібних домішок видно, що всі вони за способом відокремлення поділяються на два типи: просіюючі й фрикційні, перші працюють за ознакою розділення компонентів вороху “розмір”, інші за різницею коефіцієнтів тертя складових частин компонентів, які необхідно розподілити. За конструктивним виконанням і технологічною схемою оброблення вороху відомо чотири основних груп очисників: транспортерні (елеваторні), грохотні, вальцьові (шнекові), та роторні (турбінні).

Транспортерні очисники за способом відокремлення вороху виготовляють просіваючого й фрикційного типів.

Для утворення робочого органу просіваючого типу використовують елеваторні (пруткові) полотна, сітчасту поверхню або поверхню, утворену безкінцевими пасами [18]. Фрикційні очисники являють собою, як правило, різні технологічні комбінації очисних гірок [22].

Поперечні шнекові сепаратори, як правило, складаються з двох (трьох) шнеків, кожен з яких має рівновіддалене навивання спіралей, що забезпечує розведення купи коренеплодів по периферії очисного пристрою. Друга частина відрізняється від першої лише оберненим напрямком навивання спіралей та зводить потік у зону поздовжнього елеватора. Такий тип робочих органів забезпечує збільшення шляху проходження коренів на шнекових валах, що

покращує їх сепарацію, а для зменшення пошкоджень між різнонаправленими суміжними спіралями розвідних і звідних шнеків, а також в зоні вивантаження, встановлюють проміжні вальці [18].

Поперечні шнекові очисники знайшли застосування в машинах КС-6Б, КС-6В, МКК-6, МКК-6-02, РКМ-6, КР-6-II («Klene», ФРН) [15].

Поздовжні шнекові сепаратори забезпечують очищення й транспортування коренеплодів в напрямку осі обертання та характеризуються протилежним напрямком навивання й обертання спіралей - очисники вороху коренезбиральних машин фірм «Heath», «Garford Victor» (Англія). Робочі органи такого типу в основному виконують транспортувальні функції з невеликим очисним ефектом, і, як правило, застосовують замість стрічкових елеваторів.

Важливою перевагою шнекових очисників є відносна простота конструкції, можливість суміщення в одному робочому органі функцій очищення й транспортування, задовільна якість сепарації коренеплодів від землі та рослинних залишків. Однак під час роботи бурякозбиральної машини на вологих ґрунтах (вологість > 24%), шнеки залипають землею й втрачають працездатність, що призводить до підвищеного пошкодження коренеплодів і зменшення ступеня сепарації домішок.

Роторні очисники широко застосують в коренезбиральних машинах, що працюють на суглинках та пісчаних ґрунтах. Конструктивною особливістю таких сепараторів є розташування диска під кутом 12-14° до горизонтальної поверхні, на якому рівномірно по колу жорстко закріплені радіальні прутки. Для формування потоку коренеплодів в процесі їх очищення по периферії роторів встановлюють пруткові напрямні решітки, для покращення якості їх сепарації, а також зміни напрямку потоку, над дисками, в робочому просторі очисника можуть застосовувати еластичні шнекові та бітерні вальці, або інші робочі органи з активною поверхнею [17].

Роторні очисні пристрої окрім сепарації та транспортування можуть

виконувати функції підбирання коренеплодів. В процесі роботи встановлені під кутом активні ротори, заглиблюючись в землю, підбирають викопані пасивними дисками коренеплоди і очищуючи їх від домішок землі, транспортують у зону вивантаження.

Сепарувальний ефект в таких пристроях досягається за рахунок просіювання землі через решітчасту поверхню диска й направляючих бокових прутків, а також під впливом відцентрових сил.

В значній кількості машин очисні ротори розташовують над поверхнею ґрунту, їх завантаження здійснюється бітерними, шнековими або іншими робочими органами, що покращує якість сепарації за рахунок рівномірного заповнення дисків за всією поверхнею - машини фірм «Stoll», «Kuhl», «Holmer» (ФРН); «P.Varigelli & C.», «Rimesco» (Італія); «Tim» (Данія) [41].

Роторні сепаратори відрізняються надійністю виконання технологічного процесу роботи машин у важких ґрунтово-кліматичних умовах і за ступенем сепарації переважають аналогічні показники шнекових та кулачкових робочих органів, однак важливим недоліком їх роботи є значне пошкодження коренеплодів під час їх переходу з одного диска на інший [36].

За застосуванням в коренезбиральних машинах кулачкові і лопатеві очисники дещо поступаються вальцьовим і роторним (турбінним).

Кулачкові очисники відрізняються від вальцьових тим, що їх диски виконані в вигляді кулачків із криволінійною поверхнею і являють собою кулачкове поле, яке переміщує ворох за рахунок обертання кулачків в одному напрямку. Розрізняють кулачкові очисники грудкоподрібнювачі (КС-6Б) і очисники, які виконують сепарувальні функції без затискування елементів вороху.

Основними недоліками кулачкових очисників є підвищене пошкодження коренеплодів та жорстка залежність лінійних розмірів кулачків від розмірних характеристик коренеплодів і грудок ґрунту [46].

Бітерні (лопатеві) очисники розробляються двох типів – з похилим і

паралельним розташуванням лопатей, в яких функції сепарації ґрунту і відокремлення рослинних домішок відбуваються без затискування елементів вороху (РКМ-6, РКМ-6-03, МКК-6).

Застосування еластичних поверхонь в бітерних очисниках сприяє мінімальному пошкодженню коренеплодів в процесі їх очищення, однак технологічний ресурс роботи еластичних лопатей невеликий внаслідок їх швидкого зношення. Крім того, такі очисники незадовільно відокремлюють з вороху великі за розмірами рослинні залишки та мають низьку ефективність роботи на вологих і сухих ґрунтах [1].

Комбіновані очисники уявляють собою різні комбінації вищерозглянутих робочих органів і застосовуються залежно від конкретних функцій сепарувальних очисних систем, умов роботи, а також для регулювання ступеня агресивної дії очисних поверхонь на коренеплоди [36].

Визначенням конструктивних і кінематичних параметрів очисників коренеплодів від землі й рослинних домішок і факторів, що впливають на їх сепарацію присвячені роботи багатьох видатних вчених П.М. Василенка, Л.В. Погорілого, Б.М. Гевко, В.М. Булгакова, Б.П. Шабельника, Г.Д. Петрова, результати досліджень яких подані в багатьох наукових виданнях [12]. Вагомі результати в розробку і удосконалення очисних робочих органів коренезбиральних машин внесли також науковці Р.М. Рогатинський, Р.Б. Гевко, В.М. Барановський, В.П. Верегейчик, А.К. Сарапулов, В.Я. Мартиненко [2] та ін. В роботах даних авторів наведені основні фізико-механічні властивості коренеплодів цукрових буряків, основи їх взаємодії з очисниками різних конструктивно-технологічних схем, науково обґрунтовані конструктивно-кінематичні параметри та режими їх роботи.

Аналіз виконаних наукових робіт показав, що подальший вибір конструктивно-технологічних схем і обґрунтування параметрів очисників необхідно проводити з врахуванням моделей безпосередньої взаємодії коренеплодів з очисними поверхнями при умові знаходження компромісу між

максимально можливим очищенням вороху коренеплодів і недопущенням їх критичних пошкоджень, які приводять до незворотних втрат цукрової сировини.

Процес сепарації землі характеризується руйнуванням цілісності шару ґрунту, що подається на сепарувальні робочі органи й просіювання його частинок через зазори сепарувального робочого органу. Руйнування ґрунтового шару грудок землі на дрібні частини, розміри яких співставлені з розмірами зазору сепаратора, характерне для ґрунтів із оптимальною вологістю, піщаних і супіщаних ґрунтів. На глинистих і суглинистих ґрунтах із збільшеною й зниженою вологістю утворюються міцні земляні грудки. Це істотно впливає на сепарацію ґрунту в бік її зменшення.

Ефективність сепарації землі характеризується трьома зонами: перша зона зниженої вологості (вологість ґрунту до 15 %), друга зона оптимальної вологості (від 15 до 22 %) і третя зона підвищеної вологості (вище 22-26 %) [13]. Зниження ефективності сепарації за підвищеної вологості ґрунту відбувається внаслідок липкості ґрунту, яка залежить від вологості, а за зниженої вологості внаслідок підвищеної щільності земляних грудок. Крім того, сепарація ґрунту знижується зі збільшенням його щільності.

Було встановлено [82], що збільшення швидкості руху пруткового елеватора по різному впливає на сепарацію землі з різною вологістю. Сепарація вологого ґрунту (28-29 %) безперервно підвищується до обумовленої границі швидкості руху елеватора, після якої покращення сепарації не відбувається. А за вологості ґрунту 15-23 % збільшення сепарації змінюється зниженням її після швидкості елеватора 2,3 м/с. Зменшення швидкості елеватора (менше 1,5 м/с) допускати не можна, тому що при цьому можливе погіршення надходження (згруження) вороху від викопувальних робочих органів на елеватор [14]. Результати [15] свідчать, що при швидкості руху пруткового транспортера більше 1,6-1,7 м/с, ефективність сепарації знижується. Із збільшенням кута нахилу сепараторів збільшується ефективність сепарації

середнього суглинку вологістю 14,4 %.

З метою збільшення ефективності процесу сепарації землі при роботі сепараторів в несприятливих умовах застосовують різного роду інтенсифікатори - струшувачі з пасивним і активним приводом. Результати інтенсивності струшувань в найбільшій мірі проявляються при сепарації пластичного липкого ґрунту, що підтверджено результатами досліджень провідних наукових інститутів [5].

За результатами досліджень була встановлена залежність просіючої спроможності елеваторів від їх швидкості руху, довжини, кутів нахилу встановлення елеватора та його коливань – амплітуди й частоти. Просіювання землі на елеваторах відбувається за законом логарифмічної кривої. Оптимальні параметри: кут нахилу елеваторів 18-20°, каскаду – 14-16°, довжина елеватора 2200-2300 мм. Зі збільшенням поступальної швидкості елеватора просіювання ґрунту в 1-ій зоні збільшується, а в наступних зменшується.

Вальцьові сепарувальні робочі органи. Серед існуючих типів очисників вороху коренеплодів бурякозбиральних машин найбільш повно досліджені вальцьові (шнекові круглого перерізу) очисники. Так в працях Л.В. Погорілого, Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського, Ю.Б. Аванесова, М.В. Татьянка визначено конструктивно-кінематичні параметри та пропускну здатність робочих органів – діаметр і крок шнека, кутові швидкості обертання вальців, взаємне розташування та форми гвинтових навивок, необхідну кількість робочих русел шнеків та їх ширину для повздовжніх очисників в залежності від заданої продуктивності машини.

Шнекові очисники бурякозбиральних машин призначені для сепарації вороху від зв'язаних із коренеплодами залишків глини й ґрунту, а також їх транспортування в зону вивантаження і працюють за принципом розділення “розмір”. Очищення відбувається за рахунок підкидання коренеплодів і зскрібання частинок ґрунту виступами спіралей шнеків. З метою забезпечення кращої сепарації вали шнеків обертаються з різними кутовими швидкостями.

За конструктивним виконанням можна виділити декілька різновидностей конструктивних схем шнекових очисників [30]:

- за направленням обертання спіральних валів: а) одностороннє обертання; б) попарно зустрічне обертання; в) комбінація «а» і «б»;

- за напрямком руху очищаючого вороху: а) прямолінійні, вздовж осі обертання; б) Г – подібні; в) зустрічні з Г – подібним виходом в середній частині;

- за формою спіральних валів: а) вальці круглого перерізу; вальці, поперечний переріз яких має форму еліпса.

Шнекові робочі органи можуть виконувати транспортуючі функції з невеликим очисним ефектом або очисні функції в поєднанні з транспортуючими в напрямку осі обертання або перпендикулярно до неї. Переміщення коренеплодів відбувається за допомогою гвинтових виступів-рифів, виконаних на одному або двох валах методом навивання й приварення.

Основними їх недоліками є залипання шнеків землею в процесі роботи у вологих ґрунтово-кліматичних умовах, що різко знижує показники якості процесу сепарації, а також значні пошкодження коренеплодів під час безпосередньої взаємодії з рифом шнека, ймовірність чого збільшується в процесі збирання коренеплодів на висушених ґрунтах (вологість < 12%) [3]. Для уникнення пошкоджень коренеплодів ряд зарубіжних фірм виготовляють очисні шнеки з прогумованими спіралями та застосовують сепарувальні поверхні з максимально можливим радіусом кривини рифа. Шнековими очисниками комплектовані вітчизняні бурякозбиральні машини КС-6Б, КС-6В, РКМ-6, РКС-6, МКП-6, а також машини провідних зарубіжних фірм KR 6П «Klene», «Stoll» (ФРН); «Heath», «Garford Victor» (Англія) тощо.

Із збільшенням часу перебування коренеплодів у робочому руслі ступінь їх сепарації підвищується, але одночасно збільшується ймовірність і ступінь їх пошкодження. Тому агресивність шнеків круглого перерізу, яка визначається висотою й частотою навивання рифів та часом перебування вороху, обмежує їх

час знаходження на очисній поверхні [42].

Недоліком таких очисників є підвищене травмування буряків на периферії розвідних шнеків, їх залипання при вологості ґрунту більше 24%. З підвищенням вологості до 28% очисники втрачають працездатність [20].

На рис. 1.2 зображений типовий шнековий очисник коренеплодів круглого перерізу [47], який складається з шнеків 1, 2 із спіральним зустрічно-направленими витками, вала 3 і щитків 4.

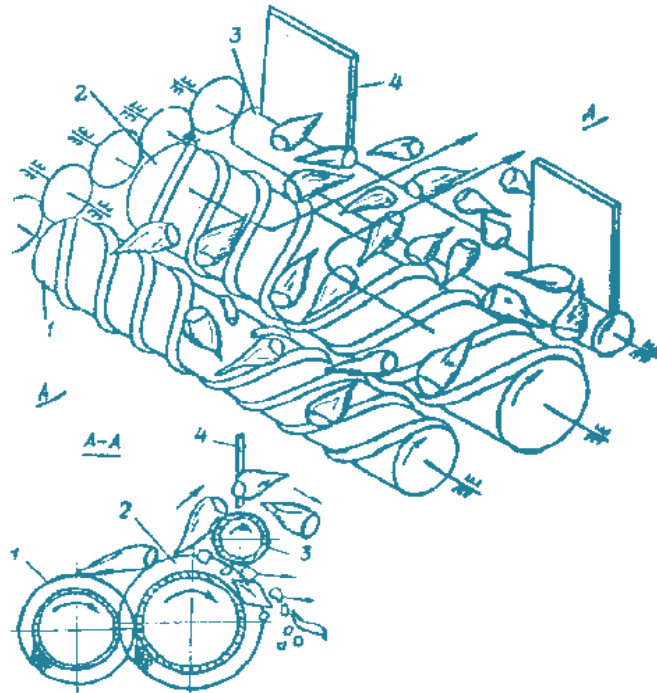


Рис. 1.2. Шнековий очисник коренеплодів:

1, 2 – спіральні вали; 3 – циліндричний гладкий валець; 4 – пасивна стінка.

Суттєвим недоліком такого очисника є підвищене травмування коренеплодів і низька сепарація, пов'язана з відсутністю розвідних шнеків.

Шнековий очисник коренеплодів від ґрунту й гички (рис. 1.3) [31] характеризується наявністю багатозахідних шнекових витків 4 і 5 з різною висотою виготовлення, що дозволяє поділяти ворох на фракції: земля і гичка переміщуються витками 4 меншої висоти, коренеплоди - витками більшої висоти. При цьому інтенсивність сепарації збільшується.

Основними недоліками даних конструкцій є складність у виготовленні та підвищене травмування коренеплодів. Для запобігання травмування на робочу поверхню рифів шнеків “одягають” еластичні елементи. У конструкціях вітчизняних і зарубіжних коренезбиральних машинах широке застосування знайшли комбіновані шнекові очисники, конструктивні елементи, яких значно покращують технологічний процес сепарації. З метою покращення відбору домішок із технологічного вороху розроблена конструкція очисника коренеплодів від землі й рослинних залишків (рис. 1.4) [32].

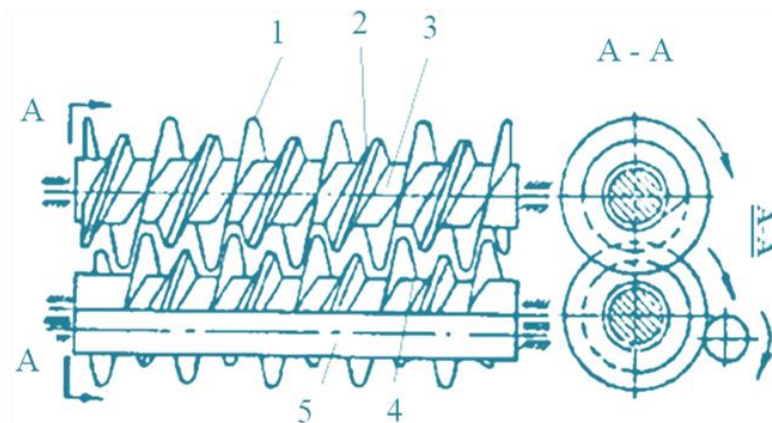


Рис. 1.3. Шнековий багатозахідний очисник:

1, 2, 4 – спіральна навивка; 3 – труба вала; 5 – циліндричний гладкий вал.

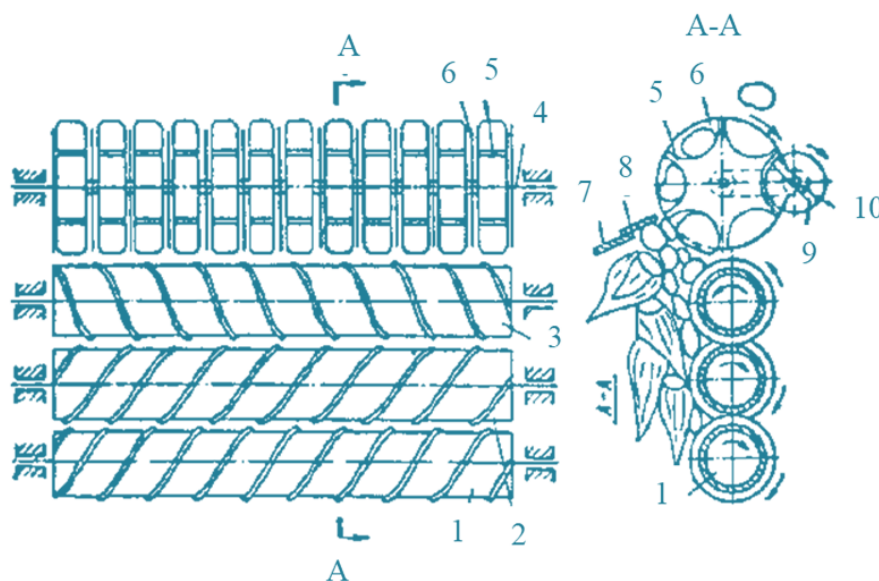


Рис. 1.4. Очисник коренеплодів від землі й рослинних залишків:

1, 2, 3 – шнекові вали; 4 – вал комірчастого транспортера; 5 – гладкий

диск; 6 – комірчастий диск; 7, 8 – обмежувачі; 9 – лопатки; 10 – вал лопаток.

Очисник складається з шнекових вальців 1, 2, 3 і встановленим за ним комірчастим транспортером, що виконаний з почергово набраних на валі 4 гладких 6 і комірчастих 5 дисків. У конструкції такого типу передбачено елементи зачищення, які виконано у вигляді зібраних на валі 10 лопаток 9.

Перевагами вказаного типу очисника є підвищена сепарація вороху за рахунок використання в конструкції додаткового конструктивного модуля - комірчастого транспортера. До недоліків наведеного конструктивного рішення слід віднести втрати коренеплодів, особливо неправильної форми, які в процесі очищення потрапляють у комірки транспортера й виносяться на поле. Застосування додаткового комірчастого транспортера не дозволяє провести очищення коренеплодів від зв'язної з ними землі.

Транспортер-очисник коренеплодів зображений на рис. 1.5 являє собою поєднання транспортуючого й очисного пристроїв.

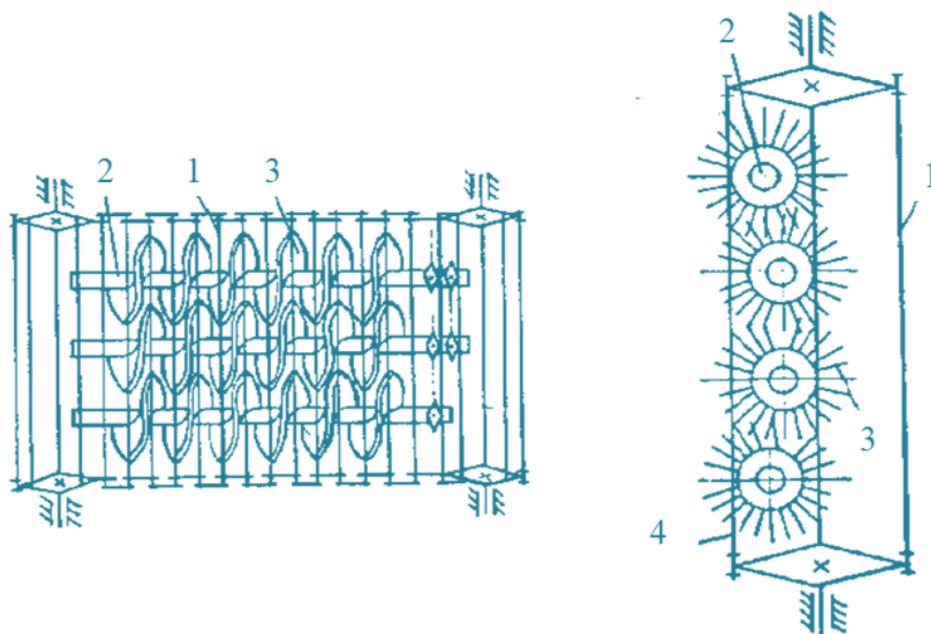


Рис. 1.5. Транспортер-очисник коренеплодів:

1 – підтримуючий елемент; 2 – вал очисного пристрою; 3 – щіткове навівання; 4 – обмежувач.

З метою підвищення ефективності очищення коренеплодів від землі підтримуючий елемент 1 виконано у вигляді пруткового транспортера, а очисний пристрій - у вигляді ряду паралельних шнеків із щітковим навиванням 3, що співнапрямлені з поздовжньою віссю пруткового транспортера.

Компонувальна схема бурякозбиральної машини КС-6В (рис. 1.6) характеризується покращеною системою сепарації. Вона містить розташовані в ряд дискові копачі 1 виштовхуючий бітер 2, шнекові очисники 3 і дволанковий транспортер 4. В бункері машини 5 послідовно розташовані верхній поперечний транспортер 6, очисна штифтова гірка 7 для винесення рослинних залишків, нижній поперечний 8 і вивантажувальний 9 транспортери.

В процесі роботи, викопані дисками коренеплоди подаються на шнековий очисник, де вони інтенсивно очищуються від землі й рослинних домішок. Далі корені захоплюються дволанковим стрічковим транспортером і подаються в бункер на верхній поперечний транспортер, звідки падають на очисну гірку. За рахунок виконання очисних елементів гірки у вигляді еластичних пальців відбувається активне винесення рослинних домішок і грудок ґрунту на зібрану частину поля. Під дією власної ваги коренеплоди потрапляють на нижній поперечний транспортер, далі - на вивантажувальний, за допомогою якого переміщуються в транспортний засіб, що рухається поруч.

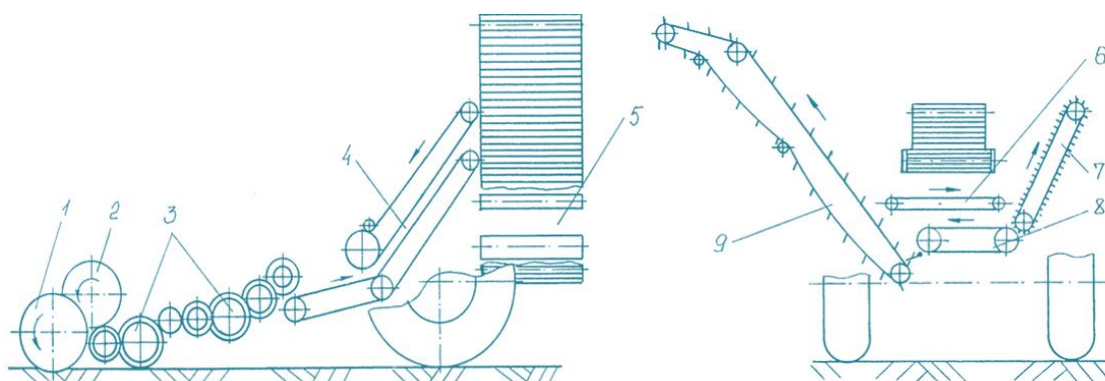


Рис. 1.6. Компонувальна схема коренезбиральної машини КС-6В:

1 – дискові копача; 2 – виштовхуючий бітер; 3 – шнековий очисник; 4 – дволанковий стрічковий транспортер; 5 – бункер; 6, 8, 9 – відповідно

поперечний, нижній поперечний та вивантажувальний транспортери; 7 – гірка.

В процесі роботи повздовжніх шнекових очисників ворох коренеплодів переміщується вздовж осі обертання валів. Такі очисники переважно виконують транспортні функції з незначними малоефективними очисними властивостями. Виникнення “мертвих зон” на шляху транспортування вороху і конструктивна складність розташування опор валів значно обмежило широке використання повздовжніх шнекових очисників [15].

Кулачкові очисники відрізняються від останніх вальцьових тим, що їх диски виконані у вигляді кулачків із криволінійною поверхнею і являють собою кулачкове поле, яке переміщує ворох за рахунок обертання в одному напрямку кулачків, закріплених на паралельно встановлених валах. Розрізняють кулачкові очисники грудкоподрібнювачі і очисники, які виконують сепарувальні функції без затискування елементів вороху. За кількістю профільних кулачків розрізняють три-, п'яти- і шестигранні кулачкові очисники.

Бурякозбиральні машини нерідко працюють в умовах твердого сухого ґрунту, тому ворох вміщає велику кількість ґрунтових грудок. Для очищення вороху від таких домішок коренезбиральні машини обладнують грудкоподрібнювачами, принцип дії яких базується на різниці кутів затискування ґрунтових грудок і коренеплодів. В коренезбиральній машині КС-6Б-02 застосовано грудкоподрібнювач (рис. 1.7), який складається з валів 1, на яких закріплено батарею трипроменевих кулачків 2 із спеціальним профілем. Вали обертаються в одному напрямку та з однаковою коловою швидкістю. Тому кути α_k між прямолінійними робочими поверхнями кулачків суміжних валів у процесі роботи постійні. Грудки ґрунту затискуються в отворі між лопатями кулачків і руйнуються, а коренеплоди висковзують з отвору й транспортуються кулачками за напрямом обертання валів.

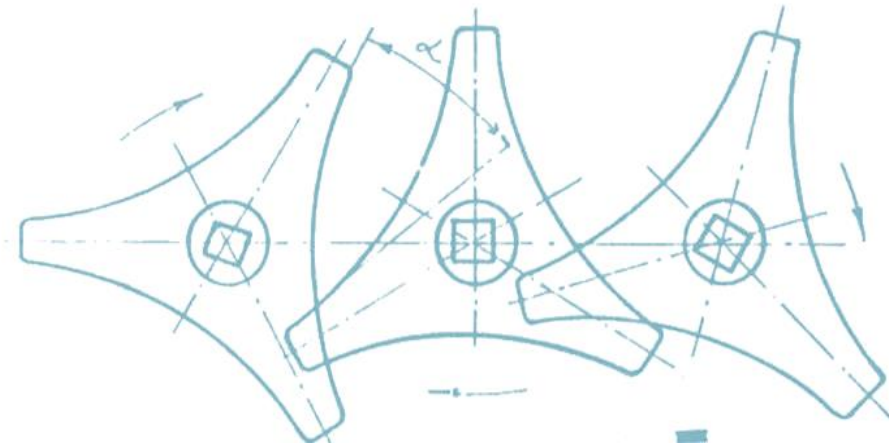


Рис. 1.7. Схема трикулачкового очисника:

1 – вал; 2 – трипроменевий кулачок

Л.В. Погорілий та інші встановили, що грудки ґрунту затискуються при $\alpha \leq 53^\circ$, а для запобігання пошкодження коренеплодів достатньо $\alpha \geq 40^\circ$ [20].

Основними недоліками кулачкових очисників є пошкодження коренеплодів [24] і намотування бур'янів на елементи конструкції які обертаються з кутовою швидкістю ω_k . За умов роботи на ділянках із підвищеною забур'яненістю спостерігається невеликий очисний ефект.

За даними досліджень [25] із збільшенням кількості бур'янів до 98 шт/м² продуктивність збирального агрегату з кулачковим очисником знижується на 30 % - з 0,189 до 0,133 га за годину змінного часу.

Лінійні розміри кулачків устанавлюються в залежності від розмірних характеристик бур'яка і грудок ґрунту. Звичайні кулачкові очищувачі мають 4-6 кулачків, значно менше значення кута α і більш заокруглену форму кулачка, що виключає защемлення коренеплодів. За рахунок деякої різниці кутових швидкостей валів кулачкового очищувача ($n=185\dots348$ 1/хв) досягається більш активний вплив на ворох і просіювання домішок землі (частково рослинних залишків). В більшості випадків кулачки розташовують так, щоб суміжні їх ряди перекривали утворений зазор між валами. Максимальні зазори між ними встановлюють так, щоб виключити просіювання коренеплодів діаметром

більше 50 мм.

У вітчизняній коренезбиральній машині РКМ-6-03 використовують лопатевий очисник подібно кулачковому, який виконує функції сепарації ґрунту й відокремлення дрібних рослинних домішок без затискування елементів вороху. Він складається з послідовно розташованих лопатевих очисних валів, на яких радіально встановлені гумові лопаті, при цьому їх кількість збільшується починаючи від першого. Ворох поступає на вали, що обертаються в одному напрямку. Сипкий дрібний ґрунт і невеликі за розмірами рослинні домішки просіюються в щілини між гумовими лопатями, за допомогою яких коренеплоди транспортуються за напрямком обертання очисних валів.

Недоліками таких конструкцій очисників є низька якість відокремлення вороху від великих за розмірами рослинних залишків і низька ефективність роботи на вологих і сухих ґрунтах [26].

Роторні та бітерні сепарувальні робочі органи. Поряд з кулачковими і шнековими очисниками для виконання очисних і транспортуючих функцій застосовують робочі органи роторного типу, які широко використовуються в конструкціях коренезбиральних машин Франції. Як і описані вище спіральні очисники, вони звужують технологічний потік одночасно з сепарацією ґрунтових і рослинних домішок. В якості робочої поверхні у транспортерів-очищувачів цього типу застосовують встановлений горизонтально або під певним кутом α диск із розташованими по радіусу прутками. Для формування потоку вороху й напрямлення його на робочі органи по зовнішній периферії кола ротора встановлюють пруткові решітки, які містять напрямні гребінки.

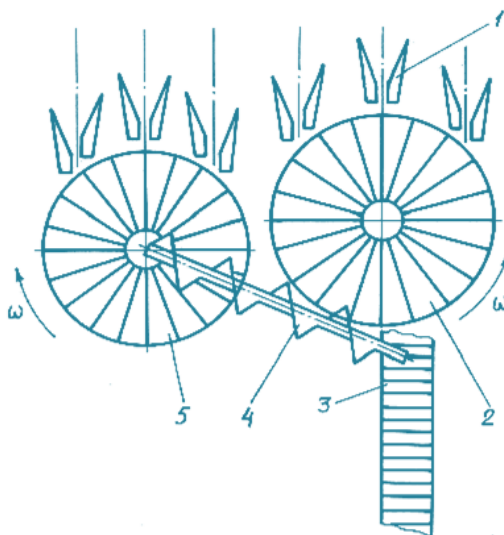


Рис. 1.8. Конструктивна схема копача коренеплодів з роторним очисником:

1 – лемішні копачі; 2, 5 – решітні роторні диски; 3 – утворений валок коренеплодів; 4 – гвинт

Серед існуючих типів очисників роторні робочі органи вважаються найбільш агресивними з точки зору їх дії на коренеплоди і знайшли широке застосування в конструктивно-технологічних схемах бурякозбиральних машин провідних зарубіжних фірм: «Kleine», «Stoll», «Holmer» (Німеччина), «Tim» (Данія), «Matrot», «Moreau» (Франція) [41, 13] та ін. Це пояснюється підвищеними агротехнічними вимогами до якості очищення та швидкою переробкою коренеплодів після їх збирання в даних країнах і, відповідно, зниженими вимогами до ступеня пошкодження цукрових буряків.

Однороторні сепаратори застосовуються в одно-, дво- та трирядних машинах або підбирачах коренеплодів. Ротори, які підбирають підкопані коренеплоди, або утворений валок, заглиблюються в ґрунт до 50 мм і радіальними прутками переміщують ворох на наступні приймальні робочі органи, при цьому відбувається його інтенсивне очищення від домішок.

Розглянемо різні схеми компонування машин із використанням очисників роторного типу. В копачі-валкоутворювачі А-300 [27] фірми "Жан-Моро"

застосовано два сепарувальних диски на які поступають компоненти вороху і де відбувається очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних домішок. Крім того, можливе встановлення третього додаткового диску меншого діаметра, який покращує очищення коренеплодів. Для підвищення сепарувальної ефективності використовують робочий орган, схема компонування якого містить чотири диски. Коренеплоди спочатку поступають на одну пару сепарувальних дисків, а потім переміщуються по S подібній траєкторії на другу пару дисків, яка обертається в протилежному напрямку. Для зміни напрямку технологічного потоку над диском у робочому просторі очисника використовують шнерхнею.

Дана схема компонування роторного очисника реалізована в 6-рядному копачі коренеплодів у якому задача звуження потоку з утворенням концентричного валка вирішується поєднанням дискового очисника і гвинта (рис. 1.9). Він включає лемішні копачі 1 вібраційного типу за якими встановлено два роторні решітні диски 2 і 5, які обертаються зустрічно один одному.

Диски мають конусність, вершина якого направлена вгору. Лівий диск 5 виконаний меншого діаметру і трохи зміщений назад відносно правого диска 2. Над дисками розташовано гвинт 4, вісь обертання якого проходить через центр лівого диска. Гвинт встановлено під кутом до напрямку руху копача, а вихідний кінець його розміщується над краєм правого диска. При зустрічі вороху з гвинтом він змінює напрямок руху вороху, при цьому спільна дія поверхонь дисків і гвинта на корені інтенсифікує процес їх очищення.

Для формування потоку вороху й напрямлення його на інші технологічні комунікації, або у валок, вздовж зовнішнього кола ротора встановлюють пруткові решітки, що закінчуються напрямними гребінками. Для зміни напрямку технологічного потоку над диском у робочому просторі очищувача можливе використання шнеків, відбійних бітерів або інших робочих органів із активною обмежуючою поверхнею.

В роторних очищувачах ворох подається транспортером, шнеком або іншими робочими органами, а корені заповнюють диск за всією поверхнею. Очищувальний ефект у таких пристроях досягається просіюванням ґрунту через решітчасту поверхню диска й обмежуючих бокових решіток, взаємодією коренеплодів із прутками решіток, а також під дією відцентрових сил.

На рис. 1.9 зображено очисник, для покращення сепарації в якому бічні загороджувальні стінки підпружинені в сторону обертання осі ротора. До його недоліків можна віднести складність конструкції та ненадійність роботи в умовах підвищеної вологості через залипання робочих елементів ротора, а також підвищене травмування коренеплодів [19].

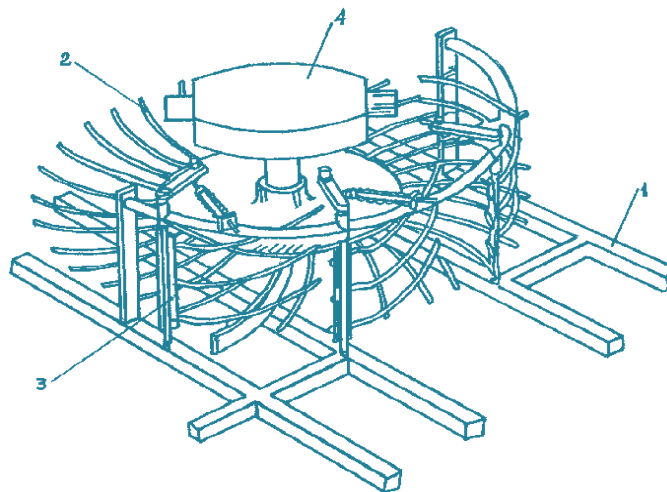


Рис. 1.9. Роторний очисник:

1 – рама; 2 – очисний ротор; 3 – обмежуючі решітки; 4 - редуктор приводу.

Переміщення підбраного вороху коренеплодів здійснюється над рухомими прутками і нерухомими боковими стінками, які охоплюють контур ротора. Очищення коренеплодів відбувається за рахунок того, що лінійна швидкість периферії ротора значно переважає швидкість переміщення вороху.

Для інтенсифікації процесу очищення і переміщення потоку коренеплодів, бокові стінки ротора виконують у вигляді активізуючих потік вороху бокових елементів, як, наприклад, коливних решіток, еластичних бітерів, гвинтових валів. Трироторні очисники найбільш якісно виконують

очисні функції, причому третій (задній) ротор розташовується з перекриттям під двома передніми роторами-підбирачами. Дана схема очисника реалізована в самохідній коренезбиральній машині КС-6Б-05.

Очисники роторного типу характеризуються простотою й незначною матеріаломісткістю, однак мають ряд недоліків. Через наявність зазору в зоні переходу вороху з одного диска на інший мають місце втрати коренеплодів внаслідок вмивання їх в розпушений ґрунт, а також згуження маси під час сходження потоків, які поступають з двох дисків. Крім того, роторні очисники травмують коренеплоди в процесі переходу їх з одного диска на інший в основному внаслідок злому хвостової частини [2], тому ефективні лише за великих кутів нахилу дисків (турбін), що значно обмежує їх застосування [9]. Окрім суттєвого пошкодження і втрат коренеплодів ротори створюють значні динамічні навантаження на вузли приводу і опори, в яких обертаються вали. Тому до даних робочих органів висуваються жорсткі вимоги стосовно дотримання технології їх виготовлення, складання і експлуатації.

В поєднанні з шнековими очисниками в технологічному процесі очищення коренеплодів використовують батарею бітерних очисників (рис. 1.10), основним робочим елементом якої є очисний бітер. Бітер 1 представляє собою чотирьох лопатевий очисник, що приводиться в дію редуктором за допомогою змінних зірочок 2.

Бітерні очисники виготовляються двох типів – з похилим і паралельним розташуванням лопатей на поверхні вала, які закріплені радіально на ньому.

Бітерні очисники, як правило, застосовують в технологічних процесах разом із шнековими очисниками, оскільки продуктивність окремої групи бітерів досить низька й окреме її застосування в коренезбиральних машинах недоцільне.

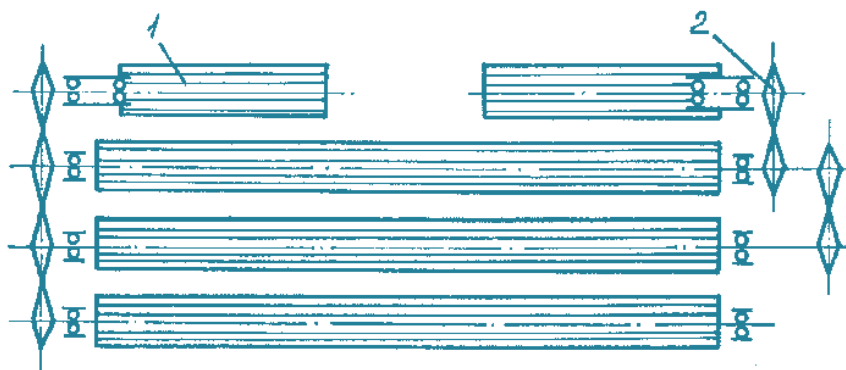


Рис. 1.10. Бітерний очисник:

1 - очисний бітер; 2 - змінні зірочки.

До переваг такого очисника можна віднести відносну дешевизну виготовлення, а до недоліків - недостатню сепарувальну здатність внаслідок короткого часу перебування коренеплодів на очиснику та низьку довговічність еластичних лопатей, які швидко зношуються.

В основу всіх вище наведених конструктивних рішень очисників коренеплодів буряків покладено принцип удару й зскрібання прилиплих залишків землі до поверхні коренів. Однак, обмежений час перебування коренеплодів на робочих поверхнях очисників і підвищене їх травмування дозволяють використовувати такі сепаратори лише на початкових стадіях очищення. Такі системи очищення потребують застосування пристроїв із додатковою сепарацією, а отже збільшення матеріало- і енергомісткості.

1.2. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є покращення якості очищення коренеплодів цукрових буряків шляхом розроблення конструкції та вибору раціональних параметрів очисної системи залежно від умов роботи з використанням гвинтово-еліпсного очисника.

В результаті проведеного аналізу і в відповідності з поставленою метою, були сформульовані задачі дослідження:

- на основі проведеного аналізу сепарації вороху цукрових буряків обґрунтувати технологічний процес очищення коренеплодів від домішок й розробити нову конструктивно-технологічну схему активної очисної системи;
- визначити основні конструктивно-кінематичні параметри роботи гвинтово-еліпсного очисника на основі аналізу характеру руху та взаємодії коренеплодів з робочими поверхнями гвинтово-еліпсного механізму і визначення продуктивності очисника;
- провести порівняльну оцінку ефективності використання коренезбиральної машини з гвинтово-еліпсним очисником і базової машини;
- розробити інженерну методику розрахунку основних параметрів гвинтово-еліпсного очисника.

2. Теоретичні дослідження технологічного процесу роботи очисника

2.1. Кінематичний режим очищення коренеплодів

Одними із важливих задач визначення кінематичного режиму очищення коренеплодів від домішок є встановлення раціональних параметрів руху коренеплоду на етапах його переміщення вздовж елементів очисної системи.

Для визначення параметрів руху коренеплодів із завантажувального транспортера на очисну гірку та гвинтово-еліпсний очисник вибираємо загальну систему координат спільну для гірки та шнекового очисника таким чином, щоб вісь O_1V була направлена по осі першого валка, вісь O_1X – горизонтально, в напрямку від гірки до шнекового очисника, а O_1Z – вертикально. Початок системи координат доцільно розмістити в початку зони руху коренеплодів вздовж гвинтово-еліпсного очисника (рис. 2.1).

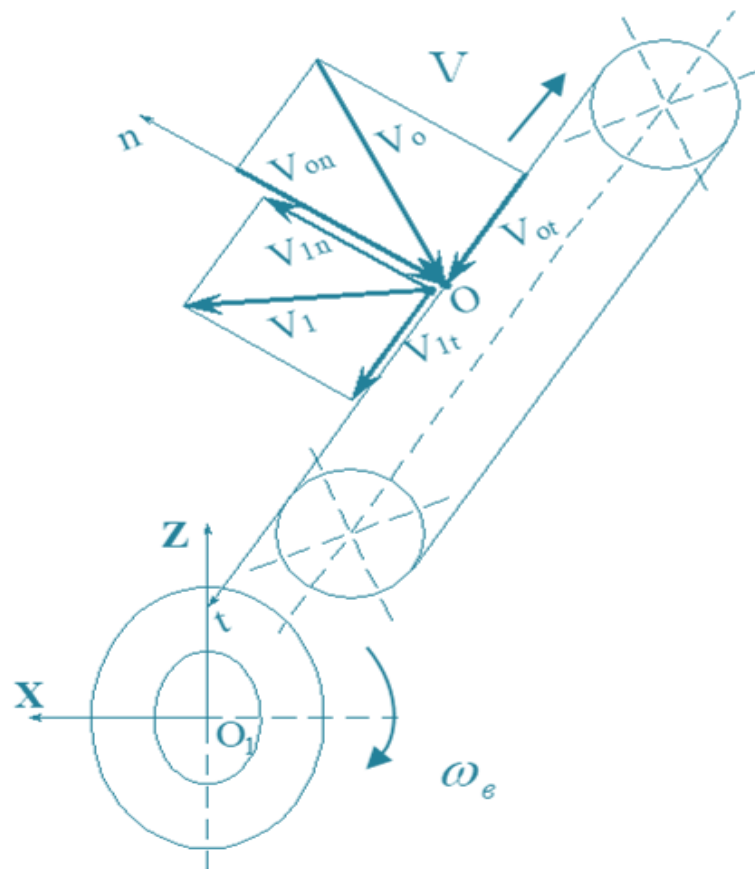


Рис. 2.1. Схема для розрахунку кінематичного режиму очисника.

Початкова швидкість коренеплоду при контакті з гіркою визначається умовою його передачі із подавального транспортера. Згідно із дослідженнями [35] існує зона раціональних значень швидкостей, напрямку руху коренеплоду та віддалі його падіння на гірку.

При падінні на гірку середні значення проекцій швидкостей становлять

$$V_{ox} = -V_o \cos \alpha_T; \quad V_{oy} = 0; \quad V_{oz} = -V_o \sin \alpha_T, \quad (2.1)$$

де V_o - проекція початкової швидкості коренеплоду в момент його дотику до полотна гірки, м/с;

α_T - кут нахилу траєкторії польоту коренеплоду.

При цьому коренеплід матиме обертання з кутовою швидкістю ω_o відносно власної осі обертання, що розміщена відносно осі коренеплоду із кутовим зміщенням γ_o .

Як показали експериментальні дослідження, при подачі коренеплодів на гірку із скребкового транспортера створюються умови за яких кут γ_o не перевищує кута конусності коренеплоду, а середина поля розсіювання осі обертання коренеплоду в загальній системі координат відповідає горизонтальному її розміщенню [35].

Контактуючи із пальчиками очисної гірки, коренеплід відскакує набувши нових значень складових лінійних і кутових швидкостей. При цьому нормальна складова швидкості зменшується згідно із значенням коефіцієнта відновлення k_V , а тангенціальна складова набуде певного приросту, який зумовлюється зміною кутової швидкості обертання коренеплоду в момент контакту та лінійною швидкістю V_2 полотна гірки.

Для розгляду зміни кінематичних параметрів коренеплоду після контакту із гіркою розглянемо власну систему координат гірки (рис. 2.1), нерухому відносно системи O_1XVZ , вісь Ot , напрямок якої протилежний напрямку швидкості руху полотна гірки, вісь On , яка розміщена по нормалі до полотна, а вісь Ob – паралельно осі O_1U загальної системи координат.

Оскільки напрямки ортів системи O_1XVZ та $Onbt$ співпадатимуть при

повороті системи $Onbt$ на кут β відносно осі O_1Y (Ob), то складові початкової швидкості коренеплоду V_0 в системі $On_1b_1t_1$ можна отримати використовуючи матричні перетворення відповідних систем координат

$$\begin{pmatrix} V_{on} \\ V_{ob} \\ V_{ot} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(+\beta); 0; \sin(+\beta); 0 \\ 0; 1; 0; 0 \\ -\sin(+\beta); 0; \cos(+\beta); 0 \\ 0; 0; 0; 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{ox} \\ V_{oy} \\ V_{oz} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ox} \cos \beta + V_{oz} \sin \beta \\ V_{oy} \\ -V_{ox} \sin \beta + V_{oz} \cos \beta \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2.2)$$

Враховуючи початковий напрям руху коренеплоду, середні значення проекції швидкості до зіткнення будуть:

$$V_{on} = -V_0(\cos \alpha_T \cos \beta + \sin \alpha_T \sin \beta) = -V_0 \cos(\beta - \alpha_T);$$

$$V_{ob} = 0;$$

$$V_{ot} = V_0(\cos \alpha_T \sin \beta - \cos \beta \sin \alpha_T) = V_0 \sin(\beta - \alpha_T). \quad (2.3)$$

Після контактної взаємодії швидкість коренеплоду буде

$$V_{1n} = k_V V_{on}, \quad (2.3')$$

де k_V - коефіцієнт відновлення швидкості;

V_{on} - нормальна складова швидкості коренеплоду, м/с.

Тангенціальні складові швидкостей по осях Ot та Ob будуть становити

$$V_{1t} = V_{ot} - \Delta\omega_{ob} r_k + V_2; \quad V_{1b} = \Delta\omega_{ot} r_k, \quad (2.3'')$$

де $\Delta\omega_{ob}$ та $\Delta\omega_{ot}$ - втрати значень кутових швидкостей за контактної взаємодії;

ω_{ob} та ω_{ot} - проекції вектора кутової швидкості ω_0 на відповідні осі;

r_k - радіус коренеплоду.

Для визначення проекцій швидкості V_1 (після контактної взаємодії) зробимо зворотні перетворення шляхом зворотного повороту системи координат $Onbt$ в початковий стан

$$\begin{pmatrix} V_{1x} \\ V_{1y} \\ V_{1z} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(-\beta); 0; \sin(-\beta); 0 \\ 0; 1; 0; 0 \\ -\sin(-\beta); 0; \cos(-\beta); 0 \\ 0; 0; 0; 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{1n} \\ V_{1b} \\ V_{1t} \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2.4)$$

Відповідно,

$$V_{1x} = k_V V_0 \cos(\alpha_T - \beta) \sin \beta - V_0 \sin(\alpha_T - \beta) \cos \beta - (\Delta\omega_{ob} r_k - V_2) \cos \beta;$$

$$V_{1y} = \Delta\omega_{ot}r_k;$$

$$V_{1z} = k_V V_o \cos(\alpha_T - \beta) \cos \beta + V_o \sin(\beta - \alpha_T) \sin \beta - (\Delta\omega_{ob}r_k - V_2) \sin \beta. \quad (2.5)$$

Розв'язок рівнянь (2.5), який було проведено за допомогою комп'ютерної програми, дозволив встановити залежності зміни середніх значень складових швидкостей співудару коренеплоду після контакту з полотном гірки від втрати його кутової швидкості обертання.

Оскільки гірка служить одночасно пристроєм, що переміщує коренеплоди на гвинтово-еліпсний очисник, то визначення характеру руху коренеплоду після контактної взаємодії є важливим ще з точки зору подальшої взаємодії коренеплоду з жорстким очисником.

Складові $\Delta\omega_{on}$ та $\Delta\omega_{ot}$ можна визначити з умови контактної взаємодії коренеплоду з полотном гірки.

Враховуючи невеликі зміни середніх значень швидкості співудару (взаємодії) коренеплоду із полотном гірки (в межах 0,9...1,8 м/с), опишемо залежність лише силою удару та величиною теоретичного зближення за формулою Герца [14] контактуючих поверхонь та властивостей матеріалу коренеплоду E_k, μ_k

$$P = ku^{\frac{3}{2}}; \quad (2.6)$$

$$k = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{r_k r_2}{r_k + r_2}} \left[\frac{1 - \mu_1^2}{E_k} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right]^{-1}, \quad (2.7)$$

де k - постійна, що залежить від геометрії полотна гірки E_T, μ_2 ;

r_2 - радіус кривизни поверхні контакту гірки.

Розглянемо сили, які прикладені до коренеплоду, враховуючи ударну силу P та силу контактної тертя F_T та відповідні моменти сил, що діють на коренеплід у випадку центрального удару (сила P направлена до центра ваги).

Рівняння руху, що містять сили, записуємо в загальній системі координат O_1XYZ

$$\sum x = P_x + F_x - ma_x = 0;$$

$$\begin{aligned}\sum y &= P_y + F_y - ma_y = 0; \\ \sum z &= P_z + F_z - ma_z - mg = 0.\end{aligned}\quad (2.8)$$

Рівняння, що включають моменти, записуємо відповідно в власній системі координат коренеплоду $O_K X_K Y_K Z_K$

$$\begin{aligned}\sum M_{xk} &= F_{yk}(z_{ek} - z_{ck}) - F_{zk}(y_{ek} - y_{ck}) - L_{oxu}^e = 0; \\ \sum M_{yk} &= F_{zk}(x_{ek} - x_{ck}) - F_{xk}(z_{ek} - z_{ck}) - L_{oyu}^e = 0; \\ \sum M_{zk} &= F_{xk}(y_{ek} - y_{ck}) - F_{yk}(x_{ek} - x_{ck}) - L_{ozu}^e = 0,\end{aligned}\quad (2.9)$$

де F_{xk}, F_{yk}, F_{zk} - проекції сил контактного тертя на осі власної системи координат коренеплоду;

x_{ck}, y_{ck}, z_{ck} - координати центра ваги $x_{ck} = y_{ck} = z_{ck} = 0$;

x_{ek}, y_{ek}, z_{ek} - координати точки контакту у власній системі координат коренеплоду;

$L_{oxu}^e, L_{oyu}^e, L_{ozu}^e$ - проекції векторної суми моментів сил [4]

$$\begin{aligned}L_{oxu}^e &= I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y)\omega_y\omega_z; \\ L_{oyu}^e &= I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z)\omega_x\omega_z; \\ L_{ozu}^e &= I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x)\omega_x\omega_y.\end{aligned}\quad (2.10)$$

де I_x, I_y, I_z - осьові моменти інерції відносно осей коренеплоду.

$$\text{Згідно [6]} \quad I_z = \frac{mr_k^2(3H_k + 8r_k)}{10(H_k + 2r_k)}, \quad (2.11)$$

де m - маса кореня; H_k - відстань від центра маси коренеплоду до його кінця.

Враховуючи те, що H_k/r_k - величина практично постійна в межах певного сорту, то залежність (2.11) можна подати як

$$I_z = k_z m_k r_k^2, \quad k_z = \frac{I_z}{m_k r_k^2}. \quad (2.11)$$

Приймаючи коренеплід круглим у поперечному січенні аналогічним

чином знайдемо, що $I_x = I_y = k_x m r_k^2$, де $k_x = k_y$.

Відповідно формули Ейлера набудуть вигляду

$$\begin{aligned} L_{oxk}^e &= I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (k_z - k_y) m r_k^2 \omega_y \omega_z; \\ L_{oyk}^e &= I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (k_x - k_z) m r_k^2 \omega_z \omega_x; \\ L_{ozk}^e &= I_z \frac{d\omega_z}{dt}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Зв'язок між системою координат коренеплоду для початкового моменту часу встановлюється за залежністю (2.2).

Таким чином, знаючи значення вектора сил F в системі координат O_1XYZ , можемо знати розміщення його у системі координат коренеплоду. Аналогічним чином визначатимуться координати точки контакту x_{ek}, y_{ek}, z_{ek} .

В загальній системі координат точка контакту при центральному ударі буде лежати на нормалі, опущеній із центра коренеплоду до поверхні гірки.

Відповідно

$$x_e = x_c - r_k \sin \beta; \quad y_e = y_c; \quad z_e = z_c - r_k \cos \beta. \quad (2.13)$$

Відповідний вектор-радіус точки контакту відносно центра коренеплоду матиме координати: $\bar{r}_e = -\sin \beta \bar{i} - \cos \beta \bar{k}$. Перехід від власної до загальної системи координат можемо здійснювати також матричним чином з використанням властивостей однорідних систем координат

$$\begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & 0 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & 0 \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{ek} \\ y_{ek} \\ z_{ek} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2.14)$$

де α_{ik} - компонента матриці переходу $P(\alpha)$.

Для визначення кінематичних та динамічних параметрів коренеплоду при його контактній взаємодії з гіркою розроблена програма числового розв'язку рівнянь руху коренеплоду (2.8, 2.9) в якій реалізована процедура числового диференціювання роздільно для рівнянь (2.8) в нерухомій системі координат O_1XYZ та рівнянь (2.9) в системі координат коренеплоду $O_kX_kY_kZ_k$.

Після відскоку від гірки коренеплід знаходиться у вільному польоті. Його початкова швидкість згідно (2.5) має складові V_{1x}, V_{1z} . В довільний момент часу t складова швидкості по осі O_1X не змінюється, а по O_1Z змінюється під впливом сили тяжіння g згідно відомих залежностей: $V_t = V_{1x}$; $V_z = V_{1z} - gt$.

Відповідно, біжучі координати:

$$\begin{cases} x = x_1 + V_{1x}t \\ z = z_1 + V_{1z}t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad (2.15)$$

Тому що $t = (x_2 - x_1)/V_{1x}$, то траєкторія коренеплоду описується залежністю:

$$z = z_1 + \frac{V_{1z}}{V_{1x}}(x_2 - x_1) - \frac{g}{2V_{1x}^2}(x_2 - x_1)^2. \quad (2.16)$$

Значення складових швидкості V_2 в момент зіткнення коренеплоду залежить від заданих параметрів регулювання по висоті Δz та довжині Δx зони зміщення, яка регулюється взаємним розміщенням транспортера та першого еліпсного вальця. Якщо конструктивно задається зміщення $\Delta x = x_2 - x_1$, то складові швидкості V_2 рівні:

$$V_{2x} = V_x ; \quad (2.17)$$

$$V_{2z} = V_{1z} - \frac{gx}{V_{1x}}. \quad (2.18)$$

Якщо загальний перепад по висоті Δh , то час польоту:

$$t = \frac{V_{1z}}{g} + \sqrt{\frac{V_{1z}^2}{g^2} + \frac{2\Delta z}{g}}. \quad (2.19)$$

Відповідно:

$$V_{2x} = V_{1x}; \quad (2.20)$$

$$V_{2z} = V_{1z} - g\left(\frac{V_{1z}}{g} + \sqrt{\frac{V_{1z}^2}{g^2} + \frac{2\Delta z}{g}}\right). \quad (2.21)$$

Отже приведені залежності дозволяють оцінити значення швидкості коренеплоду в момент зустрічі із ребром очисника при відомій швидкості \bar{V}_1 , та конструктивному параметрі Δh (чи Δx).

Координати точки контакту коренеплоду із шнеком шукаємо із сумісного

розв'язку рівнянь траєкторії коренеплоду і зовнішньої поверхні перетину шнека (рис. 2.2) в проекції на площину XOZ

$$\begin{cases} z = z_1 + \frac{V_{1z}}{V_{1x}}(x - x_1) - \frac{g}{2V_x^2}(x - x_1)^2; \\ x^2 + z^2 = R_2^2, \end{cases} \quad (2.22)$$

де R_2 - радіус еліпсного вальця, м.

Ця система рівнянь розв'язується відомими числовими методами.

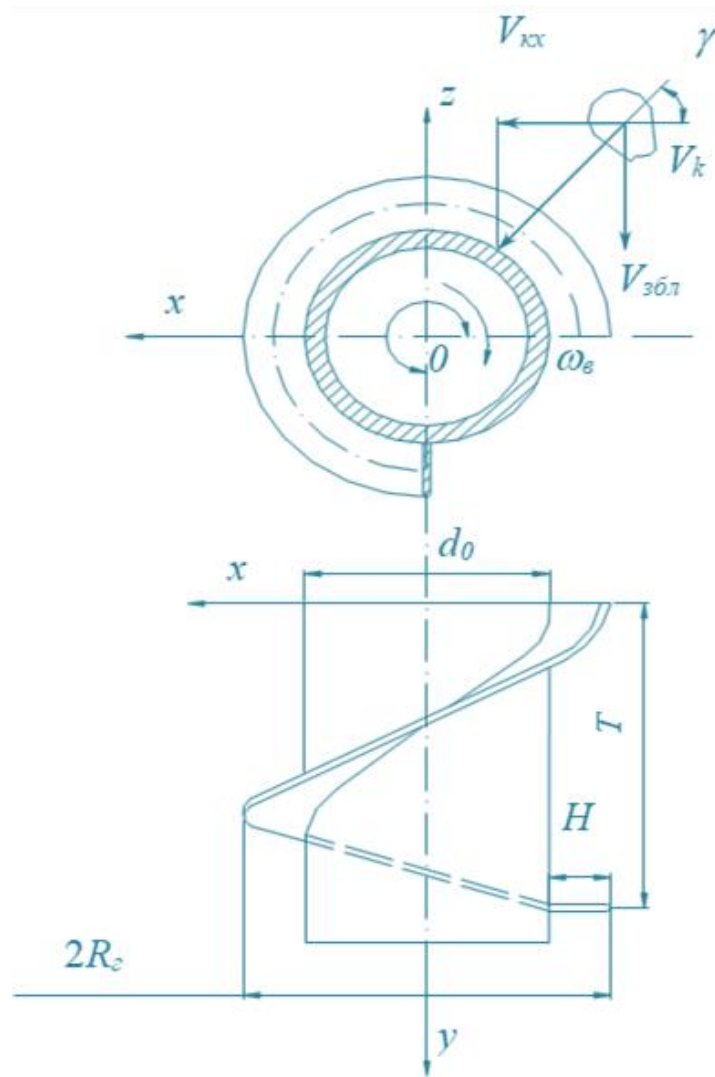


Рис. 2.2. Схема падіння коренеплоду на валець гвинтово-еліпсного очисника.

При скочуванні коренеплоду по полотну гірки його швидкість V_c частково гаситься втратами на тертя, а тому вона менша швидкості V_2 , яку має вільно

падаючий коренеплід ($V_c < V_2$), тому з умови пошкодження коренеплодів вибираємо випадок, коли швидкість коренеплоду $V_k = V_2$.

Розглянемо умови взаємодії коренеплоду із рифом очисника. Коренеплід перед попаданням на шнековий очисник матиме певну швидкість

$$V_k = V_x \cdot \bar{i} + V_y \cdot \bar{j} + V_z \cdot \bar{k}. \quad (2.23)$$

де $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ - відповідні одиничні вектори швидкостей.

Він буде контактувати практично тільки із заокругленою частиною зовнішньої сторони гвинтового рифа, оскільки його висота менша радіуса коренеплодів r_k .

Крім цього найбільше пошкодження коренеплодів відбувається при такому його контакті із шнековими рифами. Якщо прийняти, що найближчий до гірки валець обертається назустріч потоку коренеплодів, а потік коренеплодів по очиснику спрямований за віссю OY , то гвинтове навивання шнеків матиме правий напрямок.

Зовнішня заокруглена частина рифа представляє собою частину поверхні циліндричної пружини із гвинтовою віссю. Рівняння такої гвинтової осі в параметричній формі буде мати вигляд

$$x_\tau = -R_2 \cdot \cos(\tau + \tau_0); \quad y_\tau = \frac{T \cdot \tau}{2\pi}; \quad z_\tau = R_2 \cdot \sin(\tau + \tau_0), \quad (2.24)$$

де τ, τ_0 - відповідно, кутовий параметр гвинтової лінії та початкове значення параметру τ , який відповідає куту перетину гвинтової лінії із площиною OXZ ;

T - крок гвинта, рад.

Оскільки вальці обертаються з кутовою швидкістю ω_B , то і параметр τ_0 змінюватиметься в часі, $\tau_0 = \omega_B \cdot t$.

Перший валець обертається в напрямку пальчикової гірки і в системі координат $OXYZ$ його кутова швидкість буде від'ємною, тобто $\omega_1 = -\omega_B$. Рівняння гвинтової осі, що обертається навколо вісі OY , буде змінним в часі t

$$x_{\tau,t} = -R_2 \cdot \cos(\tau - \omega_B t); \quad y_{\tau,t} = \frac{T \cdot \tau}{2\pi}; \quad z_{\tau,t} = R_2 \cdot \sin(\tau - \omega_B t). \quad (2.25)$$

Якщо розглянути проекцію гвинтової лінії (осі) на площину OXZ , то кожна точка параметром τ в даний момент часу t матиме кругове розміщення ψ згідно рис. 2.3, який буде рівний $\psi = \tau - \omega_e t$.

Рівняння поверхні профілю, що рівновіддалений від гвинтової осі на віддалі радіуса r заокруглення кромки згідно [6]

$$\begin{aligned} x &= x(\tau_1 t) + \frac{r \cdot \dot{r}_\tau}{\sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2}} \cos(\xi + \xi_0 + \xi_x) - \frac{r \cdot \dot{x}_\tau \cdot \dot{y}_\tau}{\sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2} \sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{y}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2}} \sin(\xi + \xi_0 + \xi_x); \\ y &= y(\tau_1 t) + \frac{r \cdot \sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2}}{\sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{y}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2}} \sin(\xi + \xi_0 + \xi_x); \\ z &= z(\tau_1 t) + \frac{r \cdot \dot{x}_\tau}{\sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2}} \cos(\xi + \xi_0 + \xi_x) - \frac{r \cdot \dot{y}_\tau \cdot \dot{z}_\tau}{\sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2} \sqrt{\dot{x}_\tau^2 + \dot{y}_\tau^2 + \dot{z}_\tau^2}} \sin(\xi + \xi_0 + \xi_x), \end{aligned} \quad (2.26)$$

де ξ - кутовий параметр поверхні, що вказує на розміщення довільної точки профілю в нормальному січенні, рад.;

ξ_0 - початковий кут виміру параметру ξ , рад.;

ξ_x - кут, що враховує кручення осі профілю при її просторовому розміщенні, залежить від параметру τ , рад.

Для поверхні округлення, вісь якої є гвинтовою лінією кут кручення визначиться за залежністю

$$\xi_x = \frac{\tau \cdot T}{\sqrt{4 \cdot \pi^2 \cdot R_e^2 + T^2}} = \tau \cdot \sin \alpha, \quad (2.27)$$

де α - кут підйому гвинтової лінії вздовж осі заокруглення, град.

Для визначення кінематичних та динамічних параметрів взаємодії коренеплоду із рифом немає потреби розглядати весь валець в цілому, а достатньо виділити зону контакту, що відповідає координаті контакту коренеплоду в точці E , тобто $y = y_e$.

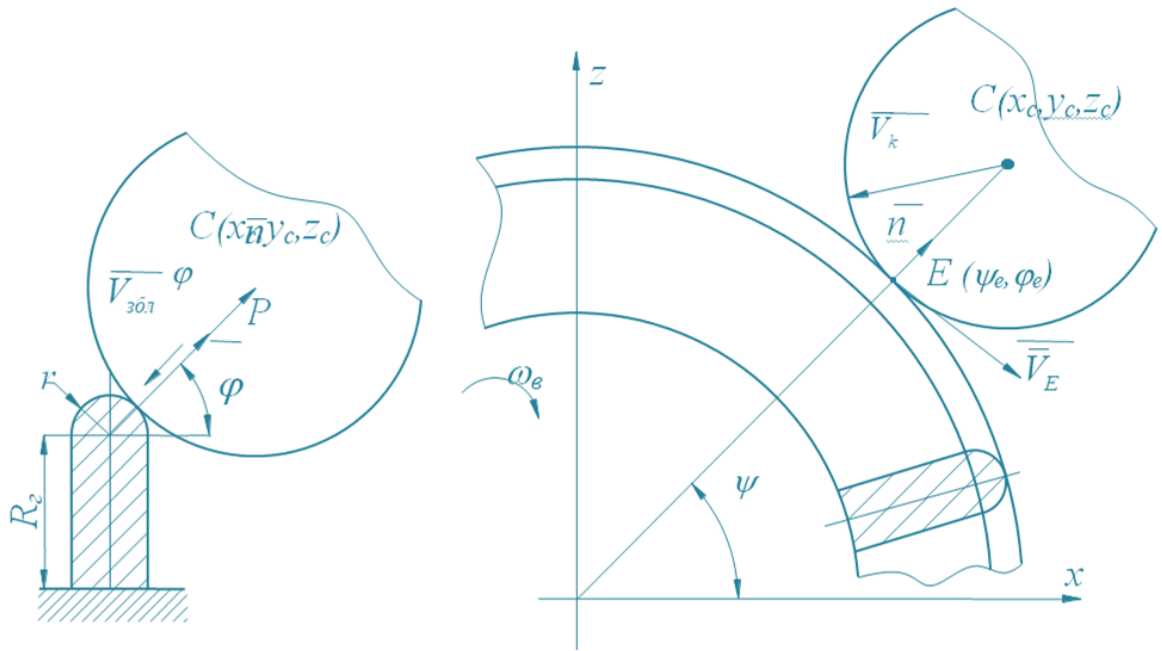


Рис. 2.3. Схема взаємодії коренеплоду з рифом очисника.

У площині з відповідною координатою виділимо нормальне січення, в якому точки поверхні округлення визначатимуться координатами, відповідно

$$\psi = \tau - \omega_e t; \quad \phi = \xi + \xi_0 + \xi_x. \quad (2.28)$$

Тоді рівняння поверхні округлення рифа описується залежностями

$$\begin{aligned} x &= -R_2 \cos \psi + r \cos \psi \sin \phi - r \sin \alpha \sin \psi \sin \phi; \\ y &= \frac{T_2}{2\pi} (\psi + \omega t) + r \cos \alpha \sin \phi; \\ z &= R_2 \sin \psi + r \sin \psi \cos \phi - r \sin \alpha \cos \psi \sin \phi, \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\text{де } \sin \alpha = \frac{T}{\sqrt{4\pi^2 R_2^2 + T^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{2\pi R_2}{\sqrt{4\pi^2 R_2^2 + T^2}}.$$

Коренеплід контактує із поверхнею рифа в точці із параметрами ϕ і ψ і ця точка лежить в площині, що є нормаллю до гвинтової лінії із параметром τ_0 .

Рівняння нормальної площини

$$(x - x_{\tau_0}) \frac{dx_{\tau}}{d\tau} + (y - y_{\tau_0}) \frac{dy_{\tau}}{d\tau} + (z - z_{\tau_0}) \frac{dz_{\tau}}{d\tau} = 0. \quad (2.30)$$

$$\text{Тут } \frac{dx_{\tau}}{d\tau} = R_2 \sin \psi; \quad \frac{dy_{\tau}}{d\tau} = \frac{T_2}{2\pi}; \quad \frac{dz_{\tau}}{d\tau} = R_2 \cos \psi.$$

Нормальна сила взаємодії коренеплоду із рифом направлена по нормалі

до поверхні округлення і залежить від швидкості нормального зближення коренеплоду та рифа.

Вектор нормалі \bar{n} лежить в нормальній площині і для точки з параметрами $E(\phi_e, \psi_e)$ буде дорівнювати

$$\begin{aligned} \bar{n} = & (\cos \phi \cos \psi - \sin \alpha \sin \phi \sin \psi) \cdot \bar{i} + \\ & + \cos \alpha \sin \phi \cdot \bar{j} - (\cos \phi \sin \psi - \sin \alpha \sin \phi \cos \psi) \cdot \bar{k}. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Кожна точка заокругленої поверхні обертається разом із шнековим рифом і швидкість точки E в місці контакту буде

$$\begin{aligned} \bar{V}_E = & \frac{dx(\psi_1 \phi_1)}{dt} \bar{i} + \frac{dy(\psi_1 \phi_1)}{dt} \bar{j} + \frac{dz(\psi_1 \phi_1)}{dt} \bar{k} = \\ = & [-(R_2 - r \cos \phi_e) \sin \psi_e + r \sin \alpha \sin \phi_e \cos \psi_e] \omega_e \bar{i} - \\ & - [(R_2 - r \cos \phi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \phi_e \sin \psi_e] \omega_e \bar{k}. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Нехай траєкторія падіння коренеплоду на рифи очисника буде направлена під кутом γ до горизонту.

Тоді вектор швидкості коренеплоду буде

$$\bar{V}_k = V_k \cos \gamma \bar{i} + 0 \bar{j} - V_k \sin \gamma \bar{k}. \quad (2.33)$$

Самі небезпечні пошкодження виникають при прямому центральному ударі, то змодельємо центральну частину коренеплоду сферою радіусом r_k .

Тоді в момент контакту центр ваги коренеплоду буде знаходитись на нормалі, проведеній до поверхні рифа в точці контакту $E(\psi_e, \phi_e)$.

Координати центра коренеплоду в момент контакту будуть

$$\begin{aligned} x_c = & -R_2 \cos \psi_e + (r + r_k) \cos \psi_e \cos \phi_e - (r + r_k) \sin \alpha_e \sin \psi_e \sin \phi_e; \\ y_c = & \frac{T}{2\pi} (\psi_e + \omega_e t) + (r + r_k) \cos \alpha \sin \phi; \\ z_c = & R_2 \sin \psi_e + (r + r_k) \sin \psi_e \cos \phi_e - (r + r_k) \sin \alpha_e \cos \psi_e \sin \phi_e. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Звідси умова контакту з рифом буде полягати в тому, що коренеплід знаходиться на віддалі $\rho = r + r_k$ від осі гвинтової лінії, а кутові параметри точки контакту ψ_e та ϕ_e знаходяться в певних межах $\phi_{e_{max_{min}}}$ та $\psi_{e_{max_{min}}}$.

Крім цього контакт в напрямку осі Oy забезпечується відповідним поворотом

вальця в часі.

Відносна швидкість коренеплоду та контактної зони гвинтового рифа

$$\bar{V}_g = \bar{V}_k - \bar{V}_E, \quad (2.35)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_g = \{V_k \cos \gamma + [(R_2 - r \cos \phi_e) \sin \psi_e - r \sin \alpha \sin \phi_e \cos \psi_e] \omega_g\} \bar{i} - \\ - \{V_k \sin \gamma - [(R_2 - r \cos \phi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \phi_e \sin \psi_e] \omega_g\} \bar{k}. \end{aligned} \quad (2.36)$$

Залежності зміни відносної швидкості V_g контакту коренеплоду з рифом еліпсного вальця від кутових параметрів точки контакту ψ_e , ϕ_e , γ і кутової швидкості обертання вальця ω_g , які розраховані згідно формули 2. 36, наведені відповідно, на рис. 2.4, 2.5.

Аналіз наведених залежностей показує, що зміна відносних швидкостей має косинусоїдальний (синусоїдальний) характер і збільшується з збільшенням кутових параметрів - максимальне значення V_g (по модулю) досягається при кутових параметрах близьких до 90° і, як правило не перевищує 2,0 м/с. Графік зміни відносної швидкості в залежності від зміни кутової швидкості обертання вальця має лінійний характер.

Швидкість нормального зближення коренеплоду із рифом буде

$$\begin{aligned} |\bar{V}_{збл}| = |\bar{V}_g \cdot \bar{n}| = \{V_k \cos \gamma + [(R_2 - r \cos \phi_e) \sin \psi_e - r \sin \alpha \sin \phi_e \cos \psi_e] \omega_g\} \times \\ \times (\cos \phi_e \cos \psi_e - \sin \alpha \sin \phi_e \sin \psi_e) - \\ - \{V_k \sin \gamma - [(R_2 - r \cos \phi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \phi_e \sin \psi_e] \omega_g\} \times \\ \times (\cos \phi_e \sin \psi_e - \sin \alpha \sin \phi_e \cos \psi_e). \end{aligned} \quad (2.37)$$

На рис. 2.6, 2.7 наведено залежності швидкості нормального зближення коренеплоду з рифом від зміни кутових параметрів ψ_e , ϕ_e , які розраховані гідно залежності 2.37.

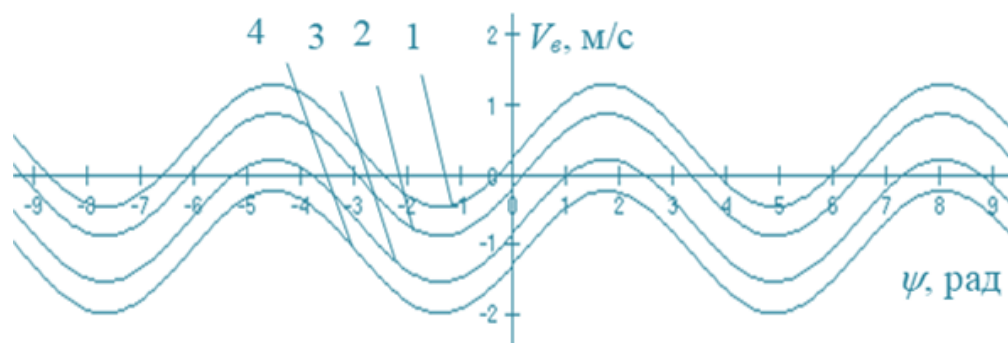


Рис. 2.4. Залежність зміни відносної швидкості коренеплоду від кутового параметру ψ_e при $\phi_e = 30^\circ$:

1 – $\gamma = 30^\circ$; 2 – $\gamma = 45^\circ$; 3 – $\gamma = 70^\circ$; 4 – $\gamma = 90^\circ$.

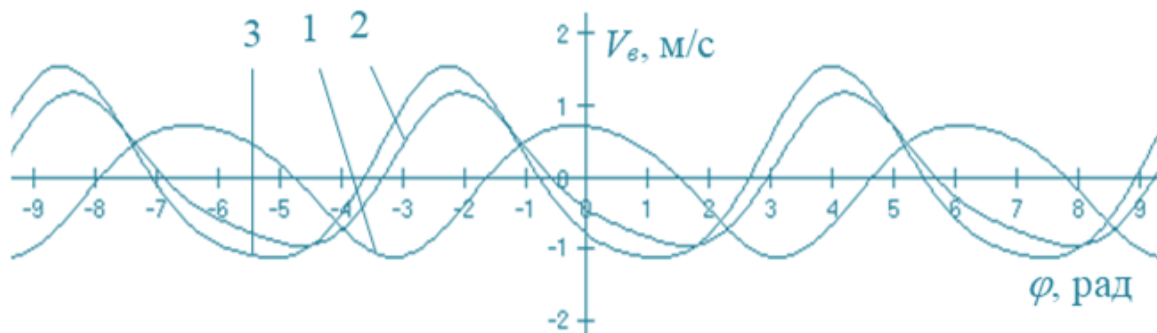


Рис. 2.5. Залежність зміни відносної швидкості коренеплоду від кутового параметру ϕ при $\gamma = 45^\circ$: 1 – $\psi = 30^\circ$; 2 – $\psi = 75^\circ$; 3 – $\psi = 90^\circ$.

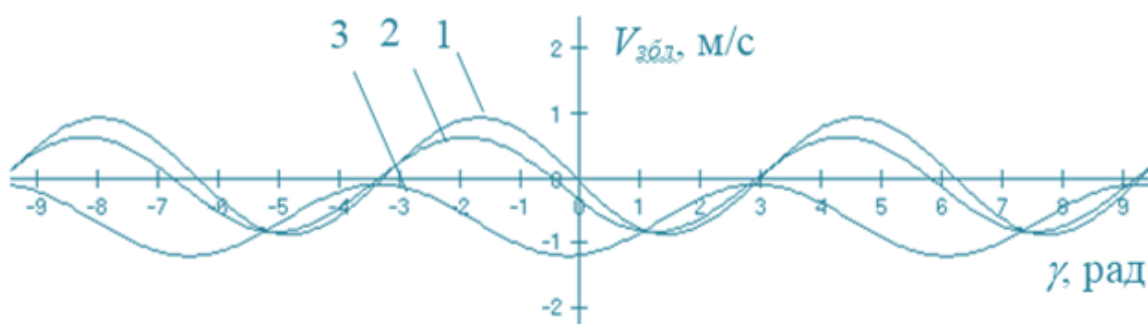


Рис. 2.6. Залежність зміни швидкості нормального зближення коренеплоду від кутового параметру γ при $\phi = 45^\circ$:

1 – $\psi = 30^\circ$; 2 – $\psi = 45^\circ$; 3 – $\psi = 90^\circ$.

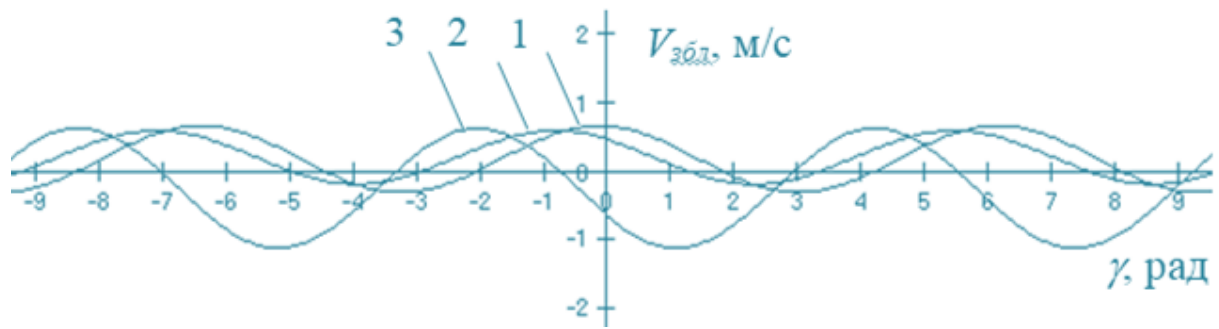


Рис. 2.7. Залежність зміни швидкості нормального зближення коренеплоду від кутового параметру γ при $\psi=75^\circ$:

1 – $\varphi = 30^\circ$; 2 – $\varphi = 45^\circ$; 3 – $\varphi = 90^\circ$.

Максимальна допустима швидкість зближення V_0 (м/с) поверхні робочого органу з коренеплодом повинна обмежуватися нерівністю [18]

$$V_0 = \sqrt{\frac{4(1-\varepsilon)[\sigma]_{\text{дн}}^{\frac{5}{3}} F_k^{\frac{5}{3}}}{5mk^{\frac{2}{3}}}}, \quad (2.38)$$

де ε - величина, що враховує долю силу ваги в динамічному навантаженні;

F_k - площа контактної зони, м²;

m - маса коренеплоду, кг.

Вектор швидкості зближення направлений по нормалі до поверхні рифа, а тому у векторному вигляді буде

$$\vec{V}_{\text{збл}} = -|\vec{V}_{\text{збл}}| \cdot \vec{n}. \quad (2.39)$$

При контактній деформації із рифом виникають ударні зусилля, величина яких визначається із залежності [18]

$$P = \frac{5}{4} m \cdot V_{\text{збл}}^2 \cdot k^{\frac{2}{3}}, \quad (2.40)$$

де k - постійна формули Герца, що залежить від властивостей матеріалу тіл взаємодії та радіусів їх кривизни.

Для випадку взаємодії коренеплоду з рифом

$$k = \frac{4}{3} \left(\sqrt[4]{\frac{r_k^2 r (R_c + r)}{(r_k + r)(r_k + R_c + r)}} \right) \left[\frac{1 - \mu_k^2}{E_k} + \frac{1 - \mu_p^2}{E_p} \right], \quad (2.41)$$

де μ_k та μ_p - відповідно коефіцієнт Пуассона для коренеплоду та матеріалу рифа;

E_k та E_p - модулі пружності відповідно коренеплоду та матеріалу рифа.

Максимальні напруження в момент контактної взаємодії визначаються

$$\sigma = \frac{(k^2 P)^{\frac{1}{3}}}{\pi r_k} \sqrt{\left(1 + \frac{r_k}{r}\right) \left(1 + \frac{r_k}{r+R_c}\right)}. \quad (2.42)$$

Отже, визначивши значення швидкості нормальної контактної взаємодії коренеплоду для різних параметрів розміщення ψ та ϕ і початкових швидкостей коренеплоду можна визначити ударні контактні напруження та сили і за відомими методиками оцінити допустиму швидкість взаємодії і відповідно, область допустимої зміни значень ϕ , ψ , ω_B , V_k , γ .

Поряд з нормальною швидкістю взаємодії $\bar{V}_n = \bar{V}_{збл}$ коренеплід переміщається і по поверхні контакту, тобто має тангенціальну швидкість взаємодії.

Якщо знехтувати кутовим обертанням коренеплоду, то тангенціальне переміщення самого коренеплоду буде

$$\bar{V}_{\tau-} = \bar{V}_g - \bar{V}_{збл} = \bar{V}_g + |\bar{V}_{збл}| \cdot \bar{n}. \quad (2.43)$$

Після контактної взаємодії із врахуванням коефіцієнта відновлення швидкості при ударі нормальна складова швидкості буде рівною

$$\bar{V}_{n+} = |\bar{V}_{n-} \cdot k_V| \bar{n} = k_V |\bar{V}_{збл}| \cdot \bar{n}, \quad (2.44)$$

Тангенціальна складова, при нехтуванні кутовими поворотами, збереже свою векторну величину та напрямок

$$\bar{V}_{\tau+} = \bar{V}_{\tau-} = \bar{V}_g + |\bar{V}_{збл}| \cdot \bar{n}. \quad (2.45)$$

Повна відносна швидкість коренеплоду після удару (до рифа) буде

$$\bar{V}_+^g = \bar{V}_{\tau+} + \bar{V}_{n+} = \bar{V}_g + (1 + k_V) |\bar{V}_{збл}| \cdot \bar{n}. \quad (2.46)$$

В системі координат очисника $OXYZ$ швидкість коренеплоду буде

$$\bar{V}_{кор} = \bar{V}_t^g + \bar{V}_E = \bar{V}'_{кор_x} \cdot \bar{i} + \bar{V}'_{кор_y} \cdot \bar{j} + \bar{V}'_{кор_z} \cdot \bar{k}. \quad (2.47)$$

Отже, складова $V'_{кор_y}$ визначає зміни напрямку руху коренеплоду при

переході із гірки на шнековий очисник та визначається за залежністю

$$V'_{\text{кор}_y} = \overline{V}_E + \overline{V}_g + (1 + k_V) |V_{зб}| \overline{n} = \overline{V}_k + (1 + k_g V) |V_{зб}| \overline{n}. \quad (2.48)$$

2.2. Висновки до розділу

На основі проведеного теоретичного аналізу зроблені наступні висновки:

1. В результаті теоретичних досліджень технологічного процесу сепарації коренеплодів виведені аналітичні залежності для визначення зміни відносної швидкості V_B і швидкості нормального зближення $V_{збл}$ коренеплодів з робочими поверхнями еліпсних вальців від їх кутових параметрів, що дало можливість теоретично визначити ударні контактні напруження та силу удару, при цьому максимальні значення швидкостей досягаються при кутових параметрах близьких до 90° і не перевищують 2,0 м/с.

2. Змодельований процес руху коренеплодів в очисній системі дозволяє визначити складову швидкості $V'_{\text{кор}_n}$ за формулою (2.48), що забезпечує визначення напрямку руху коренеплоду в момент переходу із очисної гірки на еліпсний очисник і результуючої швидкості співудару коренеплодів (2.97), яка не повинна перевищувати межу допустимої швидкості співудару при прямому центральному ударі за умови не пошкодження коренеплодів.

3. Результуюча швидкість еліпсного вальця повинна знаходитися в межах 3,7...6,3 м/с при зміні усередненого діаметра гвинта $0,1 \text{ м} \leq D_y \leq 0,2 \text{ м}$ і встановленій межі допустимої швидкості співудару 3,5 м/с, а максимально допустиме значення кутової швидкості обертання вальця обмежується допустимою швидкістю співудару коренеплодів з гвинтовою еліпсною поверхнею і становить 15,0...17,0 рад/с при усередненому діаметрі вальців 0,18 м і швидкості руху полотна очисної гірки 1,2 м/с та її кута нахилу до горизонту 55° .

3. Програма та методика проведення експериментальних досліджень

3.1. Програма експериментальних досліджень

Згідно мети магістерської роботи і поставлених задач, а також проведеного теоретичного аналізу, програма експериментальних досліджень включає наступні питання:

1. На основі проведеного аналізу роботи відомих очисників вороху коренеплодів обґрунтувати технологічний процес очищення вороху та розробити конструктивно-технологічну схему очисної системи з застосуванням гвинтово-еліпсного очисника.

2. Провести лабораторні дослідження втрат, забрудненості і пошкодження коренеплодів, тобто показників ефективності процесу розділення коренеплодів від земляних грудок і рослинних залишків на очисній системі і обґрунтувати раціональні конструктивні і кінематичні параметри гвинтово-еліпсного очисника.

3. Провести експериментальні польові дослідження гвинтово-еліпсного очисника на коренезбиральній машині і визначити основні агротехнічні показники якості роботи в залежності від зміни вологості ґрунту.

4. Провести порівняльну оцінку ефективності використання коренезбиральної машини МКП-6, обладнаної розробленим очисником і базової машини в умовах господарства.

Експериментальні дослідження проведені з використанням розроблених дослідного стенду очисної системи та експериментальної польової установки з можливістю регулювання конструктивно-кінематичних параметрів з метою підтвердження та доповнення теоретичних і отримання необхідних експериментальних залежностей для обґрунтування параметрів робочого органу гвинтово-вальцьового очисника вороху та основних режимів роботи коренезбиральної машини.

3.2. Об'єкт та предмет експериментальних досліджень

Об'єктом експериментальних досліджень є конструктивно-кінематичні параметри очисної системи і їх характер взаємодії впливу на показники якості виконання технологічного процесу очищення вороху цукрових буряків, а предметом - принципово нова конструктивна схема очисника вороху.

З позиції системного аналізу структурну модель очисної системи бурякозбиральних машин можна представити у вигляді багатомірної системи “вхід-вихід”, або так званого кібернетичного поняття “чорного ящика” [47]. Вхідними незалежними змінними величинами, або змінними факторами даної системи є її конструктивно-кінематичні параметри, а вихідними параметрами, або параметрами оптимізації – показники якості очищення вороху коренеплодів.

Дослідження функціонування такої структурної моделі очисної системи зводиться до встановлення характеру взаємодії вхідних факторів між собою і їх сумісного впливу на об'єкт дослідження, тобто до встановлення аналітичних залежностей агротехнічних показників якості роботи від змінних конструктивно-кінематичних параметрів очисної системи.

Для проведення лабораторних експериментальних досліджень виготовлено лабораторну стаціонарну установку очисної системи, конструктивна схема та загальний вигляд якої наведені, відповідно на рис. 3.1, 3.2. На рис.3.3 наведено досліджувані еліпсні вальці, усереднений зовнішній діаметр яких становив 100, 150 і 200 мм.

Стаціонарна установка складається зі зварної рами 11, на якій встановлено очисну пальчикову гірку 6, завантажувальний транспортер 3 та гвинтово-еліпсний очисник 5, який виконано в вигляді системи пар еліпсних вальців між якими встановлено гладкий валець 9. Привод гірки й транспортера здійснюється від гідромоторів 8 і 10. На рамі встановлено електродвигун 1 із насосною станцією 15 і масляний бак 2. Кут нахилу гірки регулюється за

допомогою тяги 7, а кут нахилу транспортера шляхом переміщення веденого вала за допомогою регулювальної штанги 12. Відстань між завантажувальним транспортером і гіркою регулюється шляхом переміщення транспортера вздовж направляючих стійок 4.

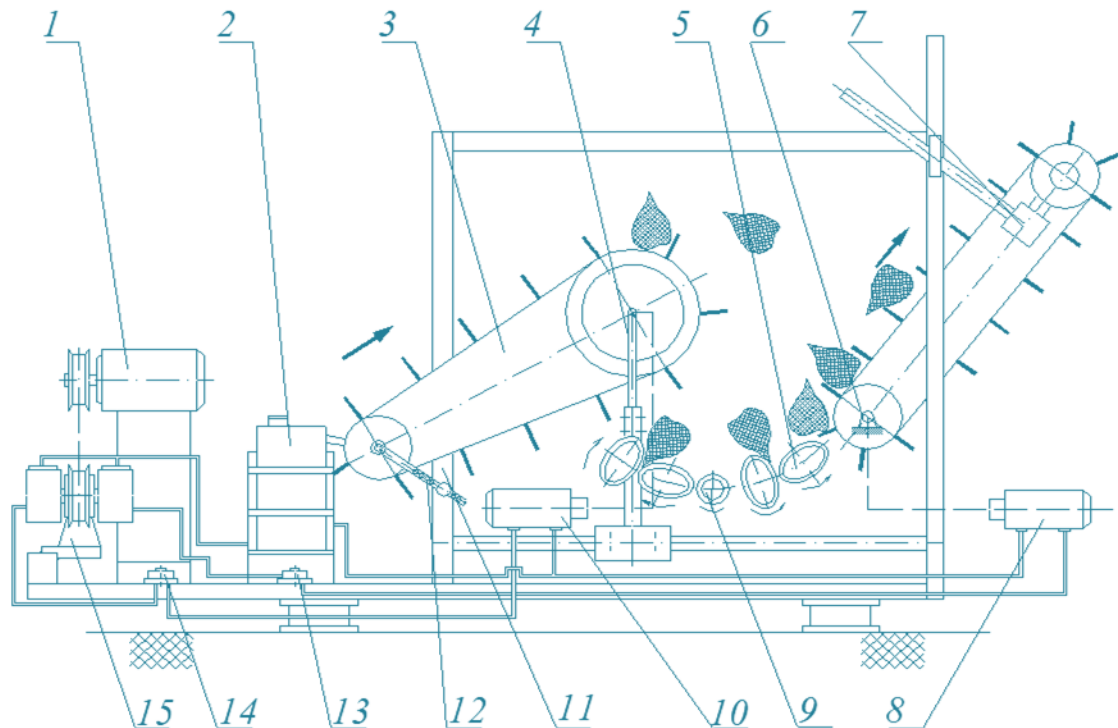


Рис. 3.1. Конструктивна схема лабораторної установки:

1 – електродвигун; 2 – масляний бак; 3 – завантажувальний транспортер; 4 – направляюча стійка; 5 – гвинтово-еліпсний очисник; 6 – очисна гірка; 7 – регулювальна тяга; 8, 10 – гідромотори станції; 9 – гладкий валець; 11 – рама; 12 – регулювальна штанга; 13, 14 – регулювальні дроселі; 15 – гідронасосна станція.

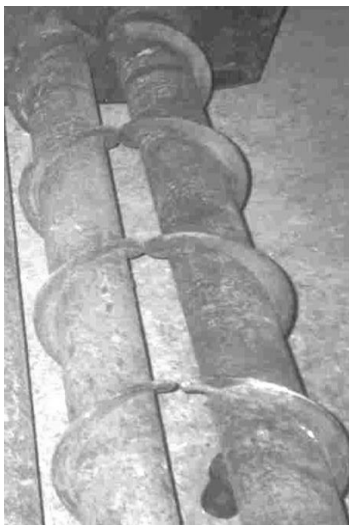
Процес роботи очисної системи здійснюється наступним чином. Ворох, складовими компонентами якого є коренеплоди, ґрунтові і рослинні домішки, по полотняному транспортері (на рис.3.1 не показано) надходить до завантажувального транспортера 3, який переміщує компоненти вороху на пальчикову очисну гірку 6. За рахунок виконання очисних елементів гірки у вигляді еластичних пальців відбувається активне перекочування і ковзання

коренеплодів по робочій поверхні полотна, що спричиняє захоплення пальцями домішок ґрунту з рослинними рештками і винесенням їх за межі машини.

Коренеплоди скочуються з полотна гірки і попадають на повздовжні еліпсні вали гвинтово-еліпсного очисника 5. Переміщуючись вздовж русла коренеплоди інтенсивно очищуються від землі і рослинних домішок, які просіюються в зазор між валами.



Рис. 3.2. Загальний вигляд лабораторної установки.



а

б

в

Рис. 3.3. Загальний вигляд гвинтових еліпсних вальців:

а - $D_y = 100$ мм; б - $D_y = 150$ мм; в - $D_y = 200$ мм

Радіус півеліпса, за яким розташовували осі обертання еліпсних вальців і гладкого вальця 9 (рис. 3.4) та віддалі між осями еліпсних вальців, які утворювали робоче русло очисника 5, регулювали переустановленням установочних боковин. Кутіві швидкості обертання вальців гвинтово-еліпсного очисника, приводних валів очисної гірки і завантажувального транспортера змінювали за допомогою відповідної подачі кількості робочої рідини через гідравлічні дроселі 13 і 14. Мала піввісь радіуса робочого русла, утвореного еліпсними валами очисника 5 вибиралася із теоретичних залежностей (2.55) і (2.56).

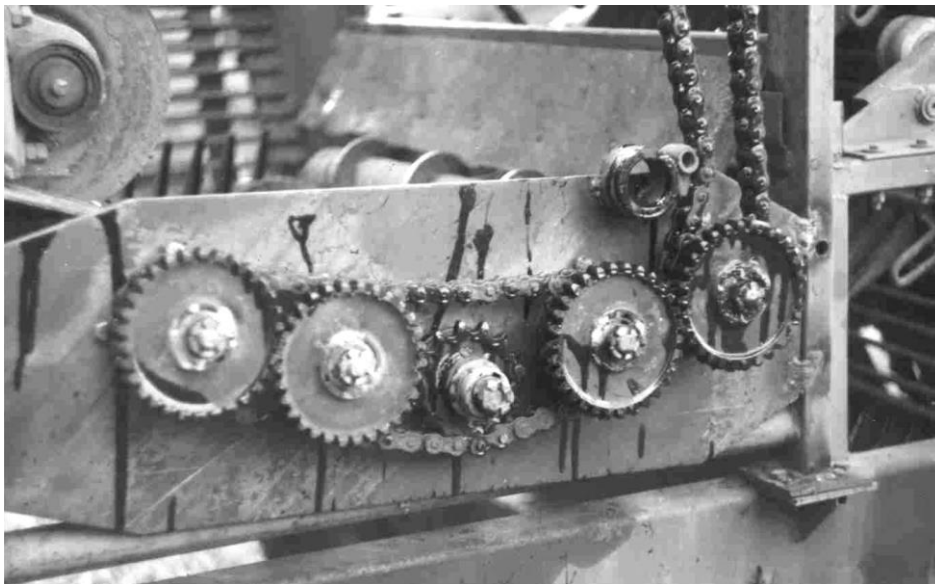


Рис. 3.4. Механізм приводу вальців розташованих по радіусу півеліпса.

Передача руху робочих органів експериментальної очисної системи здійснювалася від приводного електродвигуна 1 до двох гідронасосів станції 15, які приводили в рух гідромотори 8 і 10. Частота обертання цих гідромоторів регулювалася за допомогою кількості подачі масла до дроселів 13 і 14.

Для реалізації лабораторних експериментальних досліджень впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів гвинтово-еліпсного очисника на основні показники якості роботи, технічна характеристика

лабораторної установки дозволяла змінювати основні параметри очисної системи в таких межах: безступінчасте регулювання поступальної швидкості руху завантажувального транспортера – до $V_m = 1,6$ м/с; очисної пальчикової гірки – до $V_e = 1,4$ м/с; осьової швидкості еліпсних валів гвинтово-еліпсного очисника – до $V_{к.о} = 1,5$ м/с; кутів нахилу завантажувального транспортера – $\alpha = 20...70^\circ$ та очисної гірки – $\beta = 40...60^\circ$, кутову швидкість обертання еліпсних вальців – $\omega_e = 10,0...20,0$ рад/с, ширину сепарувального зазору між еліпсними та гладким валами – $h = 35...60$ мм, малий радіус півеліпса жолоба робочого русла – $R_k = 450...700$ мм, усереднений зовнішній діаметр еліпсних вальців – $D_y = 100, 150, 200$ мм, при цьому постійними були довжина валів робочого русла вальців гвинтово-еліпсного очисника – $L_{e.в} = 1140$ мм; висота спіральних рифів – $H = 30$ мм; крок рифа – $T = 250$ мм.

Для проведення польових експериментальних і порівняльних досліджень гвинтово-еліпсного очисника була використана коренезбиральна причіпна машина МКП-6.

3.3 Методика проведення експериментальних досліджень

Для реалізації лабораторних досліджень впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів очисної системи на показники якості її роботи, спочатку провели математичне моделювання для визначення узагальнених вхідних параметрів структурної моделі вороху, який буде подаватися на завантажувальний транспортер 3 (рис. 3.1).

Подальша польова перевірка складу технологічного вороху на завантажувальному транспортері при проведенні польових випробувань дослідного зразка коренезбиральної машини, обладнаного гвинтово-вальцьовим очисником, показала, що отримані розрахункові дані складу вороху відрізняються від дійсного не більше ніж на 9 %.

Викопаний ворох коренеплодів цукрових буряків доставляли до місця

проведення експериментальних робіт і згідно визначених аналітично вхідних параметрів його структурної моделі та керуючись даними досліджень [7], завантажували на транспортер очисної лабораторної установки, при цьому відсоток коренеплодів в технологічному воросі складав 65%, а розрив в часі між його викопуванням і проведенням дослідів становив не більше 25 хв.

Результати сепарації вороху фіксували за параметрами оптимізації, необхідними для визначення ступеня пошкодження і втрат коренеплодів та сепарації домішок від зміни двох вхідних незалежних величин – усередненого діаметра еліпсних вальців D_y та величини зазору h між валами, при кутовій швидкості обертання кулачкових вальців $\omega_e = \text{const} = 15,7$ рад/с.

Верхній і нижній схід компонентів вороху, відповідно з гірки і еліпсних вальців, попадав на окремі полотна, після чого проводили їх зважування на вагах 2 класу. За результатами експериментів визначали загальну кількість домішок (забрудненість) k_z , втрати коренеплодів k_e за формулами (3.1) і (3.2), а також їх пошкодження k_n .

Загальну кількість домішок після розділення компонентів вороху визначали за формулою:

$$k_z = \frac{m_{\text{кор}}}{m_{\text{кор}} + m + m_m} \cdot 100\% , \quad (3.1)$$

де $m_{\text{кор}}$, m , m_m - відповідно маса коренеплодів, землі та рослинних залишків на нижньому сході еліпсних вальців, кг.

Втрати коренеплодів після сепарації завантаженого вороху визначали за формулою:

$$k_B = \frac{m'_{\text{кор}}}{m_{\text{кор}} + m'_{\text{кор}}} \cdot 100\% , \quad (3.2)$$

де $m'_{\text{кор}}$ - маса коренеплодів, які виносяться гіркою - верхній схід, кг.

Пошкодження коренеплодів визначали шляхом візуального огляду і відповідних вимірів згідно загальновідомої стандартної методики [12].

Для отримання регресійних моделей параметрів оптимізації, у вигляді

повного квадратичного полінома, вибирали відповідний план експерименту. В даний час існує ряд різновидностей таких планів, які відрізняються критеріями оптимізації регресійного аналізу результатів експерименту. Широке практичне застосування знайшли симетричні плани з декількома різновидностями. Найбільш простими у практичному застосуванні є ортогональні (ОЦКП) та рототабельні (РЦКП) центральні-композиційні плани. Різниця між ними полягає в тому, що перший план проведення експериментальних досліджень будується з врахуванням критерію ортогональності, який забезпечує незалежність визначення коефіцієнтів регресії, а інший - критерію рототабельності, який забезпечує однаковість дисперсії відгуку (параметра оптимізації) в всіх напрямках.

З врахуванням спрощення статистичної обробки результатів лабораторних експериментів приймали ОЦКП повнофакторного експерименту (ПФЕ) типу 3^2 , тобто проводили двофакторний експеримент на трьох рівнях варіювання, реалізацію якого проводили в наступній послідовності.

Оскільки при проведенні експериментів змінні незалежні фактори D_y і h неоднорідні і мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, приводили їх до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих.

Зв'язок між кодованими x_i та натуральними змінними X_i встановлювали за залежністю [27]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.3)$$

де X_{i0} - натуральне значення i -го фактору на нульовому рівні;

ΔX_i - інтервал варіювання i -го фактору.

Нульовим називається рівень, що займає центр інтервалу (середнє значення фактора), який визначали за формулою [27]:

$$X_0 = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}, \quad (3.4)$$

де X_0 - числове значення основного рівня;

X_{\max} - числове значення верхнього рівня;

X_{\min} - числове значення нижнього рівня.

Визначали інтервали варіювання факторами:

$$\Delta X_i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2}, \quad (3.5)$$

Вводили умовні позначення верхнього, нижнього та основного рівнів варіювання факторів, відповідно +1, -1, 0 при побудові план-матриці планування експериментів.

Зіркове плече α , що забезпечує повну ортогональність плану для двофакторного експерименту рівне 1,0.

Таблиця 3.1.

Результати кодування факторів та їх рівні варіювання

Фактор	Натур. позн.	Кодов. позн.	Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верх.	Ниж.	Нуль.	Верх.	Ниж.	Нуль.
Діаметр вальців, D_y , мм	X_1	x_1	50 мм	200	100	150	+1	-1	0
Величина зазору, h , мм	X_2	x_2	15 мм	65	35	50	+1	-1	0

Результати кодування факторів експерименту та їх рівні варіювання наведені в таблиці 3.1.

Після кодування факторів склали план-матрицю повного факторного експерименту типу ПФЕ 3^2 для загального числа дослідів

$$N = P^k,$$

де P – кількість рівнів варіювання;

k – кількість діючих факторів в експерименті, яка наведена в таблиці 3.2.

З метою достовірної оцінки якості роботи очисної системи під час проведення лабораторних досліджень, необхідну кількість вимірів показників, що контролюються (повторність дослідів), визначали за методикою, яка викладена в [29], при цьому досліди провели в трикратній повторності.

Таблиця 3.2.

План-матриця експерименту типу ПФЕ 3^2

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів	Параметр оптимізації, Y			Середні значення Y
					Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	1	2	3	$Y_{сер.}$
1	+1	-1	-1	+1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}
2	+1	+1	-1	-1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}
3	+1	0	-1	0	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}
4	+1	-1	+1	-1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}
5	+1	+1	+1	+1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
6	+1	0	+1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7	+1	-1	0	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
8	+1	+1	0	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
9	+1	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}

При реалізації плану-матриці, для усунення впливу на результат досліджень параметрів оптимізації неконтрольованих і нерегульованих факторів, провели рандомізацію план-матриці методом випадкового балансу, який було реалізовано способом витягання порядкових номерів дослідів з урни.

Отримані результати розрахунків зводили в таблицю умов проведення і результатів експериментальних досліджень.

Обробка експериментальних даних, які отримані після реалізації планових експериментів, полягала у наступному. Перевірку відтворюваності дослідів при однаковому числі повторюваностей для кожного дослідів проводили за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{D_{Y \max}}{\sum_{U=1}^N D_{YU}}, \quad (3.6)$$

де G - розрахункове значення критерію Кохрена;

$D_{Y \max}$ - числове значення максимальної дисперсії в u -й точці;

N - число дослідів в плані;

D_{YU} - дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в u -му досліді.

Дисперсію відтворюваності визначали за формулою [27]:

$$D_{YU} = \frac{1}{m-1} \sum_{U=1}^N (Y_{Uj} - \bar{Y}_U)^2, \quad (3.7)$$

$$\bar{Y}_U = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Y_{Uj}, \quad (3.8)$$

де $m-1$ - число ступенів вільності;

Y_{Uj} - числове значення j -го відгуку u -го досліді;

\bar{Y}_U - середньоарифметичне значення відгуку u -го досліді;

m - число повторностей в кожній серії дослідів.

Знайдені розрахункові значення критерію Кохрена порівнювали з табличним G_T . Якщо умова $G \leq G_T(0,05; N; m-1)$ виконувалась, то дисперсії вважались однорідними, а значить процес відтворюється.

Якщо гіпотеза про однорідність дисперсії приймалась, визначали дисперсію відтворюваності (середня дисперсія математичних очікувань) всього експерименту за формулою:

$$D_{\bar{Y}O} = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^N D_{YU}, \quad (3.9)$$

де $n = mN$ - загальне число вимірів в плані.

Коефіцієнти апроксимуючого полінома, представленого у вигляді повного квадратичного рівняння, при умові ортогональності і симетрії для квадратів факторів визначали за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{U=1}^N \bar{Y}_U x_{iU}}{\sum_{U=1}^N x_i^2}, \quad (3.10)$$

де x_{iU} - кодоване значення i -го фактору в u -му досліді;

\bar{Y}_U - середнє арифметичне значення вихідного параметру в u -му досліді.

Після визначення коефіцієнтів полінома, приводили загальний вигляд рівняння регресії ПФЕ, перевірка адекватності якого проводилася за допомогою критерію Фішера:

$$F = \frac{D_{Ya}}{D_{\bar{Y}o}}, \quad (3.11)$$

де D_{Ya} - оцінка дисперсії адекватності, яку визначали за формулою:

$$D_{Ya} = \frac{1}{N - S} \sum_{U=1}^N (Y_{Pi} - \bar{Y}_U)^2, \quad (3.12)$$

де Y_{Pi} - розрахункове значення відгуку в U -му досліді отриманого регресійного рівняння.

Значення $D_{\bar{Y}o}$ визначали із рівняння (3.9).

Отримане значення F порівнювали з табличним F_T , яке визначали згідно. Якщо умова $F \leq F_T(0,05; r_1; r_2)$, виконувалась, тобто розрахункове значення F - критерію Фішера менше табличного F_T при 5% - му рівні значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності $r_1 = N - S$ та числі степені вільності дисперсії відтворюваності $r_2 = N(m - 1)$, то рівняння регресії ПФЕ адекватно експериментальним даним.

Після перевірки адекватності рівняння проводили оцінку значущості коефіцієнтів регресії за допомогою t - критерію Стьюдента.

Коефіцієнт вважався значущим коли виконувалася нерівність:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t(0,05; r_2) \sqrt{\frac{D_{\bar{Y}o}}{\sum_{U=1}^N x_i^2}}, \quad (3.13)$$

де b_i - коефіцієнти рівняння регресії ПФЕ;

Δb_i - довірча границя;

$t(0,05; r_2)$ - критерій Стьюдента при 5%-му рівні значущості та числі степені вільності дисперсії відтворюваності r_2 .

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакету прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів

експериментальних досліджень для ПК, будували залежності поверхонь відгуку параметрів оптимізації та двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментальних лабораторних досліджень.

Отримані регресійні залежності характеризували впливи одиничних факторів та їх взаємодію на параметри оптимізації – втрати, пошкодження та забрудненість коренеплодів.

3.4 Методика проведення польових експериментальних досліджень і порівняльних випробувань гвинтово-еліпсного очисника коренезбиральної машини МКП-6

На основі запропонованої комбінованої очисної системи, яка наведена на рис. 1.14, було розроблено конструктивно-технологічну схему експериментальної установки, виконаної в вигляді очисної системи, яка складається із повздовжнього транспортера, очисної гірки і гвинтово-еліпсного очисника.

Експериментальний дослідний зразок очисного пристрою був виготовлений на базі причіпної коренезбиральної машини МКП-6 виробництва ВАТ “ТКЗ”, конструктивно-компонувальна схема якої наведена на рис. 3.5.

Удосконалена коренезбиральна машина МКП-6 складається із рами 1, на якій змонтовані причіпна тяга 3, копіюючі колеса 2, вібраційні лемішні копачі 4, над якими встановлено бітерний вал 11, очисник вороху 5, який виконаний в вигляді послідовно розташованих підхоплюючого і трилопатевого валів. За останнім лопатевим валом очисника 5 встановлено повздовжній транспортер 6, очисну пальчикову гірку 9, в нижньому сході якої розташовано гвинтово-еліпсний очисник 8, виконаного в вигляді послідовно розташованих повздовжніх очисних еліпсних вальців, які утворюють активне русло, виконане в вигляді жолоба, осі яких розміщені по деякому радіусу малої осі півеліпса. На

рамі, яка опирається на опорні колеса 10 встановлено завантажувальний транспортер 7.

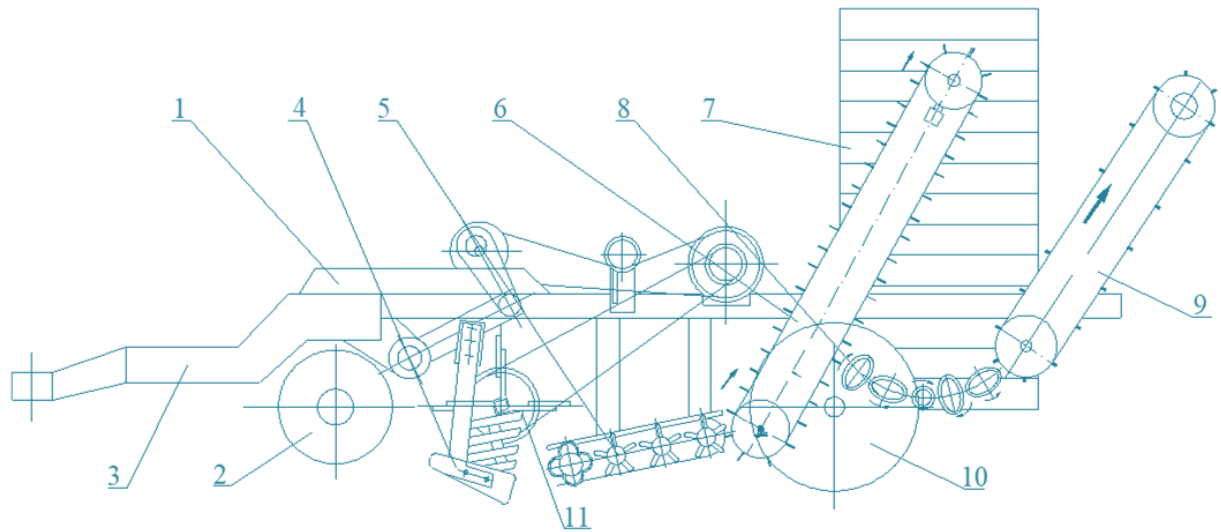


Рис.3.5. Конструктивно-компонувальна схема причіпної коренезбиральної модернізованої машини МКП-6:

1 - рама; 2 - копіювальне колесо; 3 - тяга приєднувальна; 4 - вібраційні лемішні копачі; 5 - очисник вороху; 6 - повздовжній транспортер; 7 - завантажувальний транспортер; 8 – гвинтово-еліпсний очисник; 9 – очисна гірка; 10 – опорне колесо; 11 – лопатевий бітерний вал.

Технологічний процес роботи коренезбиральної машини здійснюється наступним чином. При русі машини коренеплоди цукрових буряків викопуються вібраційними лемішними копачами 4, при цьому лопаті бітерного вала 11 проштовхують викопаний ворох коренеплодів до підхоплюючого вала, який переправляє його на лопатеві очисні вали очисника 5 де відбувається попереднє очищення коренеплодів від домішок. Далі ворох коренеплодів надходить до повздовжнього транспортера 6, який подає його на очисну пальчикову гірку 9. За рахунок виконання очисних елементів гірки у вигляді еластичних пальців відбувається активне перекочування і ковзання коренеплодів по робочій поверхні полотна гірки, що спричиняє захоплення пальцями домішок ґрунту з рослинними рештками і винесенням їх за межі

машини. Недоочищені коренеплоди, земляні грудки і рослинні домішки скочуються з полотна гірки і попадають на повздовжні еліпсні вали гвинтово-еліпсного очисника 8, де проходить защемлення кореневищ і їх вилучення в зазори між вальцями. Переміщуючись вздовж русла, яке утворене конструктивним розміщенням центрів очисних еліпсних валів, коренеплоди отримують додатковий осцилюючий рух вздовж осей обертання валів, при цьому інтенсивно очищуються від землі і рослинних домішок, які просіюються в зазор між валами. Очищені від землі та рослинних домішок коренеплоди поступають на завантажувальний транспортер 7, яким завантажуються в транспортний засіб, що рухається поряд із збиральною машиною.

При проведенні експериментальних досліджень гвинтово-еліпсного очисника визначали залежності втрат, забрудненості та пошкодження коренеплодів від вологості ґрунту. Для встановлення взаємозв'язку впливу вологості ґрунту на агротехнічні показники якості роботи (втрати, забрудненість і пошкодження коренеплодів) провели експериментальні польові дослідження причіпної коренезбиральної машини МКП-6, яку було обладнано гвинтово-еліпсним очисником, на основі побудови серій однофакторних класичних експериментів, параметрами оптимізації яких були показники якості роботи, а змінним фактором – вологість ґрунту дослідних ділянок поля посівів цукрових буряків. Загальний вигляд гвинтово-еліпсного очисника наведено на рис. 3.6, вигляд зверху.

Конструктивно-кінематичні параметри гвинтово-еліпсного очисника встановлювали згідно результатів теоретичних і попередніх лабораторно-експериментальних обґрунтувань очисної системи, а інших робочих органів коренезбиральної машини МКП-6 – згідно інструкції виробника. Польові експериментальні дослідження проводили на протязі сезону збирання цукрових буряків в 2015 р., що дозволило розширити діапазон досліджень в межах вологості від 14,2 до 26,8 %. Порядок проведення, умови відбору проб і визначення показників якості роботи технологічного процесу причіпної

коренезбиральної машини проводили за стандартними методиками згідно положень [20].

Крім того, перед початком кожного порядкового (пронумерованого) експерименту, визначали вологість ґрунту дослідної ділянки поля (фону) за загальновідомою методикою. Досліди проводили в різні добові строки та в відмінних кліматичних умовах на одному полі. Таким чином отримували експериментальний масив даних параметрів оптимізації в залежності від вологості ґрунту. З усього напрацьованого експериментального масиву даних, після визначення вологості ґрунту дослідних ділянок, утворювали вибірку даних трикратної повторності для одного конкретного значення вологості ґрунту. Отримані дані заносили в таблицю.

Обробку експериментального масиву проводили за загальновідомими методами статистичної обробки - при дослідженні залежностей втрат, пошкодження і забрудненість коренеплодів від вологості ґрунту використовували загальновідому методику кореляційного і регресійного аналізу отриманих експериментальних даних для отримання в кінцевому результаті емпіричних ліній регресії.

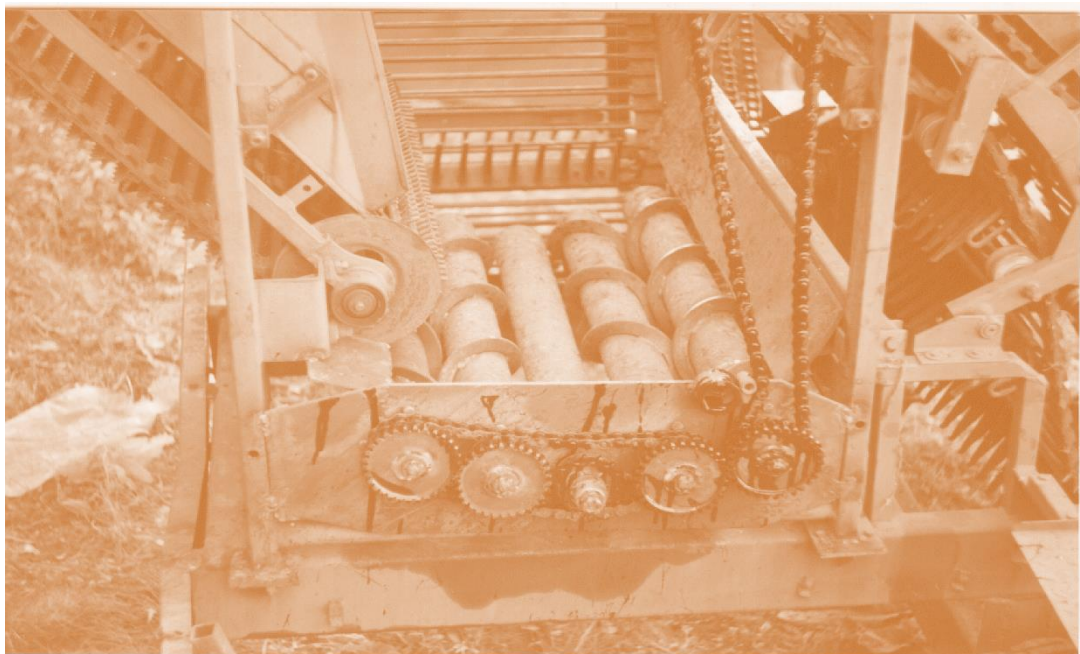


Рис. 3.6. Загальний вигляд гвинтово-еліпсного очисника, вигляд спереду.

Польові порівняльні випробування, встановленої на модернізовану коренезбиральну машину МКП-6 очисної системи (рис. 3.6), провели в умовах господарства в порівнянні з базовою машиною МКП-6.

3.5. Висновки до розділу

1. Приведена програма та методика проведення експериментальних досліджень.

2. Умови випробувань були однаковими для обох машин, показники якості роботи переобладнаної гвинтово-еліпсним очисником коренезбиральної МКП-6 і серійної машини, визначали згідно КД 46.16.01.005-93 “ Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”.

4. Результати експериментальних досліджень

На першому етапі експериментальних досліджень, для встановлення домінуючих факторів, які мають найбільший вплив на показники якості відокремлення домішок від коренеплодів з складу технологічного вороху, що надходив на очисну систему, провели серію класичних однофакторних експериментів. Було встановлено, що крок еліпсних вальців, висота рифа не впливають на ступінь відокремлення домішок від коренеплодів і в подальшому значення кроку і висоти рифа вальців приймали незмінними – $T = 0,25$ м; $H = 0,03$ м. На основі аналізу розрахункової продуктивності і допустимої результуючої швидкості співудару, підтверджено, що раціональним значенням кутової швидкості обертання вальців є значення $\omega_{\theta} = 15,0 \dots 17,0$ рад/с.

Окремо провели однофакторний експеримент для визначення суттєвості впливу фактора (радіуса півеліпса R_k) на основні показники якості роботи очисника – втрати, пошкодження та забрудненість коренеплодів. Встановлено, що раціональним значенням R_k , по якому необхідно розташовувати центри обертання еліпсних вальців, слід вважати $R_k = 0,55 \dots 0,65$ м.

У подальшому, в відповідності до розробленої програми експериментальних досліджень і з врахуванням умов і режимів роботи експериментальної установки, досліджували залежності втрат, пошкоджень і забрудненості коренеплодів від усередненого діаметра еліпсних вальців і величини зазору між валами, тобто відповідно: $k_B = f(D_y, h)$, $k_{II} = f(D_y, h)$, $k_3 = f(D_y, h)$, які є визначальними в роботі очисників.

Конструктивно-технологічна схема лабораторної установки очисної системи наведена на рис. 4.1, загальний вигляд – на рис. 4.2. На рис. 4.1, 4.2 подано загальний вигляд гвинтово-еліпсного очисника.

Дослідження проводились одночасно змінюючи два фактори на трьох рівнях варіювання згідно рандомізованої план-матриці повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 і відповідно до приведеної методики.

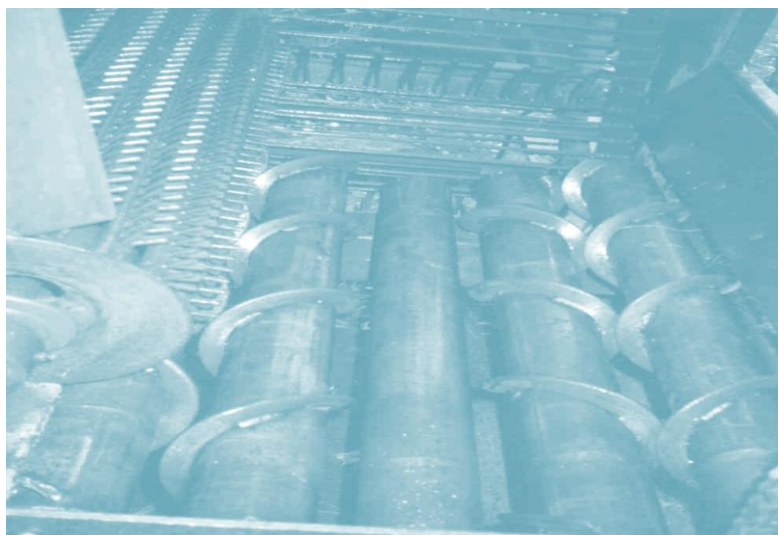


Рис. 4.1. Гвинтово-еліпсний очисник, вигляд зверху.

Функцію відгуку (параметр оптимізації) знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома [19]

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12} + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (4.1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ - коефіцієнти при відповідних значеннях x_i ;
 x_1, x_2, x_{12} - кодовані фактори.

При дослідженні залежностей втрат, забрудненості і пошкоджень коренеплодів цукрових буряків перед проведенням дослідів проводилось кодування факторів експерименту (табл. 4.1) і складання план-матриці (табл. 4.2) в яку заносили отримані вихідні дані кожного експерименту.

Визначали основний (нульовий) рівень для кожного фактора:

- для усередненого діаметра еліпсних вальців D_y :

$$X_{01} = \frac{200 + 100}{2} = 150(\text{мм}); \quad (4.2)$$

- для величини зазору між валами h :

$$X_{02} = \frac{65 + 35}{2} = 50(\text{мм}). \quad (4.3)$$

Інтервали варіювання та кодовані значення кожного фактору:

$$\Delta X_1 = \frac{200 - 100}{2} = 50(\text{мм}); \quad x_1 = \frac{D_y - 150}{50};$$

$$\Delta X_2 = \frac{65 - 35}{2} = 15(\text{мм}); \quad x_2 = \frac{h - 50}{15}. \quad (4.4)$$



Рис. 4.2. Гвинтово-еліпсний очисник, вигляд спереду.

Під час проведення лабораторних досліджень незмінними приймалися наступні конструктивно-кінематичні параметри очисної системи: V_{mp} - поступальна швидкість руху полотна завантажувального транспортера – 1,6 м/с; V_z - поступальна швидкість руху полотна очисної гірки – 1,2 м/с; β - кут нахилу очисної гірки до горизонту – 55° ; ω_e - кутова швидкість обертання еліптичних вальців – 15,7 рад/с; $L_{o.e}$ - довжина очисних валів – 1,14 м; H - висота рифів вальців – 0,03 м; T - крок рифа вальців – 0,25 м.

Вологість середнесуглинкового ґрунту завантажувальної навіски змодельованого вороху коренеплодів на протязі проведення експериментів в середньому складала 21% і змінювалася в ході проведення кожного експерименту на $\pm 3...7\%$.

Отримані дані параметра оптимізації кожного експерименту, тобто значення залежностей втрат, пошкодження і забрудненості коренеплодів в залежності від зміни факторів – усередненого діаметра еліптичних вальців і зазору між валами заносили в таблицю.

Обробку експериментальних даних досліджень залежності втрат коренеплодів від усередненого діаметра еліпсних вальців і зазору між валами $k_6 = f(D_y, h)$ провели за загальновідомою методикою [28].

Перевірку відтворюваності дослідів проводимо за G-критерієм Кохрена, табличне значення якого позначимо через $G(0,05; N; f_u)$.

Перевірка відтворюваності проводиться за умови

$$G_T \leq G_p(0,05; N; f_u),$$

де G_p - розрахункове значення критерію, яке визначається за [28]:

$$G_p = S_{u \max}^2 / (\sum_{u=1}^n S_u^2). \quad (4.5)$$

Тоді
$$G_p = \frac{0,017}{0,10} = 0,17.$$

при $m-1=2; N=9; G_T(0,05;9;2)=0,205 > G_p = 0,170$, тоді процес відтворюється.

Дисперсія відтворюваності:

$$D_{\bar{Y}_0} = \frac{1}{3 \cdot 9} \cdot 0,10 = 0,0037.$$

Визначали невідомі коефіцієнти регресії квадратичного полінома:

$$b_0 = 3,16; b_1 = -0,93; b_2 = 2,94; b_{12} = -0,39; b_{11} = -0,05; b_{22} = 1,06.$$

Загальний вигляд рівняння регресії залежності втрат коренеплодів від усередненого діаметра еліпсних вальців x_1 і зазору між валами x_2 за результатами проведеного ПФЕ 3^2 в кодovаних величинах буде:

$$k_B = 3,16 - 0,93x_1 + 2,94x_2 - 0,39x_1x_2 - 0,05x_1^2 + 1,06x_2^2. \quad (4.6)$$

де x_1 - усереднений діаметр еліпсних вальців;

x_2 - зазор між валами.

Розрахункові значення отриманих показників Y_{Pi} в U -му досліді приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

В досліді	1,7	0,7	8,4	5,8	4,1	2,1	1,3	7,1	3,1
Y_{Pi}	1,78	0,69	8,44	5,8	4,05	2,18	1,28	7,16	3,16

Дисперсія адекватності: $D_{Ya} = 0,0057$.

Перевірку адекватності (відповідності) отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівняння регресії реальному процесу проводили за F-критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{0,0057}{0,0037} = 1,54.$$

При $r_1 = 3$, $r_2 = 18$, $F_T(0,05;3;18) = 3,16 > F_p = 1,54$. Умова виконується, рівняння адекватно описує реальний експериментальний процес.

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії проводили за t -критерієм Стьюдента.

Таким чином кінцеве рівняння регресії, що відображає функціональну залежність втрат коренеплодів від діаметра еліптичних вальців і зазору між валами в кодованих величинах приймає вигляд:

$$k_B = 3,16 - 0,93x_1 + 2,94x_2 - 0,39x_1x_2 + 1,06x_2^2, \quad (4.7)$$

Відповідно в натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (4.7) приймає вигляд:

$$k_B = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i \left(\frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X} \right),$$

або

$$k_B = 3,16 - 0,93 \left(\frac{D_y - 150}{50} \right) + 2,94 \left(\frac{h - 50}{15} \right) - 0,39 \left(\frac{D_y - 150}{50} \right) \left(\frac{h - 50}{15} \right) + 1,06 \left(\frac{h - 50}{15} \right)^2.$$

Після перетворення маємо:

$$k_B = 11,15 + 0,004D_y - 0,745h - 0,0005D_y h + 0,005h^2. \quad (4.8)$$

Отримана регресійна залежність (4.8) може бути використана для

визначення втрат коренеплодів в залежності від зміни конструктивних параметрів еліпсних вальців в таких межах: $100 \leq D_y \leq 200$ (мм); $35 \leq h \leq 65$ мм.

На рис. 4.3, 4.4 наведені відповідно поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку залежності втрат коренеплодів k_v від усередненого діаметра еліпсних вальців D_y і зазору h між валами, які побудовані за допомогою ПК згідно регресійного рівняння (4.8).

На рис. 4.5 наведені залежності втрат коренеплодів k_v від зазору h між валами при різних значеннях усередненого діаметра D_y еліпсних вальців.

Аналіз регресійної залежності (4.8) показує, що втрати коренеплодів k_v функціонально залежать від фактора h – із збільшенням зазору між валами втрати коренеплодів зростають.

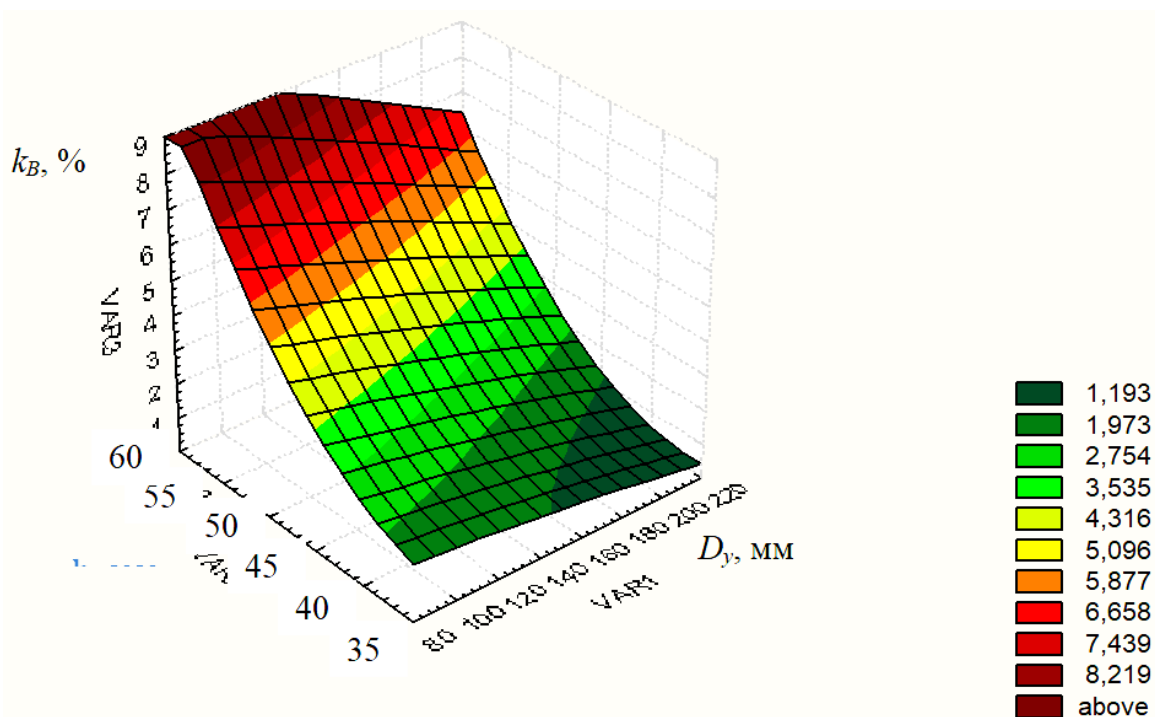


Рис. 4.3. Поверхня відгуку залежності втрат коренеплодів k_v від усередненого діаметра D_y еліпсних вальців і зазору h між валами.

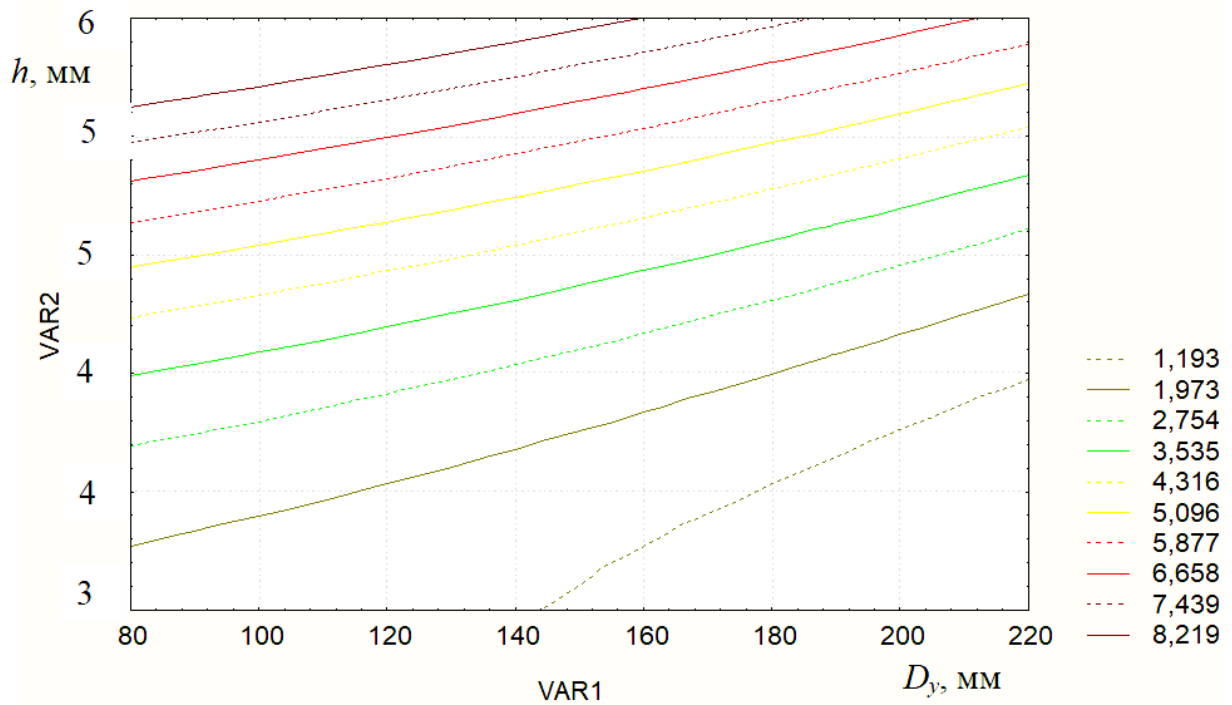


Рис. 4.4. Двомірний переріз поверхні відгуку залежності втрат коренеплодів k_g від усередненого діаметра D_y еліптичних вальців і зазору h між валами.

Аналізуючи поверхню відгуку (рис. 4.3) можна зробити висновок, що із збільшенням усередненого діаметра еліптичних вальців втрати коренеплодів значно зменшуються – від 2,6 % і 4,0% ($D_y = 100$ мм) до 1,1% і 2,1% ($D_y = 200$ мм, крива 3) при відповідних зазорах між валами $h = 40$ і 45 (мм), що також підтверджується залежностями, які наведені на рис. 4.5. Із збільшенням зазору між валами від 35 до 42 мм спостерігається поступове зростання втрат коренеплодів – від 0,7% ($h = 35$ мм) до 1,45% ($h = 42$ мм) при $D_y = 200$ мм (крива 3). При подальшому збільшенні зазору між валами, приріст показника k_g істотний – при $h = 45$ мм втрати коренеплодів значно перевищують межу допустимих втрат (до 1,5%) згідно вихідних вимог.

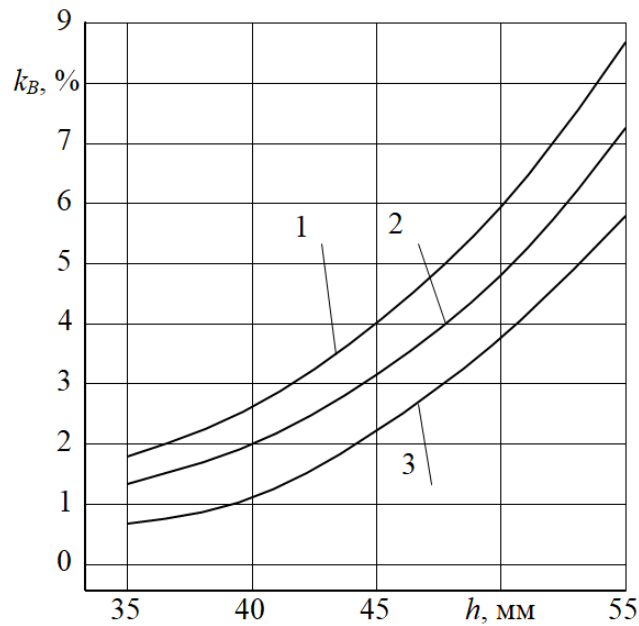


Рис. 4.5. Залежність втрат k_B коренеплодів цукрових буряків від зазору h між валами при: 1 – $D_y=0,1$ м; 2 – $D_y=0,15$ м; 3 – $D_y=0,2$ м.

Провівши оптимізаційний розрахунок рівняння регресії за допомогою методу двовірних перерізів (рис. 4.4) встановили, що для даних умов протікання процесу відсоток втрат коренеплодів приймає оптимальні значення, тобто прямує до максимально допустимого значення (1,5%), при $D_y = 180$ мм, $h = 45$ мм. Критерій оптимізації, розрахований за допомогою рівняння регресії в цій точці складає 1,47%.

Обробку експериментальних даних дослідження залежності пошкодження коренеплодів k_n від усередненого діаметра еліптичних вальців D_y і зазору h між валами $k_n = f(D_y, h)$ провели аналогічно проведеній обробці визначення втрат коренеплодів.

Перевірка відтворюваності дослідів за G-критерієм Кохрена:

$$G_p = \frac{0,021}{0,12} = 0,175.$$

При $m-1=2$; $N=9$; $G_T(0,05;9;2) = 0,205 > G_p = 0,175$, тоді процес відтворюється.

Дисперсія відтворюваності:

$$D_{\bar{Y}_0} = \frac{1}{3 \cdot 9} \cdot 0,12 = 0,0044.$$

Коефіцієнти регресії квадратичного полінома:

$$b_0 = 4,14; b_1 = -0,5; b_2 = 1,75; b_{12} = -0,35; b_{11} = 0,13; b_{22} = 0,58.$$

Загальний вигляд рівняння регресії залежності пошкодження коренеплодів від усередненого діаметра еліптичних вальців x_1 і зазору між валами x_2 за результатами проведеного ПФЕ 3^2 в кодованих величинах буде:

$$k_{II} = 4,14 - 0,5x_1 + 1,75x_2 - 0,35x_1x_2 + 0,13x_1^2 + 0,58x_2^2. \quad (4.9)$$

Розрахункові значення Y_{Pi} в U -му досліді приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

В досліді	3,2	2,9	7,5	5,8	4,8	3,8	3,1	6,4	4,1
Y_{Pi}	3,26	2,96	7,46	5,76	4,78	3,78	2,98	6,47	4,14

Дисперсія адекватності: $D_{Ya} = 0,011$.

Перевірку адекватності отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівняння регресії реальному процесу проводили за F-критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{0,011}{0,0044} = 2,5.$$

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії проводили за t -критерієм Стьюдента. Таким чином, кінцеве рівняння регресії (4.9), що відображає функціональну залежність приймає вигляд:

$$k_{II} = 4,14 - 0,5x_1 + 1,75x_2 - 0,35x_1x_2 + 0,13x_1^2 + 0,58x_2^2. \quad (4.10)$$

Відповідно в натуральних величинах рівняння регресії (4.10) приймає вигляд:

$$k_{II} = 4,14 - 0,5\left(\frac{D_y - 150}{50}\right) + 1,75\left(\frac{h - 50}{15}\right) - 0,35\left(\frac{D_y - 150}{50}\right)\left(\frac{h - 50}{15}\right) + \\ + 0,13\left(\frac{D_y - 150}{50}\right)^2 + 0,58\left(\frac{h - 50}{15}\right)^2;$$

або після перетворення

$$k_{II} = 2,42 - 0,003D_y - 0,071h + 0,0001dh + 0,003h^2. \quad (4.11)$$

Отримана регресійна залежність (4.11) може бути використана для визначення пошкоджень коренеплодів в залежності від зміни конструктивних параметрів еліпсних вальців в таких межах: $100 \leq D_y \leq 200$ (мм); $35 \leq h \leq 65$ мм.

На рис. 4.6, 4.7 наведені відповідно поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку залежності пошкодження коренеплодів k_n від усередненого діаметра еліпсних вальців D_y і зазору h між валами, які побудовані за допомогою ПК згідно регресійного рівняння (4.11).

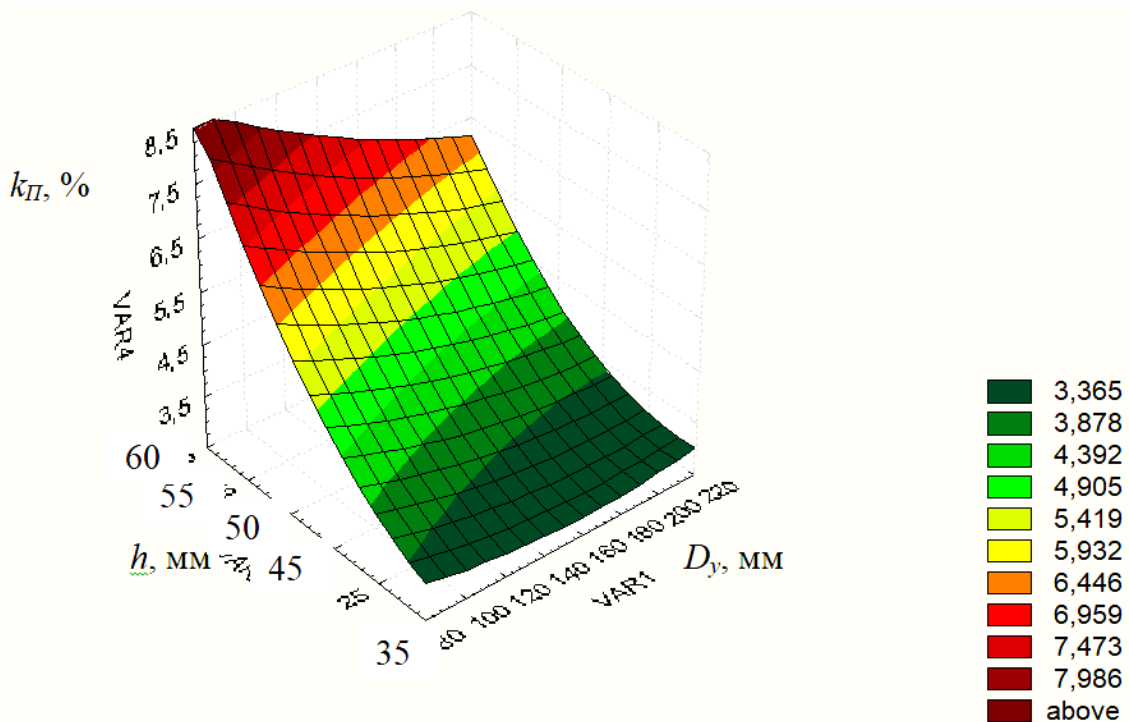


Рис. 4.6. Поверхня відгуку залежності пошкодження коренеплодів k_n від усередненого діаметра D_y еліпсних вальців і зазору h між валами.

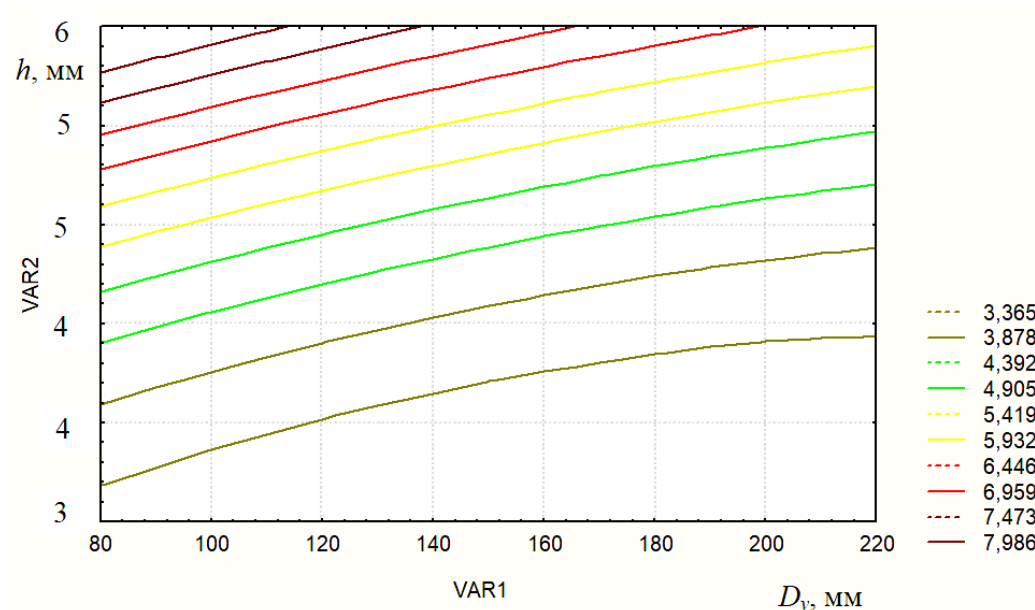


Рис. 4.7. Двовірний переріз поверхні відгуку залежності пошкодження коренеплодів k_n від усередненого діаметра D_y еліптичних вальців і зазору h між валами.

На рис. 4.8 наведені залежності пошкодження коренеплодів k_{II} від зазору h між валами при різних значеннях усередненого діаметра D_y еліптичних вальців.

Аналіз регресійної залежності (4.11) показує, що пошкодження коренеплодів k_n функціонально залежать від факторів D_y і h – із збільшенням усередненого діаметра еліптичних вальців і зазору між валами пошкодження коренеплодів зростають. Аналізуючи поверхню відгуку (рис. 4.6) можна зробити висновок, що із збільшенням усередненого діаметра еліптичних вальців пошкодження коренеплодів збільшуються – від 3,1% і 3,7% ($D_y = 100$ мм) до 3,9% і 4,7% ($D_y = 200$ мм) при відповідних зазорах між валами $h = 42$ і 47 (мм), що також підтверджується залежностями, які наведені на рис. 4.8. Із збільшенням зазору між валами від 35 до 42 мм спостерігається поступове зростання пошкодження коренеплодів – від 2,9% ($h = 35$ мм) до 3,3% ($h = 42$ мм) при $D_y = 200$ мм (крива 1). При подальшому збільшенні зазору між валами, приріст показника k_n істотний – при $h = 45$ мм пошкодження коренеплодів становлять 4,6%, при $h = 55$ мм відповідно 7,9% (крива 1).

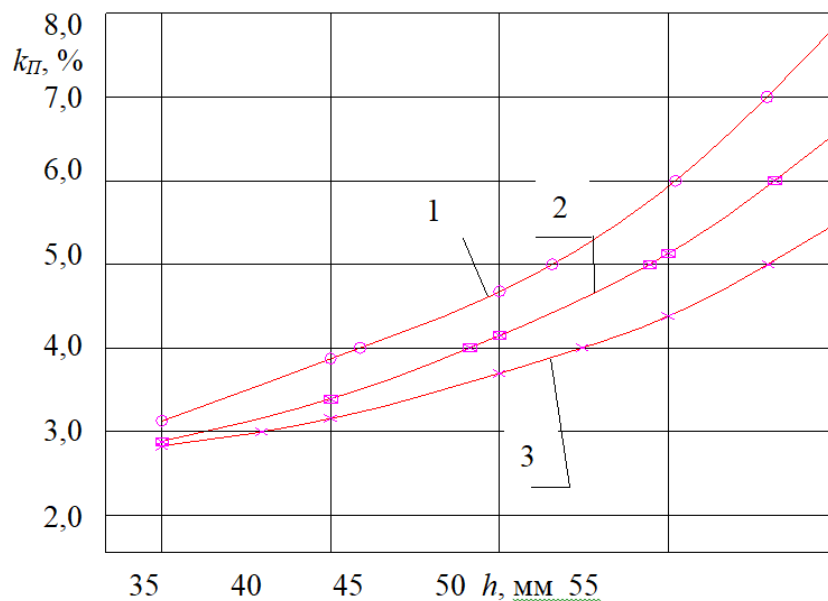


Рис. 4.8. Залежність пошкоджень $k_{П}$ коренеплодів від зазору h між валами при: 1 – $D_y = 200$ мм; 2 – $D_y = 150$ мм; 3 – $D_y = 100$ мм.

Провівши оптимізаційний розрахунок рівняння регресії за допомогою методу двовірних перерізів (рис. 4.7) встановили, що для даних умов протікання процесу відсоток пошкодження коренеплодів приймає оптимальні значення, тобто не перевищує максимально допустимого значення (20%) згідно вихідних вимог, при зміні факторів в межах реалізації плану ПФЕ 3^2 - $100 \leq D_y \leq 200$ (мм), $35 \leq h \leq 60$ (мм) при $\omega_s = 15,7$ рад/с. Однак, чисельне значення зазору між валами $h > 45$ мм і усередненого діаметра $D_y < 150$ мм приймати неможливо, тому що в першому випадку при зазорі між валами більшому 45 мм спостерігаються значні втрати кондиційних коренеплодів ($k_B > 1,5\%$; рис. 4.3 – 4.5), а в другому - не забезпечується необхідна розрахункова продуктивність гвинтово-еліпсного очисника.

Критерій оптимізації, розрахований за допомогою рівняння регресії (4.11) в точці $D_y = 180$ мм, $h = 45$ мм складає 3,47%.

Обробку експериментальних даних дослідження залежності забрудненості коренеплодів k_3 від усередненого діаметра еліптичних вальців D_y і зазору h між валами $k_3 = f(D_y, h)$ проводили аналогічно визначенню залежностей

$$k_e = f(D_y, h) \text{ і } k_n = f(D_y, h).$$

Перевірка відтворюваності дослідів за G-критерієм Кохрена:

$$G_p = \frac{0,019}{0,11} = 0,172.$$

При $m - 1 = 2$; $N = 9$; $G_T(0,05;9;2) = 0,205 > G_p = 0,172$, тоді процес відтворюється.

Дисперсія відтворюваності:

$$D_{\bar{y}_0} = \frac{1}{3 \cdot 9} \cdot 0,11 = 0,0041.$$

Коефіцієнти квадратичного полінома:

$$b_0 = 7,18; b_1 = -0,68; b_2 = -3,32; b_{12} = -0,1; b_{11} = 0,08; b_{22} = 1,18.$$

Загальний вигляд рівняння регресії залежності забрудненості коренеплодів від усередненого діаметра еліптичних вальців x_1 і зазору між валами x_2 за результатами проведеного ПФЕ буде:

$$k_3 = 7,18 - 0,68x_1 - 3,32x_2 - 0,1x_1x_2 + 0,08x_1^2 + 1,18x_2^2. \quad (4.12)$$

Розрахункові значення Y_{pi} в U -му досліді приведені в таблиці 4.3.

Дисперсія адекватності: $D_{Ya} = 0,006$.

Перевірку проводили за F -критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{0,006}{0,0041} = 1,46.$$

При $r_1 = 3$, $r_2 = 18$ $F_T(0,05;3;18) = 3,16 > F_p = 1,46$. Умова виконується, рівняння адекватно описує реальний експериментальний процес.

Таблиця 4.3.

В досліді	12,3	11,2	5,9	4,4	8,0	6,5	11,7	5,0	7,2
Y_{pi}	12,34	11,17	5,91	4,34	7,94	6,57	11,68	5,04	7,18

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії проводили за t -критерієм Стьюдента.

Таким чином, кінцеве рівняння регресії, що відображає функціональну

залежність приймає вигляд:

$$k_3 = 7,18 - 0,68x_1 - 3,32x_2 - 0,1x_1x_2 + 1,18x_2^2. \quad (4.13)$$

В натуральних величинах рівняння регресії (4.13) приймає вигляд:

$$k_3 = 7,18 - 0,68\left(\frac{D_y - 150}{50}\right) - 3,32\left(\frac{h - 50}{15}\right) - 0,1\left(\frac{D_y - 150}{50}\right)\left(\frac{h - 50}{15}\right) + 1,18\left(\frac{h - 50}{15}\right)^2,$$

або після перетворення

$$k_3 = 30,36 - 0,007D_y - 0,745h - 0,0001D_yh + 0,005h^2. \quad (4.14)$$

Отримана регресійна залежність (4.14) може бути використана для визначення забрудненості коренеплодів в залежності від зміни конструктивних параметрів еліпсних вальців в таких межах: $100 \leq D_y \leq 200$ (мм); $35 \leq h \leq 60$ мм.

На рис. 4.9, 4.10 наведені відповідно поверхня та двомірний переріз поверхні відгуку забрудненості коренеплодів k_3 в залежності від усередненого діаметра еліпсних вальців D_y і зазору між валами h , яка побудована згідно регресійного рівняння (4.14).

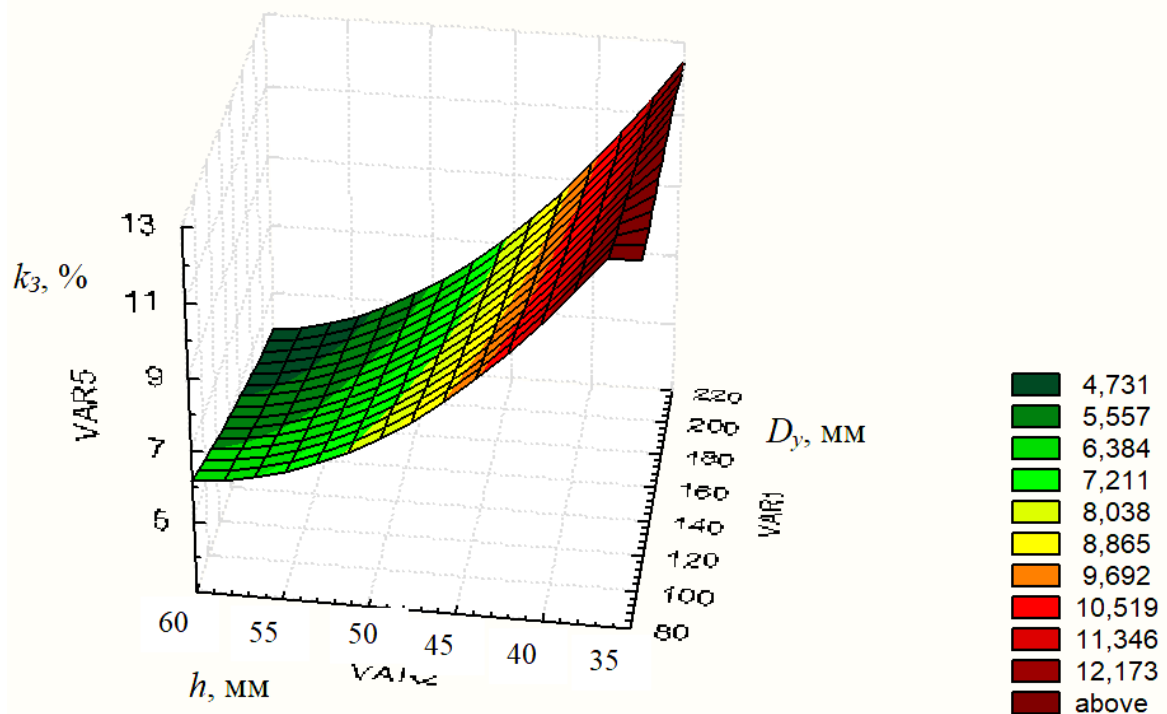


Рис. 4.9. Поверхня відгуку залежності забрудненості коренеплодів k_3 від усередненого діаметра D_y еліпсних вальців і зазору h між валами.

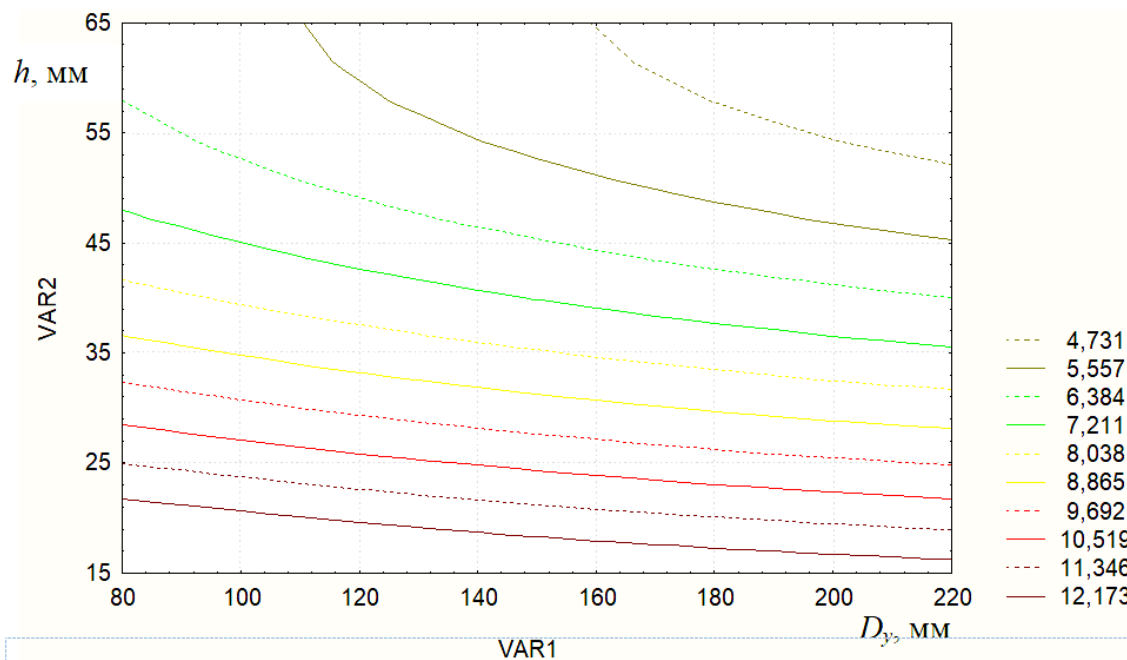


Рис. 4.10 Двовірний переріз поверхні відгуку залежності забрудненості коренеплодів k_z від усередненого діаметра D_y еліптичних вальців і зазору h між валами.

На рис. 4.11 наведені залежності забруднення коренеплодів k_B від зазору між валами h при різних значеннях усередненого діаметра D_y еліптичних вальців.

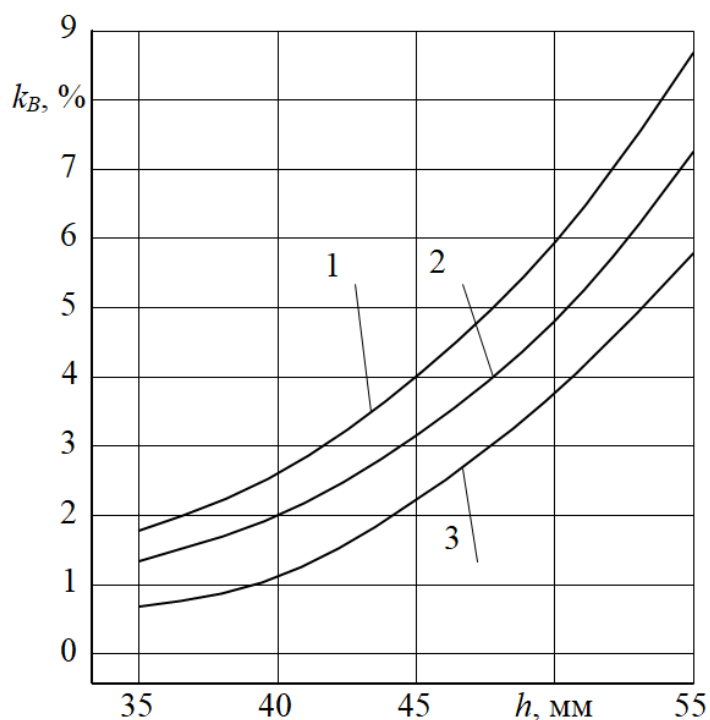


Рис. 4.11. Залежність втрат k_B коренеплодів цукрових буряків від зазору h

між валами при: 1 – $D_y=0,1$ м; 2 – $D_y=0,15$ м; 3 – $D_y=0,2$ м.

Аналіз регресійної залежності (4.14) показує, що забруднення коренеплодів k_3 функціонально залежать від факторів D_y і h – із збільшенням усередненого діаметра еліптичних вальців і зазору між валами забруднення коренеплодів зменшуються. Аналізуючи поверхню відгуку (рис. 4.9) можна зробити висновок, що із збільшенням усередненого діаметра еліптичних вальців забрудненість коренеплодів зменшується – від 9,8 % і 8,4% ($D_y = 100$ мм) до 7,9% і 6,3% ($D_y = 200$ мм) при відповідних зазорах між валами $h = 42$ і 47 (мм), що також підтверджується залежностями, які наведені на рис. 4.11. Із збільшенням зазору між валами від 35 до 42 мм спостерігається поступове зменшення відсотка забрудненості коренеплодів – від 11,1% ($h = 35$ мм) до 7,1% ($h = 42$ мм) при $D_y = 200$ мм (крива 3). При подальшому збільшенні зазору між валами спостерігається значне зменшення забрудненості коренеплодів – при $h = 45$ мм забрудненість становить 6,3%, а при $h = 55$ мм відповідно 4,5% (крива 3).

Провівши оптимізаційний розрахунок рівняння регресії за допомогою методу двовірних перерізів (рис. 4.10) встановили, що для даних умов протікання процесу відсоток забруднення коренеплодів приймає оптимальні значення, згідно вихідних вимог, при зміні факторів в межах $100 \leq D_y \leq 200$ мм, $h > 47$ (мм) та кутовій швидкості обертання еліптичних вальців $\omega_8 = 15,7$ рад/с. Однак, числове значення зазору між валами $h > 47$ мм і усередненого діаметра еліптичних вальців $D_y < 150$ мм приймати неможливо, тому що в першому випадку при зазорі між валами більшому 47 мм спостерігаються значні втрати кондиційних коренеплодів ($k_B > 1,5\%$; рис. 4.3-4.5), а в другому - не забезпечується необхідна розрахункова продуктивність гвинтово-еліптичного очисника.

Критерій оптимізації, розрахований за допомогою рівняння регресії (4.14) в точці $D_y = 180$ мм, $h = 47$ мм складає 8,5%.

Таким чином, вибір раціональних конструктивних параметрів гвинтово-еліптичного очисника повинен проводитися на основі вирішення технічного протиріччя між ступенем втрат і пошкодження коренеплодів із однієї сторони

та їх забрудненості з другої сторони при забезпечені практичної продуктивності коренезбиральної машини.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що найвища ступінь сепарації компонентів вороху, а саме мінімальні пошкодження, втрати коренеплодів та найменша забрудненість коренеплодів рослинними домішками і землею спостерігається при виконанні умови необхідної розрахункової продуктивності і забезпечується при наступних конструктивно-кінематичних параметрах гвинтово-еліпсного очисника: усередненому діаметрі вальців $D_y = 0,18$ м; зазорі між еліпсними валами $h = 0,047$ м; кроку вальця $T = 0,25$ м; висоті рифа $H = 0,03$ м; кутовій швидкості обертання вальців $\omega_g = 15,7$ рад/с.

Таким чином, можна зробити такі висновки:

1. Розроблена і виготовлена на базі коренезбиральної машини конструктивно-технологічна схема очисної системи з використанням очисника.

2. На основі аналізу поверхонь відгуку та двомірних перерізів залежностей втрат, пошкодження і забрудненості коренеплодів від діаметра еліпсних вальців і величини зазору між валами встановлено раціональні конструктивні параметри очисника: усереднений діаметр еліпсних вальців $D_y = 0,16...0,18$ м; зазор між валами $h = 0,045...0,047$ м; крок рифа вальця $T = 0,25$ м; висота рифа $H = 0,03$ м; радіус півеліпса $R_k = 0,55...0,65$ м при кутовій швидкості обертання еліпсних вальців $\omega_g = 15,7$ рад/с.

3. Машина МКП-6, обладнана системою гвинтово-еліпсних вальців забезпечує основні показники якості виконання технологічного процесу, які знаходяться в межах вихідних вимог при вологості ґрунту від 14,0 до 24,0%, пошкодження коренеплодів становлять 3,1...8,7%; забрудненість – 4,5...7,1%; втрати – 0,7...1,5%.

4. Розроблений гвинтово-еліпсний очисник забезпечує зниження загальної кількості домішок у воросі зібраних коренеплодів в 2 рази, в тому числі налиплої землі на коренеплодах в 4,75 рази в порівнянні із класичним шнековим очисником базової машини.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1. Загальний стан охорони праці при роботі коренезбиральної машини

Стан охорони праці при збиранні коренеплодів на сучасному етапі налагоджено відповідним чином. Але такі фактори, як пилюка, вібрації, спека, шум дуже негативно впливають на здоров'я механізаторів.

Кабіна захищає механізатора від впливу зовнішнього середовища і дозволяє створити мікрокліматичні умови, параметри яких залежать від герметичності кабіни, її теплоізоляції, засклення, наявності системи опалення і кондиціонування повітря [21].

Як правило, наші коренезбиральні машини, що побули в експлуатації більше 6-10 років не відповідають ніяким вимогам. І механізатори вимушені працювати в спеці, в пилюці ще й при великих рівнях вібрації і шуму. Шум, як загальний подразник за певних значень своїх характеристик може шкідливо впливати на органи і системи організму людини. Інтенсивний шум, що постійно діє на органи слуху, може призвести до професійного захворювання – постійної втрати слуху. Найбільш несприятливими для органу слуху є шум з частотою 1000-4000 Гц. Вібрації, які теж постійно діють на оператора, можуть викликати зміни у нервовій системі і кісткових тканинах, призвести до зниження гостроти зору, порушити рівновагу основних нервових процесів. А тривала дія інтенсивної вібрації на організм викликає патології, які називають вібраційною хворобою.

Розглянемо ще декілька факторів, які впливають на стан охорони праці при механізованому збиранні цукрових буряків. Значну роль при роботі механізаторів має місце повноцінне харчування.

У зв'язку з великими відстанями між полями, на яких проводиться робота якість їжі після її перевезення залишає бажати кращого. Також і санітарно – гігієнічні умови прийому їжі. Звідси і виникає можливість захворюваннями, що призводять до зниження працездатності, а іноді до госпіталізацій трактористів в медичні заклади.

Другий не менш важливий фактор охорони праці, має змінність роботи під час збирання, тому що як правило оператори працюють досить тривалий час, який іноді становить 10-12 годин на добу, що веде за собою втому і відповідно знижує і якість, і продуктивність праці.

Ще один фактор в безпеці проведення робіт під час збирання врожаю – пожежна безпека.

Існує ще багато факторів, що впливають на безпечне виконання робіт під час збирання коренеплодів, але ці три фактори названі вище найчастіше зустрічаються і повинні привертати увагу.

Основні вимоги охорони праці та навколишнього середовища викладені в нормативних документах, при цьому:

1. Машина коренезбиральна повинна відповідати вимогам ДСТУ.
2. Розміщення і конструкція складових частин машини коренезбиральної повинні забезпечувати вільний доступ до них, безпечність при монтажі, експлуатації, очищенні та ремонті.
3. Електрообладнання, що виготовлене в складі машини коренезбиральної та електропроводки до обладнання, монтаж, налагодження та введення в експлуатацію повинні відповідати вимогам конструкторської документації.
4. Рівень шуму на робочому місці тракториста під час роботи машини коренезбиральної не повинен перевищувати норм, що встановлені стандартами.
5. Максимальне зусилля опору переміщення органів управління технологічним процесом та при технічному обслуговуванні машини не повинно перевищувати норм, наведених в стандартах.
6. Показники вібраційного навантаження та тракториста в межах робочого місця (зони) не повинні перевищувати санітарних норм вібраційного навантаження, наведених в стандартах.
7. Рухомі елементи передач повинні бути закриті кожухами або захисними пристроями.

8. Машина коренезбиральна може бути обладнана власними приладами світлової сигналізації.

9. Місця розміщення мастильних як пофарбованих, так і тих, що мають металеві покриття, повинні бути забезпечені кольоровими покажчиками, які відрізняються від загального кольору машини коренезбиральної.

10. На рамі машини коренезбиральної повинні бути позначені місця строповки та установки домкратів по ГОСТ 14192-78 стійкою фарбою, що відрізняється від загального кольору машини.

11. На видних місцях (в місцях обслуговування або поблизу небезпечних місць) повинні бути нанесені попереджуючі написи або таблички з безпеки праці: табличка строповки; напис “Регулювання та очистку КС-6Б проводити тільки при непрацюючому двигуні трактора”; напис “Не стій під елеватором”; знак обмеження швидкості; знаки місць установки домкратів; знаки місць строповки; знаки попередження про небезпеку; знак обмеження габариту по ширині.

Місця їх розміщення у відповідності до вимог креслень.

12. Машина коренезбиральна повинна комплектуватись чистиком і має бути передбачене місце для його кріплення.

13. Приєднання машини коренезбиральної до трактора повинно забезпечувати безпеку посадки тракториста на робочому місці, а також необхідну оглядовість робочої зони.

14. На обох кінцях рами повинні бути встановлені світлоповертачі або плівка світлоповертаюча.

15. Машина коренезбиральна повинна бути укомплектована противідкочувальними упорами під колеса.

16. При від'єднанні машини коренезбиральної від трактора вона повинна зберігати стійке положення.

17. Показники вібраційного навантаження на тракториста в межах робочого місця (зони) не повинні перевищувати санітарних норм вібраційного

навантаження, наведених в ГОСТ 12. 1. 012-76, додаток 5 (для загальної вібрації категорії 3, тип “а”).

18. Габарити машини повинні бути позначені згідно з ДСТУ 2189.

19. Коренезбиральна машина повинна мати місця для стропування і для встановлення домкратів. Місця для стропування повинні бути позначені згідно з ГОСТ 14192-78 фарбою, відмінною від загального фону.

5.2. Аналіз потенційних виробничих небезпек при експлуатації коренезбиральної машини

Розробка та впровадження ефективних заходів запобігання аварійним і травмонебезпечним ситуаціям можливі лише при завчасному виявленні тих небезпек, з яких починаються процеси їх формування. Оскільки небезпечні умови не завжди завчасно виявити, а для вивчення небезпечних дій іноді потрібно багато часу, щоб зібрати статистичний матеріал, то й методи виявлення цих небезпек повинні бути відповідно диференційовані. Небезпечні дії, логічно взаємопов'язані з небезпечними умовами і небезпечними виробничими факторами дають можливість точно сформулювати зміст небезпечної або аварійної ситуації.

Метод логічного моделювання потенційних аварійних травм і катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльні виробництва, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому, логічному (при необхідності і математичному) аналізі і терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій [21].

Метод логічного моделювання травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій значно полегшує пошук причин аварій виробничих травм і ДТП при їх розслідуванні.

Логічні моделі можна застосувати при прийнятті рішень про

відповідальність осіб винних у виникненні таких пригод, а також ступінь вини самого потерпілого.

5.3. Заходи по покращенню умов праці

Захист обслуговуючого персоналу від ґрунтового (психогенного) пилу, що виникає внаслідок дії ходової частини тракторів і робочих машин, а також їх робочих органів, вітрової ерозії залежно від типу ґрунтів, їх складу і вологості є одною їх актуальних вимог при розробці нової модернізації сучасної сільськогосподарської техніки особливо це стосується для регіонів, земельні площі яких мають підвищений радіоактивний фон, накопичений внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Багаторічними дослідженнями встановлено, що ґрунтовий пил містить на декілька порядків більше радіонуклідів, ніж в поверхневому (орному) шарі ґрунту. Відомо, що робітники, які працюють в гірничій та вугільній промисловості, на виробництві будівельних матеріалів (цементу), борошна, комбікормів та інших, захворюваність органів дихання у робітників, безпосередньо зайнятих на обробці ґрунту, сівби, збиранню і первинної обробки сільськогосподарської продукції. Міністерство охорони здоров'я України відмітило дещо підвищення легеневих неспецифічних захворювань органів дихання у певній категорії робітників, що виконують роботи, зв'язані з обробіткою ґрунту, сівбою с-г культур, збиранням і переробкою кормових і зернових культур.

На сьогоднішній період (після 13 років Чорнобильської аварії) найбільшу небезпеку для працюючих в АПК складає ґрунтовий пил, при цьому щільність пилу в повітрі не повинна перевищувати допустимий рівень – $4\text{мг}/\text{м}^3$, а якщо пил ще має підвищену радіоактивність, то він стає край небезпечним для працюючих [21].

Для максимального зменшення значення пилу потрібно звести до мінімуму коефіцієнт затримки пилу в легенях за рахунок зниження

концентрації пилу шляхом очистки повітря, що надходить в органи дихання, а також зробити комфортними умови роботи, зменшивши фізичні зусилля на органах керування і обслуговування агрегатів при виконанні технологічних операцій. Для особливо важких умов праці треба зменшити тривалість зміни.

Таким чином, з технічної точки зору можна впливати на покращення умов праці як організаційним шляхом, так і за рахунок удосконалення техніки, пошуку можливості зниження концентрації пилу та коефіцієнта інтенсивності роботи.

Головним завданням при цьому є пошук технічних можливостей різкого зменшення рівня можливостей різкого зменшення рівня запиленості на робочих місцях робітників, особливо в зонах з підвищеною радіоактивною забрудненістю ґрунтів. Для вирішення цих питань є три основні напрямки: розробка більш досконалих засобів індивідуального захисту робітників, розробка ізолюваних від попадання пилу робочих місць (герметизовані кабіни) з подачею в них чистого повітря та розробка робочих органів машини з забезпеченням мінімального пилоутворення при виконанні технологічних процесів або з відведенням техногенного пилу з робочих місць.

Відомо, що під час збирання коренеплодів машинно-тракторними агрегатами найбільше пилоутворення має місце в зоні дії викопувальних робочих органів машин (дисків, лемешів, вилок), позаду ведучих задніх і передніх напрямних коліс, очисних лопатевих валів тощо. Причому, вихрові потоки повітря, що виникають при русі позаду трактора і робочої причіпної коренезбиральної машини підіймають дрібнодисперсний (найбільш небезпечний) пил до зони дихання працівників. В кабіні тракторів (особливо перших випусків, що не мали повітроочисних фільтрів) пил попадає через нещільності притуплення вікон, дверей, технологічні отвори щітка на панелі приладів і підлоги.

Для покращення умов роботи нами розроблені пристрої для очищення повітря від пилу з подальшою подачею його в кабіну у тракторів МТЗ-920 з одночасним створенням надлишкового тиску в кабіні, а також пристосування

для осаджування пилу, що виникає внаслідок дії робочих органів коренезбиральної машини. Зовнішнє повітря засмоктується вентилятором, що приводиться в рух від електродвигуна чи подається в рідинний повітроочисник барботашного типу. Частини пилу відокремлюється від повітря, а очищене повітря подається по трубопроводу в кабінку, створюючи в ній надлишковий тиск і цим самим перешкоджаючи попаданню зовнішнього пилу в кабінку. Конструкція повітроочисника дозволяла змінювати якість очищення повітря в залежності від створення надлишкового тиску в кабінці.

5.4. Протипожежна профілактика

Протипожежна профілактика - комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожеж, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

Протипожежна профілактика є основним комплексом заходів у системі запобігання пожежам, до виконання яких безпосередньо на с.-г. підприємстві і окремих виробництвах залучається як державні органи пожежного нагляду, так і керівники всіх ринків: господарств, галузей, служб.

До основних заходів пожежної профілактики належать:

- обстеження господарств, відділів, бригад, цехів, ділянок і окремих виробництв на дотримання в них правил пожежної безпеки;
- забезпечення об'єктів та робочих місць первинними засобами гасіння пожеж, інструкціями з пожежної безпеки, необхідною літературою;
- пропаганда пожежної безпеки (лекції, семінари, кінофільми тощо).

6. Оцінка економічної ефективності роботи гвинтово-еліпсного очисного робочого органу

Застосування нової очисної системи в бурякозбиральних машинах привело до покращення якості виконання технологічного процесу збирання коренеплодів цукрових буряків та дозволило зменшити забрудненість та втрати коренеплодів цукрових буряків в порівнянні з серійною машиною, відповідно в два та 1,6 рази. Розрахунок показників економічної ефективності застосування такої очисної системи проведений згідно викладень [35].

Підрахунок економічних показників проводився із врахуванням споріднених операцій в технологічному процесі: збирання цукрових буряків, транспортування їх до бурякопунктів, відвезення домішок (землі і рослинних залишків) від бурякопунктів в поле на відстань 12 км. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності від застосування очисної системи вороху коренеплодів в модернізованій коренезбиральній машині згідно результатів порівняльних випробувань базової та модернізованої машини.

Економічну ефективність використання гвинтово-еліпсного очисника модернізованої коренезбиральної машини МКП-6 проводили в порівнянні відносно базової і оцінювали комплексно за функціональними показниками роботи, а зокрема втратами та забрудненістю коренеплодів.

Економічний ефект від зниження втрат коренеплодів при їх викопуванні:

$$E_6 = W_3 \cdot T_p \cdot Y \cdot a \cdot c, \quad (6.1)$$

де W_3 - продуктивність машини за годину змінного часу, га/год;

T_p - річне планове навантаження машини, год.;

Y - середня урожайність буряків, т/га;

a - питома збільшення збору буряків за рахунок зменшення їх втрат у порівнянні з базовою: $a = (1,8 - 1,1) / 100 = 0,007$;

c - закупівельна ціна буряків, грн/т ($c = 542$ грн/т).

$$E_g = 1,45 \cdot 300 \cdot 21,5 \cdot 0,007 \cdot 542 = 35483,38 \text{ грн.}$$

Розрахунковий економічний ефект від зниження втрат коренеплодів на один гектар зібраної площі становить

$$E'_g = E_g / (W_z \cdot T_p), \quad (6.2)$$

$$E'_g = 35483,38 / 1,45 \cdot 300 = 81,57 \text{ грн/га.}$$

Оскільки, основні витрати пов'язані з перевезенням ґрунту з поля на цукровий завод і в зворотному напрямку, то розрахунок економічної ефективності проводимо відносно зменшення видатків на транспортування вороху.

Продуктивність за годину змінного часу на вивезення коренеплодів буряків від коренезбиральної машини

$$W_{z.g} = \frac{B}{T_u}, \quad (6.3)$$

де B - вантажоздатність причепа, т;

T_u - час одного циклу при відвезенні коренеплодів буряків, с.

Вантажоздатність причепа в тоннах чистої продукції коренеплодів буряків

$$B = \frac{q}{100} \cdot \mathcal{C}, \quad (6.4)$$

де q - паспортна вантажоздатність причепа, 4 т (для причепа ПТС-4);

\mathcal{C} - чистота вороху коренеплодів при збиранні базовою і модернізованою машинами.

Оскільки забрудненість коренеплодів наведена у відсотках, то чисті коренеплоди становитимуть $100\% - \mathcal{Z}$, де \mathcal{Z} – забрудненість вороху коренеплодів, %.

$$B_o = 4 \cdot (100 - 9,5) / 100 = 3,62 \text{ т;}$$

$$B_m = 4 \cdot (100 - 4,7) / 100 = 3,81 \text{ т.}$$

Час одного циклу при відвезенні коренеплодів:

$$T = t_{нав} + t_{пер} + t_{вив} + t_{х.пер} \quad (6.5)$$

де $t_{пер.б} = t_{пер.м} = 0,85$, $t_{вив.б} = t_{вив.м} = 0,3$, $t_{х.пер.б} = t_{х.пер.м} = 0,7$ - відповідно час перевезення та вивантаження коренеплодів і холостого переїзду, год.

Час навантаження транспортного засобу

$$t_{нав} = \frac{B}{Y \cdot W_m}, \quad (6.6)$$

де W_m - продуктивність роботи машини, га/год.;

Y - врожайність коренеплодів цукрових буряків, т/га.

$$t_{нав.б} = 3,62 / 21,5 \cdot 1,45 = 0,116 год;$$

$$T_{ц.б.} = 0,116 + 0,85 + 0,3 + 0,7 = 1,966 год;$$

$$W_{з.в.б} = 3,62 / 1,966 = 1,841 м / год.$$

$$t_{нав.м} = 3,81 / 21,5 \cdot 1,45 = 0,122 год;$$

$$T_{ц.б.} = 0,122 + 0,85 + 0,3 + 0,7 = 1,972 год;$$

$$W_{з.в.б} = 3,81 / 1,972 = 1,932 м / год.$$

Необхідну кількість транспортних засобів для вивезення коренеплодів з 1 гектара визначаємо за залежністю

$$K = \frac{Y}{B}, \quad (6.7)$$

$$K_б = 21,5 / 3,62 = 5,94, \quad K_м = 21,5 / 3,81 = 5,64.$$

Заробітну плату працівників по вивезенню коренеплодів з 1 гектара

$$З = (\sum K \cdot r_j) / (T_{ц} \cdot K_{зм}), \quad (6.8)$$

де K - кількість механізаторів, які зайняті на вивезенні, чол.;

r_j - погодинна ставка механізатора, ($r_j = 15$ грн/год);

$K_{зм}$ - коефіцієнт використання експлуатаційного часу $K_{зм} = 0,7$.

$$З_б = (5,94 \cdot 15) / (1,966 \cdot 0,7) = 65,03 \text{ грн} / \text{га},$$

$$З_м = (5,64 \cdot 15) / (1,972 \cdot 0,7) = 61,30 \text{ грн} / \text{га}.$$

Питомі витрати на реновацію транспортних засобів

$$A = \frac{B \cdot a' \cdot Y}{T_{рм} \cdot W_{з.в.б}}, \quad (6.9)$$

де B - балансова вартість ТЗ (трактор + причіп 2ПТС-4), грн.;

a' - нормативний коефіцієнт амортизаційних відрахувань ($a' = 0,16$);

T_{pm} - нормативне річне завантаження $T_{pm} = 1000$ год.

$$A_{\sigma} = 480000 \cdot 0,16 \cdot 21,5 / 1,841 \cdot 1000 = 896,90 \text{ грн / га ,}$$

$$A_{\mu} = 480000 \cdot 0,16 \cdot 21,5 / 1,932 \cdot 1000 = 854,65 \text{ грн / га .}$$

Питомі відрахування на капітальний, поточний ремонт і планове технічне обслуговування

$$P = \frac{B(R_k + R_n) \cdot Y}{T_{pm} \cdot W_{з.в}}, \quad (6.10)$$

де $(R_k + R_n) = 0,34$ - нормативний коефіцієнт щорічних відрахувань на капітальний і поточний ремонт.

$$P_{\sigma} = 480000 \cdot 0,34 \cdot 21,5 / 1,841 \cdot 1000 = 1905,92 \text{ грн / га ,}$$

$$P_{\mu} = 480000 \cdot 0,34 \cdot 21,5 / 1,932 \cdot 1000 = 1816,14 \text{ грн / га .}$$

Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали

$$П = \frac{N_{\delta} \cdot q' \cdot Ц_n \cdot a_n \cdot K \cdot T_{ц}}{100}, \quad (6.11)$$

де N_{δ} - номінальна потужність трактора $N_{\delta} = 51,5$ кВт;

q' - питомі витрати палива ($q' = 0,252 \text{ кг / кВт} \cdot \text{год}$);

$Ц_n$ - вартість дизельного палива, $Ц_n = 40$ грн/кг;

a_n - середній відсоток використання потужності трактора $a_n = 80\%$.

$$П_{\sigma} = 51,5 \cdot 0,252 \cdot 40 \cdot 80 \cdot 5,94 \cdot 1,841 / 100 = 2270,74 \text{ грн / га ,}$$

$$П_{\mu} = 51,5 \cdot 0,252 \cdot 40 \cdot 80 \cdot 5,64 \cdot 1,932 / 100 = 2262,63 \text{ грн / га .}$$

Прямі експлуатаційні видатки складуть

$$B_n = 3 + A + P + П, \quad (6.12)$$

$$B_{n\sigma} = 65,03 + 896,90 + 1905,92 + 2270,74 = 5136,56 \text{ грн / га ,}$$

$$B_{n\mu} = 61,30 + 854,65 + 1816,14 + 2262,63 = 4994,72 \text{ грн / га .}$$

Питомі капіталовкладення

$$K_n = B \cdot Y / W_{з.в} \cdot T_{pm}, \quad (6.13)$$

$$K_{n\sigma} = 480000 \cdot 21,5 / 1,841 \cdot 1000 = 5605,64 \text{ грн / га ,}$$

$$K_{n\mu} = 480000 \cdot 21,5 / 1,932 \cdot 1000 = 5341,61 \text{ грн / га .}$$

Приведені витрати на 1 гектар складають

$$\Pi_{\text{ннт}} = E_n \cdot K + B_n, \quad (6.14)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E_n=0,15$).

$$E_{\text{нб}} = 0,15 \cdot 5605,64 + 5136,56 = 5977,40 \text{грн} / \text{га},$$

$$E_{\text{нм}} = 0,15 \cdot 5341,61 + 4994,72 = 5795,96 \text{грн} / \text{га}.$$

Економічний ефект від зниження забрудненості коренеплодів на 1 га

$$E'_3 = \Pi_{\text{ннт.б}} - \Pi_{\text{ннт.м}}, \quad (6.15)$$

$$E'_3 = 5977,40 - 5795,96 = 181,44 \text{грн} / \text{га}.$$

Річний економічний ефект складає

$$E_3 = E'_3 \cdot W_6 \cdot T_p, \quad (6.16)$$

$$E_3 = 181,44 \cdot 1,45 \cdot 300 = 78926,4 \text{грн}.$$

Загальний економічний ефект за рік експлуатації становить

$$E_p = E_6 + E_3, \quad (6.17)$$

$$E_p = 35483,38 + 78926,4 = 114409,78 \text{грн}.$$

Економічний ефект на 1 га зібраної площі

$$E'_p = E_p / W_6 \cdot T_p = 114409,78 / 1,45 \cdot 300 = 263,01 \text{грн}. \quad (6.18)$$

Результати розрахунку економічних показників зведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2.

Показники розрахунку економічної ефективності

№ п/п	Показник	Значення показника		Ступінь зниження затрат, %
		Базової	Нової	
1.	Кількість транспортних засобів, шт.	5,94	5,64	5,1
2.	Заробітна плата, грн.	65,03	61,30	5,4
3.	Затрати на реновацію ТЗ, грн.	896,90	854,65	4,7
4.	Затрати на капітальний ремонт і ТО, грн.	1905,92	1816,14	4,7
5.	Затрати на паливо-мастильні матеріали, грн.	2270,74	2262,63	0,4
6.	Прямі експлуатаційні витрати, грн.	5136,56	4994,72	3,1
7.	Питомі капіталовкладення, грн.	5605,64	5341,61	4,7
8.	Приведені витрати, грн.	5977,40	5795,96	3,4
9.	Економічний ефект на 1га, грн.	-	263,01	-

Висновки.

Проаналізовано, що основні витрати пов'язані з перевезенням ґрунту з поля на цукровий завод і в зворотному напрямку, то розрахунок економічної ефективності проводимо відносно зменшення видатків на транспортування вороху.

Приведені результати розрахунку економічної ефективності розробленої конструкції гвинтово-еліпсного очисника свідчать про доцільність його використання, при цьому річний економічний ефект від зниження забрудненості коренеплодів становить 263,01 грн. на 1 га.

Загальні висновки

1. Технологічний процес очищення вороху цукрових буряків із застосуванням традиційних шнекових і турбінних очисників не забезпечує ефективної сепарації і не відповідає вихідним вимогам - за високої вологості шнеки залипають ґрунтом і втрачають працездатність; турбінні очисники - ефективно працюють лише при великих кутах нахилу роторних турбін, що значно обмежує їх застосування. Вдосконалення технологічного процесу очищення вороху буряків від домішок без розробки нових конструктивних схем практично вичерпало себе в забезпеченні підвищення якості очищення коренеплодів.

2. Підвищення якості роботи очисних систем коренезбиральних машин досягається інтенсифікацією дії на ворох активних еліптичних робочих органів за рахунок забезпечення додаткового вертикального осцилюючого руху коренеплодів вздовж русла гвинтово-еліптичного очисника з раціональними його конструктивними параметрами і кінематичними режимами. При цьому загальна кількість домішок у воросі зібраних коренеплодів складає 4,7%, в тому числі вільного ґрунту – 1,2%, рослинних решток – 2,2% при вихідних вимогах не більше 9,0; 1,5 і 2,5%, відповідно.

3. Приведені аналітичні залежності для визначення зміни відносної швидкості V_e і швидкості нормального зближення $V_{збл}$ коренеплодів з робочими поверхнями еліптичних вальців від зміни їх кутових параметрів, що дало можливість теоретично визначити ударні контактні напруження та силу удару, при цьому максимальні значення швидкостей досягаються при кутових параметрах близьких до 90° і не перевищують 2,0 м/с. Змодельований процес руху коренеплодів в очисній системі дозволив визначити нормальну складову швидкості співудару коренеплодів $V'_{кор}$ в момент переходу з очисної гірки на гвинтово-еліптичний очисник, яка не повинна перевищувати межу допустимої швидкості співудару за умови непошкодження

коренеплодів.

4. Пошкодження коренеплодів цукрових буряків в основному залежать від нормальної складової сумарної результуючої швидкості співудару коренеплодів з робочими поверхнями еліпсного вальця, яка повинна знаходитися в межах 3,7 - 6,3 м/с для усередненого діаметра гвинта $0,1 \leq D_y \leq 0,2$ (м) та встановленій межі допустимої швидкості співудару 3,5 м/с.

5. Межі зміни кутової швидкості обертання еліпсних вальців регламентуються допустимою швидкістю співудару коренеплодів з гвинтовою еліпсною поверхнею і забезпеченням продуктивності очисника та становлять 12,5 – 17,0 рад/с для коефіцієнта сепарації вороху $k_{сен.в} = 0,5$; поступальної швидкості руху машини 2,0 м/с; максимального значення коефіцієнта заповнення робочого простору жолоба очисника $k_{з.о.макс} = 0,8$; швидкості руху полотна очисної гірки 1,2 м/с та її кута нахилу до горизонту 55° і усередненого діаметра вальців 0,18 м.

6. Максимальна продуктивність гвинтово-еліпсного очисника забезпечує продуктивність викопувальної частини коренезбиральної машини з коефіцієнтом сепарації вороху $k_{сен.в} = 0,5$; $D_y > 0,15$ м; кутовою швидкістю обертання еліпсних вальців $\omega_e \geq 15,0$ рад/с за таких параметрів: кроку вальця $T = 0,25$ м; висоти рифа $H = 0,03$ м; $k_{з.о.макс} = 0,8$; радіуса півеліпса $R_k = 0,59$ м.

7. В результаті проведення повнофакторного експерименту отримано регресійні рівняння залежностей втрат, пошкоджень і забрудненості вороху коренеплодів, якими встановлено, що в діапазоні зміни факторів $0,1 \leq D_y \leq 0,2$ (м), $0,035 \leq h \leq 0,06$ (м) більший вплив на параметри оптимізації має величина зазору h між еліпсними валами, при цьому, на основі аналізу поверхонь відгуку та їх двомірного перерізу підтверджено раціональні межі конструктивних параметрів очисника: усереднений діаметр еліпсних вальців $D_y = 0,16...0,18$ м; зазор між валами $h = 0,045-0,047$ м; крок рифа $T = 0,25$ м; висота рифа $H = 0,03$ м; радіус півеліпса $R_k = 0,55-0,65$ м з кутовою швидкістю обертання еліпсних вальців $\omega_e = 15,7$ рад/с;

8. За результатами польових досліджень встановлено, що агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу модернізованої машини – пошкодження й забрудненість вороху коренеплодів знаходяться в межах вихідних вимог при вологості ґрунту від 14,0 до 26,0%; при цьому пошкодження становлять 3,1 - 8,7%; забруднення – 4,5 - 7,1%; втрати – 0,7 - 1,5%. Застосування гвинтово-еліпсного очисника вороху цукрових буряків раціональніше в умовах підвищеної вологості ґрунту, за якої робота серійних машин незадовільна. Порівняно з серійною машиною розроблений очисник забезпечує зниження загальної кількості домішок в 2 рази, в тому числі налиплого ґрунту на коренеплодах в 4,75 рази.

9. Приведені результати розрахунку економічної ефективності розробленої конструкції гвинтово-еліпсного очисника свідчать про доцільність його використання, при цьому річний економічний ефект від зниження забрудненості коренеплодів становить 263,01 грн. на 1 га.

Список використаної літератури

1. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. – Вінниця: Нова книга, 2010. 667 с.
2. Гарькавий А.Д. Конкурентоспроможність технології машин: навчальний посібник / А.Д. Гарькавий, В.Ф. Петриненко, А.В. Спірін. - Вінниця: ВДАУ - „Тірас”. 2003. 68 с.
3. Дубчак В.М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М. Дубчак, В.М. Пришляк, Л.І. Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018.
4. Іванов М.І., Гунько І.В., Ковальова І.М., Худолій О.І. Аналіз технологічних систем. Навчальний посібник. Частина 1. Вінниця.2010. 113с.
5. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник. ... за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. - Київ : Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.
6. Калетнік Г.М. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солона О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.
7. Павленко В.С., Цуркан О.В. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник / За ред.. В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2012. 128 с.
8. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук : ВНАУ, 2017. 116 с.
9. Типові норми продуктивності машин і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур / В.В. Вітвіцький, І.М. Демчак, В.С. Пивовар та ін. – К.: НДІ «Укراгропромпродуктивність», 2005. 544с.

10. Типові норми продуктивності машин і витрат палива на передпосівному обробітку ґрунту. – К.: НДІ «Украгропромпродуктивність», 2005. 672с.

11. Спирін А.В., Твердохліб І.В., Борисюк Д.В., Омелянов О.М. Охорона праці в галузі. Практикум.– Вінниця: РВВ ВНАУ, 2016. 127 с.

12. Сумець О.М., Войтов В.А. Логістичні системи і ланцюги постачань: [навч.посібник].-2-е видання, стереотипне. – Харків; КП «Міська друкарня», 2016. 194 с.

13. Шевченко І. Сучасні технології забезпечення тваринництва екологічно чистими кормами / І. Шевченко, В. Шацький, І. Махмудов // Агро перспектива.- 2019. - № 11(107).С. 74-78

14. Wrap-Stacker: Проспект фірми Grays 2016.

15. The Fastest Handler I Any Field Round or Square: Проспект фірми Traileyre Systems. - 2020.P.2.

16. Булгаков В.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков, О.М. Черниш // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (82) 2016. –С.5-9.

17. Зінченко О. І. Кормовиробництво: Навчальне видання. - 2-е вид., доп. І перероб. - К.: Вища освіта, 2005. 448 с.

18. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П. та ін. Практикум з використання машин у рослинництві. Дн-ськ, ДДАУ, 2002.212 с.

19. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полєвода / За ред.. В.С. Павленка. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. 110 с.

20. Пришляк В.М. Механіко-технологічні властивості стебел як передумова до розробки робочих органів сільськогосподарських машин і формування проектних компетентностей агроінженера / Пришляк В.М., Курило В.Л. Техніка, енергетика, транспорт АПК. - 2019. - № 1 (104). С. 20-27.

21. Голінько В.І. Г 60 Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. 271 с.
22. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: Підручник / В.Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2002. 320 с.

ДОДАТКИ

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Інженерно-технологічний факультет

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ОЧИСНИКА КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

Магістерська кваліфікаційна робота на здобуття
освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи МГАІ-1-22
Юрій ДЕМЧЕНКО

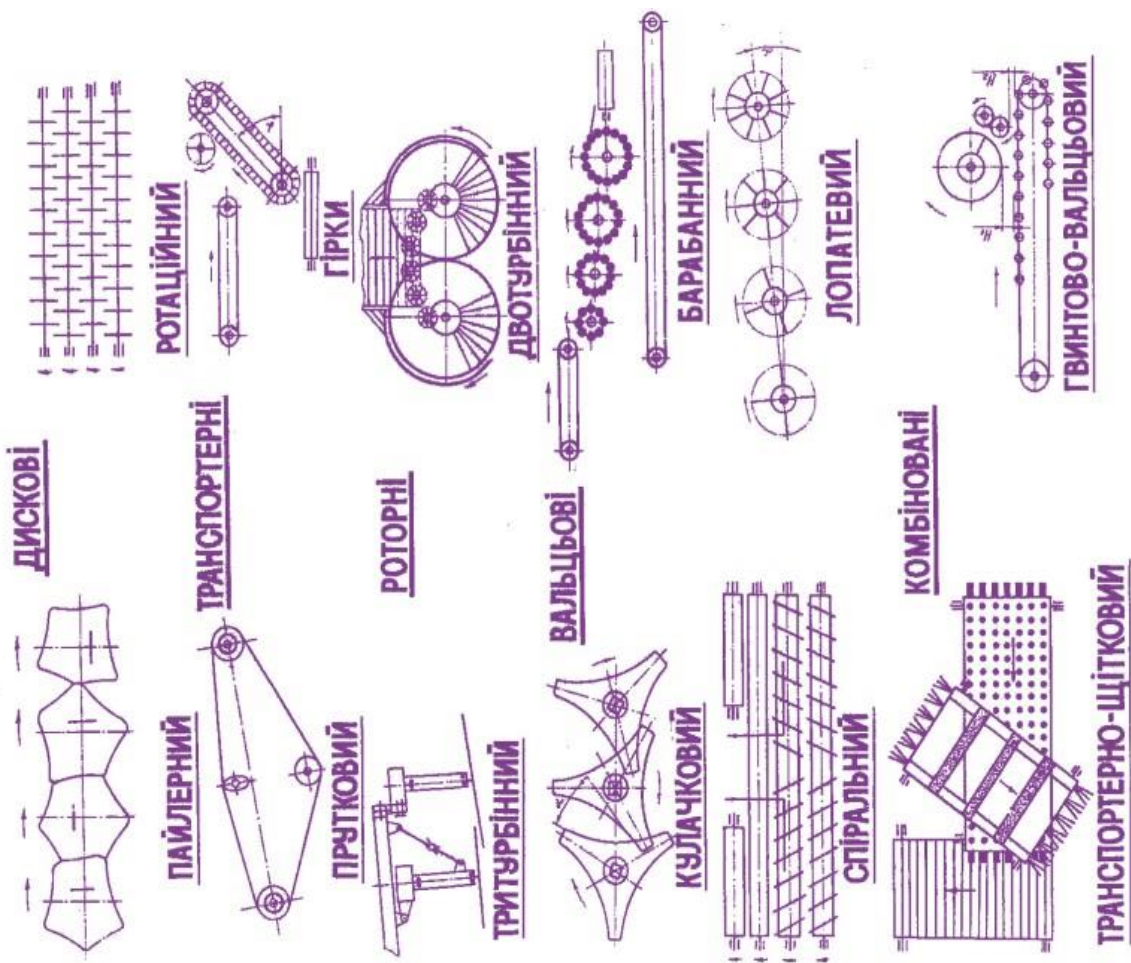
Керівник: к.т.н., доцент
Наталія ПОНОМАРЕНКО

Дніпро - 2023

Метою досліджень є покращення якості очищення коренеплодів цукрових буряків шляхом розроблення конструкції та вибору раціональних параметрів очисної системи залежно від умов роботи з використанням гвинтово-еліпсного очисника.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення таких завдань:

1. Провести аналіз сепарації вороху цукрових буряків і обґрунтувати технологічний процес очищення коренеплодів від домішок й розробити нову конструктивно - технологічну схему активної очисної системи.
2. Визначити основні конструктивно -кінематичні параметри роботи гвинтово - еліпсного очисника на основі аналізу характеру руху та взаємодії коренеплодів з робочими поверхнями гвинтово -еліпсного механізму і визначення продуктивності очисника .
3. Провести порівняльну оцінку ефективності використання коренезбиральної машини з гвинтово -еліпсним очисником і базової машини .
4. Розробити інженерну методику розрахунку основних параметрів гвинтово - еліпсного очисника .



При падінні на гірку **середнє значення проєкції швидкостей** :

$$V_{ox} = -V_o \cdot \cos a_T; \quad V_{oy} = 0;$$

$$V_{oz} = -V_o \cdot \sin a_T;$$

де V_o - проєкція початкової швидкості коренеплоду в момент його дотику до поверхні гірки, м/с;

a_T - кут нахилу траєкторії польоту коренеплоду.

Враховуючи початковий напрям руху коренеплоду, **середні значення проєкції швидкості до зіткнення** :

$$V_{on} = V_o \cdot (\cos a_T \cdot \cos b + \sin a_T \cdot \sin b) =$$

$$= -V_o \cdot \cos(b - a_T); \quad V_{ob} = 0;$$

$$V_{ot} = V_o (\cos a_T \cdot \sin b - \cos b \cdot \sin a_T) = V_o \sin(b - a_T).$$

Після контактної взаємодії **швидкість коренеплоду** :

$$V_{1n} = k_T V_{on}$$

де k_T - коефіцієнт відновлення швидкості ;

V_{on} - нормальна складова швидкості коренеплоду, м/с.

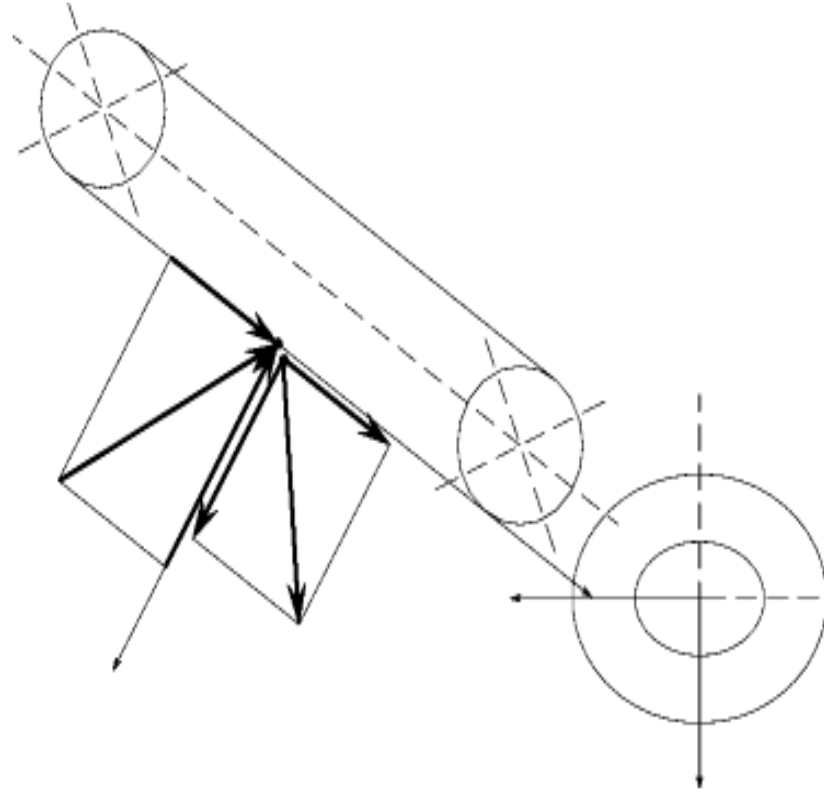


Схема для розрахунку кінематичного режиму очисника

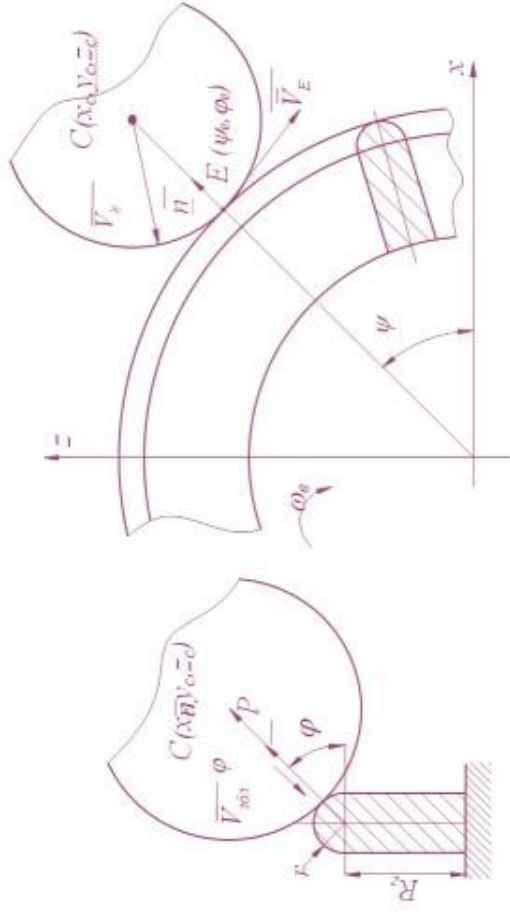


Схема взаємодії коренеплоду з рифом очисника

Рівняння поверхні округлення рифа:

$$\begin{aligned}
 x &= -R_2 \cos \psi + r \cos \psi \sin \varphi - r \sin \alpha \sin \psi \sin \varphi; \\
 y &= \frac{I_2}{2\pi} (\psi + \omega t) + r \cos \alpha \sin \varphi; \\
 z &= R_2 \sin \psi + r \sin \psi \cos \varphi - r \sin \alpha \cos \psi \sin \varphi,
 \end{aligned}$$

Кожна точка заокругленої поверхні обертається разом із шнековим рифом і швидкість точки в місці контакту:

$$\begin{aligned}
 \vec{V}_E &= \frac{d\psi}{dt} (\psi, \varphi_1) \vec{i} + \frac{d\psi}{dt} (\psi, \varphi_1) \vec{j} + \frac{dz}{dt} (\psi, \varphi_1) \vec{k} - \\
 &- \left[(R_2 - r \cos \varphi_c) \sin \psi_c + r \sin \alpha \sin \varphi_c \cos \psi_c \right] \omega \vec{i} - \\
 &- \left[(R_2 - r \cos \varphi_c) \cos \psi_c + r \sin \alpha \sin \varphi_c \sin \psi_c \right] \omega \vec{k}.
 \end{aligned}$$

Вектор швидкості коренеплоду:

$$\vec{V}_k = V_k \cos \gamma \vec{i} + 0 \vec{j} - V_k \sin \gamma \vec{k}$$

Найнебезпечніші пошкодження виникають при прямому центральному ударі

Відносна швидкість коренеплоду та контактної зони гвинтового рифа

$$\begin{aligned} \vec{V}_B &= \vec{V}_k - \vec{V}_E, \\ \vec{V}_B &= \{V_k \cos \gamma + [(R_r - r \cos \phi_e) \sin \psi_e - r \sin \alpha \sin \phi_e \cos \psi_e] \omega_B\} \vec{i} - \\ &- \{V_k \sin \gamma - [(R_r - r \cos \phi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \phi_e \sin \psi_e] \omega_B\} \vec{k}. \end{aligned}$$

Максимальні напруження в момент контактної взаємодії

$$\sigma = \frac{(k^2 P)^{\frac{1}{3}}}{\pi r k} \sqrt{\left(1 + \frac{rk}{r}\right) \left(1 + \frac{rk}{r+R_r}\right)}.$$

Поряд з нормальною швидкістю взаємодії $V_n = V_{збл}$ коренеплод переміщається і по поверхні контакту, тобто має тангенціальну швидкість взаємодії. Якщо знехувати кутовим обертям коренеплоду, то тангенціальне переміщення самого коренеплоду:

$$\vec{V}_{t-} = \vec{V}_B - \vec{V}_{збл} = \vec{V}_B + |\vec{V}_{збл}| \cdot \vec{n}.$$

Повна відносна швидкість коренеплоду після удару (до рифа):

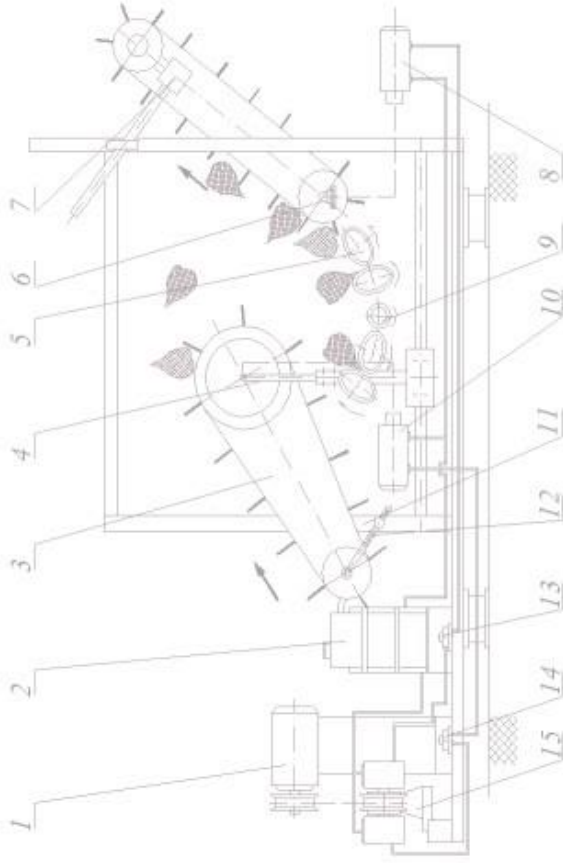
$$\vec{V}_+^B = \vec{V}_{t+} + \vec{V}_{n+} = \vec{V}_B + (1 + k_V) |\vec{V}_{збл}| \cdot \vec{n}.$$

В системі координат $OXYZ$ швидкість коренеплоду:

$$\vec{V}_{кор} = \vec{V}_t^B + \vec{V}_E = \vec{V}'_{корx} \cdot \vec{i} + \vec{V}'_{корy} \cdot \vec{j} + \vec{V}'_{корz} \cdot \vec{k}.$$

Складова $V'_{корy}$ визначає зміни напрямку руху коренеплоду при переході із гірки на шнековий очисник та визначається за залежністю:

$$V'_{корy} = \overline{V}_E + \overline{V}_B + (1 + k_V) |V_{збл}| \vec{n} = \overline{V}_k + (1 + k_B V) |V_{збл}| \vec{n}.$$

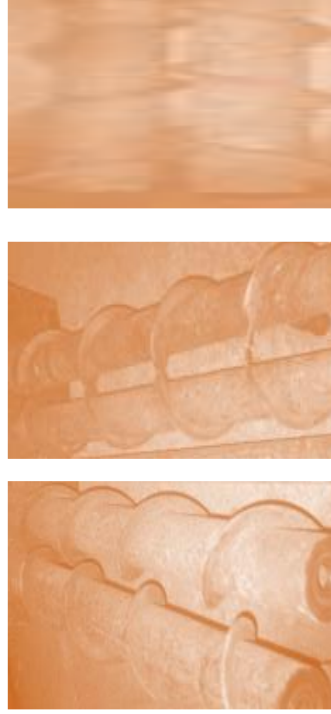


Конструктивна схема лабораторної установки

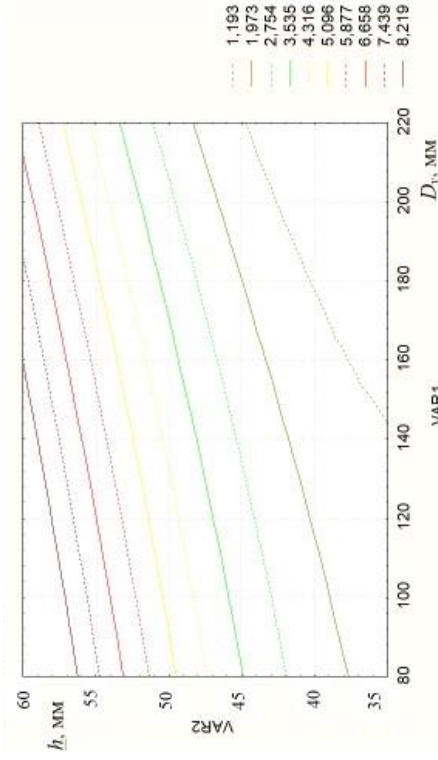
- 1 – електродвигун;
- 2 – масляний бак;
- 3 – завантажувальний транспортер;
- 4 – напівавляюча стійка;
- 5 – гвинто-еліпсний очисник;
- 6 – очисна гірка;
- 7 – регулювальна тяга;
- 8, 10 – гідромотори станції;
- 9 – гладкий валець;
- 11 – рама;
- 12 – натяжний механізм.

Загальний вигляд гвинтових еліпсних вальців:

- а - $D_y = 100$ мм;
- б - $D_y = 150$ мм;
- в - $D_y = 200$ мм.



З врахуванням спрощення статистичної обробки результатів лабораторних експериментів приймали експеримент (ПФЕ) типу 3^2 , тобто проводили двофакторний експеримент на трьох рівнях варіювання, реалізацію якого проводили в наступній послідовності.



Двомірний переріз поверхні відгуку залежності втрат коренешлодівок від усередненого діаметра D_y еліптичних вальців і зазору h між валами.

Функцію відгуку знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома

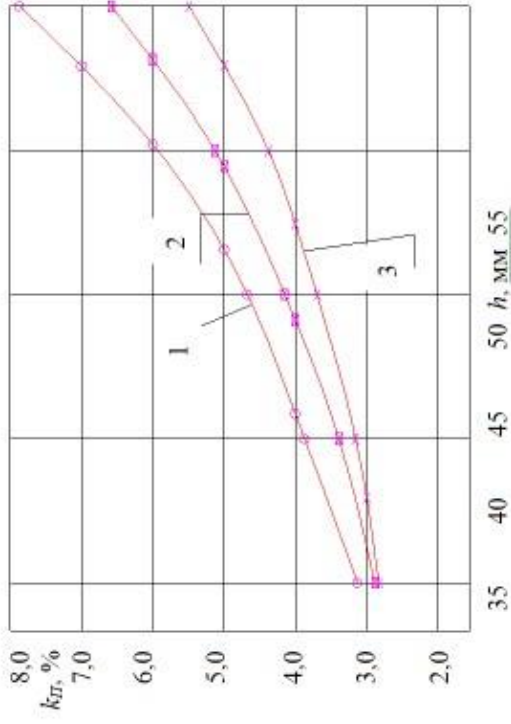
$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_{12} + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2,$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ - коефіцієнти при відповідних значеннях x_i ;

x_1, x_2, x_{12} - кодовані фактори.

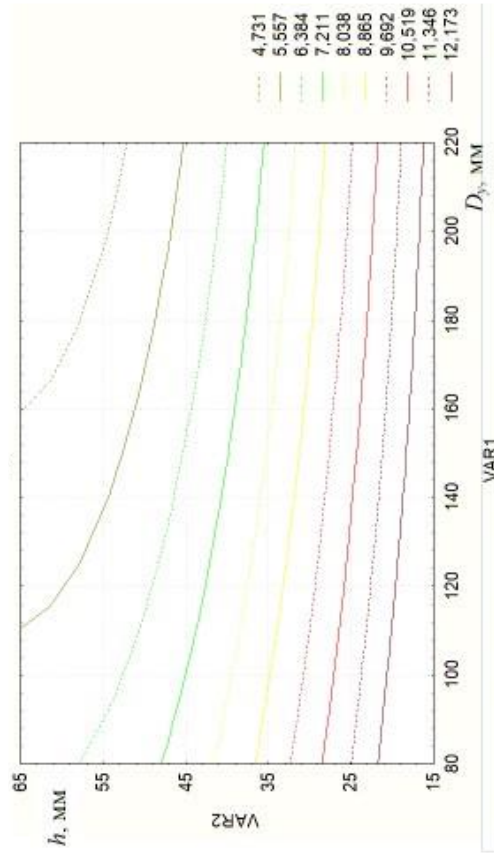
Аналізуючи поверхню відгуку можна зробити висновок, що із збільшенням усередненого діаметра еліптичних вальців втрати коренешлодів значно зменшуються – від 2,6 % і 4,0% ($D_y = 100$ мм) до 1,1% і 2,1% ($D_y = 200$ мм) при відповідних зазорах між валами $h = 40$ і 45 (мм), що також підтверджується залежностями.

Із збільшенням зазору між валами від 35 до 42 мм спостерігається поступове зростання втрат коренешлодів – від 0,7% ($h = 35$ мм) до 1,45% ($h = 42$ мм) при $D_y = 200$ мм. При подальшому збільшенні зазору між валами, приріст показника k_B істотний – при $h = 45$ мм втрати коренешлодів значно перевищують межу допустимих втрат (до 1,5%) згідно вихідних вимог.



Залежність пошкоджень $k_{\text{П}}$ коренеплодів від зазору h між валами при:

- 1 – $D_y = 200$ мм; 2 – $D_y = 150$ мм;
- 3 – $D_y = 100$ мм.



Двомірний переріз поверхні відлиску залежності забрудненості коренеплодів k_3 від усередненого діаметра D_y еліпсних вальців і зазору h між валами.

1. Технологічний процес очищення бороху цукрових буряків із застосуванням традиційних шнекових і турбінних очисників не забезпечує ефективної сепарації не відповідає вихідним вимогам - за високої вологості шнеки залипають ґрунтом і втрачають працездатність турбінні очисники - ефективно працюють лише при великих кутах нахилу роторних турбін, що значно обмежує їх застосування. Вдосконалення технологічного процесу очищення бороху буряків від домішок без розробки нових конструктивних схем практично вичерпало себе в забезпеченні підвищення якості очищення коренеплодів
2. Підвищення якості роботи очисних систем коренезбиральних машин досягається інтенсифікацією дії на борох активних еліпсних робочих органів за рахунок забезпечення додаткового вертикального осцилюючого руху коренеплодів вздовж русла гвинто-еліпсного очисника з раціональним його конструктивними параметрами кінематичними режимами. При цьому загальна кількість домішок у бороху зібраних коренеплодів складає 4,7%, в тому числі вільного ґрунту – 1,2%, рослинних решток – 2,2% при вихідних вимогах не більше 9,0; 1,5 і 2,5%, відповідно.
3. Приведені аналітичні залежності для визначення зміни відносної швидкості V_g і швидкості нормального зближення $V_{збл}$ коренеплодів робочими поверхнями еліпсних валців від зміни їх кутових параметрів, що дало можливість теоретично визначити ударні контактні напруження та силу удару, при цьому максимальне значення швидкостей досягаються при кутових параметрах близьких до 90° і не перевищують 2,0 м/с.
4. Пошкодження коренеплодів цукрових буряків в основному залежать від нормальної складової сумарної результуючої швидкості співудару коренеплодів робочими поверхнями еліпсного валця, яка повинна знаходитися в межах 3,7 - 6,3 м/с для усередненого діаметра гвинта $0,1 \leq D_y \leq 0,2$ (м) та встановленій межі допустимої швидкості співудару 3,5 м/с.
5. Межі зміни кутової швидкості обертання еліпсних валців регламентуються допустимою швидкістю співудару коренеплодів з гвинтовою еліпсною поверхнею і забезпеченням продуктивності очисника та становлять 12,5 – 17,0 рад/с для коефіцієнта сепарації бороху $k_{сеп.г} = 0,5$; поступальної швидкості руху машини 2,0 м/с; максимального значення коефіцієнта заповнення робочого простору жолоба очисника $k_{з.о.макс} = 0,8$; швидкості руху полотна очисної ґрки 1,2 м/с та її кута нахилу до горизонту 55° і усередненого діаметра валців 0,18 м.

6. Максимальна продуктивність гвинтово-еліпсного очисника забезпечує продуктивність вилупувальної частини коренезбиральної машини з коефіцієнтом сепарації вороху $k_{\text{сеп.е}} = 0,5$; $D_y > 0,15$ м; кутовою швидкістю обертання еліпсних вальців $\omega_e \geq 15,0$ рад/с за таких параметрів: кроку вальця $T = 0,25$ м; висоти рифа $H = 0,03$ м; $k_{3,0.\text{макс}} = 0,8$; радіуса півеліпса $R_k = 0,59$ м.

7. В результаті проведення повнофакторного експерименту отримано регресійні рівняння залежностей втрат, пошкоджень і забрудненості вороху коренеплодів, якими встановлено, що в діапазоні зміни факторів $0,1 D_y$, $0,2$ (м), $0,035 h$, $0,06$ (м) більший вплив на параметри оптимізації має величина зазору h між еліпсними валами, при цьому, на основі аналізу поверхонь відлигу та їх двомірною перерізу підтверджені раціональні межі конструктивних параметрів очисника усереднений діаметр еліпсних вальців $D_y = 0,16 \dots 0,18$ м; зазор між валами $h = 0,045 \dots 0,047$ м; крок рифа $T = 0,25$ м; висота рифа $H = 0,03$ м; радіус півеліпса $R_k = 0,55 \dots 0,65$ м з кутовою швидкістю обертання еліпсних вальців $\omega_e = 15,7$ рад/с;

8. За результату та милопольових досліджень встановлено, що агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу модернізованої машини – пошкодження забрудненість вороху коренеплодів знаходяться в межах вихідних вимог при вологості ґрунту від 14,0 до 26,0%; при цьому пошкодження становлять 3,1 - 8,7%; забруднення – 4,5 - 7,1%; втрати – 0,7 - 1,5%. Застосування гвинтово-еліпсного очисника вороху цукрових буряків раціональніше умовах підвищеної вологості ґрунту, за якої робота серійних машин незадовільна. Порівняно з серійною машиною розроблений очисник забезпечує зниження загальної кількості домішок в 2 рази, в тому числі на липлого ґрунту на коренеплодах в 4,75 рази.

9. Приведені результати розрахунку економічної ефективності розробленої конструкції гвинтово-еліпсного очисника свідчать про доцільність його використання, при цьому річний економічний ефект від зниження забрудненості коренеплодів становить 263,01 грн. на 1 га.