

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Обґрунтування параметрів та дослідження  
викопуюче-сепаруючого пристрою на базі ККГ-1,4**

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

\_\_\_\_\_ Албатов Олександр Віталійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Пугач Андрій Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2025



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

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 18.09.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

\_\_\_\_\_ .  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ .  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )



## РЕФЕРАТ

Албатов О.В. Обґрунтуванням параметрів та дослідження викопуюче-сепаруючого пристрою на базі ККГ-1,4 / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

**У першому розділі** представлено огляд літературних джерел за темою досліджень. З огляду на сучасний стан конструкторсько-технічних рішень запропоновано конструкцію викопуюче-сепаруючого пристрою а також сформульовані основні цілі та задачі досліджень.

**У другому розділі** Обґрунтовано модель функціонування викопуюче-сепаруючого пристрою.

**У третьому розділі** представлено програму та методику експериментальних досліджень.

**У четвертому розділі** Виконано аналіз результатів математичного моделювання і польових досліджень

**У п'ятому розділі** приведено аналіз стану охорони праці.

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

Машинописного тексту\_\_\_\_, малюнків\_\_\_\_, таблиць\_\_\_\_, містить джерел використаної літератури\_\_\_\_\_ і має графічної частини\_\_\_\_ листів

Албатов О.В. Розробка математичної моделі руху коренеплоду у викопно-забірному пристрої / О.В. Албатов // The 3<sup>th</sup> International scientific and practical conference «Science, technology and global challenges» (11, 6-8, 2025), Tokyo, Japan. 16-19p.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1. Критерії ефективності та фактори, що впливають на технологічний процес.....	11
1.2. Аналіз конструктивних та схемних рішень машин, що використовуються для збирання кормових буряків.....	12
1.3. Аналіз літературних джерел з обґрунтуванням викопних робочих органів .....	22
Висновки.....	33
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ КОРЕНЕПЛОДУ У ВИКОПУВАЛЬНО-ЗАБІРНОМУ ПРИСТРОЇ.....	35
2.1. Постановка задачі.....	35
2.2. Опис положення дисків.....	38
2.3. Визначення параметрів умовного лотка.....	42
2.4. Визначення початкових характеристик положення коренеплоду.....	46
2.5. Визначення показників початкового контакту коренеплоду.....	50
2.6. Рівняння руху коренеплоду.....	59
2.7. Обчислення характеристик руху коренеплоду у викопно-забірному пристрої.....	71
Висновки.....	86
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕНЕПЛОДІВ.....	88
3.1. Програма визначення механіко-технологічних характеристик коренеплодів.....	88
3.2. Визначення критеріїв ефективності технологічного процесу експлуатації пристрою машини.....	98
Висновки.....	102
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕНЕПЛОДІВ .....	104

4.1. Механіко-технологічна характеристика коренеплодів.....	104
4.2. Масові та інерційні характеристики коренеплодів.....	109
4.3. Об'ємно-просторова характеристика розміщення коренеплодів на полі.....	113
Висновки.....	117
5. ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЗБИРАННІ КОРМОВИХ БУРЯКІВ.....	119
Висновки.....	121
6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ .....	123
Висновки.....	124
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	126
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	129
ДОДАТКИ.....	135

## ВСТУП

Вирішення питання, пов'язаного зі створенням кормової бази тваринництва, проблематично без використання фізіологічного потенціалу кормових буряків .

На думку фахівців, кормовий буряк дає стійкий урожай коренеплодів – 500-700ц/га. На зрошуваних землях та відповідних умовах вирощування врожай може становити 1200–1600 ц/га. Так, у господарствах Німеччини, Данії, Швеції середня врожайність коренеплодів, при міжрядді 50см, становить 1000ц/га, а терміни їх зберігання 7-8 місяців. Прибирання кормових буряків за кордоном, в основному, здійснюється машинами з продуктивністю до 0,5 га/ год.

У США, враховуючи високу трудомісткість процесу збирання та відсутність ефективних бурякозбиральних машин, ця культура не знайшла поширення.

Розширення площ цієї культури стримується як недостатньою кількістю насіння, так і відсутністю оптимальних технологій вирощування, а також недостатністю ефективної дешевої збиральної техніки, здатної задовольнити як велике, так і невелике спеціалізоване фермерське господарство.

На завершальних етапах обробітку кормових буряків - прибирання та закладки на зберігання, залежно від технології, витрати (в середньому) становлять 60% загальних витрат. Причому якість збирання існуючих збиральних машин не забезпечує тривалого зберігання буряків навіть у спеціальних сховищах.

Для раціонального використання площ, що зменшуються під кормовими культурами в господарствах і доведенні врожаю до 900 - 1100ц/га необхідно використання зарубіжного досвіду в організації робіт і потреби робочого часу.

Створенням механізованих засобів для збирання кормових буряків займалися науково-дослідні колективи як України, так і за кордоном. Машини ПЗ "Дніпропетровський комбайновий завод", ВАТ "Тернопільський комбайновий

завод", ВАТ " Уманьферммаш ", АТ " Борекс ", " Гомсільмаш "; спільні розробки 80-90-х років УНІМЕСГ, УкрНДІСГОМ, УкрВІСХОМ; дослідження ХДТУСГ, Орловського СГІ та інших дозволили частково вирішити поставлене завдання.

Протягом 80-х років було випущено: приставку РКС 6.65000, що дозволяє переобладнати комбайни РКС - 6 і РКС - 4 для збирання коренеплодів кормового буряка, МКК-6, РКП - 6 - 03, КС - 6Б - 02, КС - 6Б. ВАТ "Тернопільський комбайновий завод" наприкінці 90-х років відпрацював конструкції причіпних коренезбиральних машин МКП -4 та МКП-6 зі змінними робочими органами.

Таким чином, доцільним є паралельне використання причіпної машини з продуктивністю 0,6-0,8 га/годину, розрахованої на врожайність коренеплодів 400-1000 ц/га з надійними робочими органами, що викопують і сепарують. Тому тема цих досліджень, вкладених у створення ефективних робочих органів для збирання коренеплодів кормових буряків, є актуальною.

Найбільш відповідальним робочим органом бурякозбиральних машин, який визначає якісні показники збирання коренеплодів: втрати, пошкодження, загальну забрудненість вороху – на етапах підкопування, підйому та транспортування буряків до конвеєра-очисника, є пристрій, що викопує.

У машинах використовуваних для збирання кормових буряків найбільш життєздатними викопними пристроями є: пасивні леміхи, вібролеміхи, роторні вилки, сферичні диски + пружні бичі, плоский леміх + "Євродиск". Проте вони не забезпечують комплексного виконання агротехнічних вимог у діапазоні умов, характерних для України за високої (значно більшої за 50т/га) врожайності. Використовуване при цьому ручне прибирання визначає витрати, що становлять 50-70% усіх витрат виробництва кормових буряків.

Значна кількість домішок у купі, а саме: рослинних залишків, незв'язаного бадилля і вільного ґрунту, що формується існуючими копачами, вимагає складних конструкцій очисників, які недостатньо ефективні.

У Харківському державному технічному університеті сільського господарства розроблено машину для збирання кормових буряків з оригінальною

комбінацією складових викопно-сепаруючого пристрою. Розробка цього пристрою та обґрунтування його параметрів становить предмет дисертації, напрямок досліджень якої є важливим та актуальним.

**Мета дослідження.** Розробка ефективної конструкції викопно - сепаруючого пристрою коренезбиральних машин та обґрунтування її конструктивно-кінематичних параметрів, що забезпечують виконання норм агрономів при збиранні високоврожайних кормових буряків.

**Завдання дослідження:**

- розробити конструкцію та оцінити на якісному рівні;
- визначити механіко-технологічні характеристики коренеплодів кормових буряків та параметри їх розташування на полі;
- теоретично дослідити та обґрунтувати параметри викопно -забірною пристрою;
- експериментально дослідити запропонований новий пристрій з кількісною оцінкою критеріїв та перевірити його в умовах експлуатації.

**Об'єкт дослідження.** Характер технологічного процесу збирання коренеплодів кормового буряка.

**Предмет дослідження.** Обґрунтування параметрів викопно-сепаруючого пристрою машини для збирання кормових буряків з високою врожайністю.

**Наукова новизна роботи.** Найбільш значущими положеннями наукової новизни є: розробка математичної моделі просторової взаємодії коренеплоду з дисками викопного та забірною пристрою; оцінка за допомогою математичної моделі умов пошкоджень і втрат коренеплодів, умови контакту з бітером, умови відсутності завантаження при виході за межі дисків, вплив параметрів робочих органів пристрою на процес збирання; розробка методики оцінки механіко-технологічних характеристик та параметрів розташування коренеплодів на полі за допомогою запропонованої об'ємної характеристики масиву кормових буряків "конус зростання".

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Критерії ефективності та фактори, що впливають на технологічний процес

Чинники, що впливають на технологічний процес, можна розділити на дві групи : керовані, тобто такі, які слід приймати на доцільному рівні, що визначається другою групою факторів - некерованих. Вони є умовами роботи пристрою, яким повинні відповідати рівні керованих факторів (параметрів робочих органів).

До параметрів робочих органів слід віднести специфічні характеристики геометрії, кінематики та динаміки робочих органів. Їх розглянемо докладно в розділах , присвячених обґрунтуванню параметрів пропонованого викопно-сепаруючого пристрою.

До некерованих факторів (умов роботи) відносяться розміри коренеплоду та його форма, що визначається сортом, відхилення від поздовжньої осі рядка на рівні ґрунту , відхилення від заданої ширини міжрядь, піднесення та заглиблення коренеплоду, кутові характеристики розташування.

До некерованих факторів належать і ті, які пов'язані з типом ґрунту та його вологістю. До умов збирання відносяться характеристики засміченості поля бур'янами та рослинними рештками, параметри для збирання коренеплодів повинні бути обрані таким чином, щоб агротехнічні вимоги задовольнялися у всьому діапазоні умов роботи.

Якісні показники результату механізованого збирання кормових буряків визначаються такими агротехнічними вимогами:

- загальна забрудненість вороху коренеплодів кормового буряка в транспортному засобі не повинна перевищувати 10% від маси вороху, у тому числі рослинних залишків у вигляді незв'язаного з коренеплодами бадилля не більше 5% від маси вороху;

- кількість коренеплодів, не витягнутих із ґрунту та загублених машиною, не повинна перевищувати 1,5% за масою. Некондиційні коренеплоди кормових буряків з діаметром менше 50 мм у втрати не враховуються;

- загальна кількість усіх пошкоджених коренеплодів не повинна перевищувати 15% за масою;

- сильно пошкоджених коренеплодів, що входять до загальних ушкоджень, не повинно бути більше 8% за масою.

Агробіологічні вимоги передбачають середню довжину коренеплоду, що становить 175мм у межах варіювання 100-250 мм, а середній діаметр коренеплодів з діапазоном можливого розкиду 100-260 мм становить 130мм при можливому розташуванні головок коренеплодів кормових буряків 0 над поверхнею.

Викопні робочі органи машин відповідно до агротехнічних вимог повинні забезпечувати якісне вилучення коренеплодів кормового буряка з глибиною залягання до 100 мм, при робочій швидкості машини до 6 км/год ( $\approx 1,7\text{м/с}$ ), забезпечуючи продуктивність за годину основного часу, враховуючи умови роботиб, міжрядьб, міжряд. Конструктивне рішення машини та робочих органів у тому числі має забезпечувати зручність та простоту обслуговування, включаючи регулювання та ремонт. Коефіцієнт готовності визначено не нижче 0,945, а надійність технологічного процесу збирання коренеплодів кормового буряка оцінюється коефіцієнтом не нижче 0,95.

## **1.2. Аналіз конструктивних та схемних рішень машин, що використовуються для збирання кормових буряків**

Характер розв'язуваних завдань, пов'язаних із ґрунтово-кліматичними умовами, агротехнологічними ознаками та врожайністю сортів кормових буряків, а також виробничо-господарським потенціалом, визначає доцільність вибору типу бурякозбиральних машин, обладнаних різними видами основних

викопно- сепаруючих робочих органів.

Широке застосування для збирання кормового буряка отримало використання машини ККГ-1,4. Підкопування та вилучення коренеплодів з ґрунту здійснюється за допомогою встановленого механізму гуркоту лемеша та вичавних виделок 1 у передній частині рами 2. Сепарація ґрунту та очищення коренеплодів від землі від ексцентрикових валів приводів коробів 3.

Машина значно знижує витрати. Однак для вільчастих робочих органів характерна низька експлуатаційна надійність на вологих ґрунтах і полях зарослих бур'янами, що пов'язано із залипанням міжпругового простору решіт і зниженням рівня сепарації. Крім цього, при використанні вичавних виделок на збиранні коренеплодів кормового буряка з піднесенням, що становить 0,5-0,7 довжини коренеплоду, зростають втрати та пошкодження, пов'язані із завалюванням у поперечному напрямку підкопаних коренеплодів. Частково проблема втрат і пошкоджень усувається установкою ножів, що підкопують, шириною і довжиною рівних 30см, виготовлених з лемешків картоплекопувачів КТН-2В або КСТ-1,4. Але це призводить до зростання енерговитрат та обсягу ґрунту, рослинних домішок та кореневищ у купі. Усунення забивання решіт на забур'янених полях і підвищення ефекту сепарації вороху забезпечує заміна гуркоту на транспортери або встановлення приводних кулачків-очисників знизу на гуркітні решета з розташуванням верхньої утворює контуру кулачків між тростинами гуркоту.

Аналіз викопних робочих органів, що складаються з лемеша, що підкопує.

До цього ряду належать: однорядна машина ММТ-1 заводу "Лідсільмаш" (Латвія), уніфікована з дворядною Е-825. Технологічний процес викопного пристрою ММТ-1 подібний до процесу роботи однорядної машини ЕМ-11 (обидві машини випускалися в Німеччині), а також дворядного самохідного комбайна фірми "Мадер енд Плетт" (Великобританія) і трирядного комбайна фірми "Аса Ліфт" (США).

Особливістю розглянутих вище робочих органів є використання на

машинах теребильного типу, що накладає тимчасові обмеження термінах їх використання. Так як формування листя на кормовому буряку в основному закінчується наприкінці серпня - на початку вересня, а розвиток коренеплодів триває, і приріст врожайності може становити близько 10 ц/га, то запізнена збирання (при заморозках понад 40 С) призводить до повної втрати врожаю.

Загальним недоліком лемешних копачів з фіксованою установкою глибини підкопування, що здійснюється гідроциліндром, є їх обмеження використання на легких і середніх ґрунтах. Це пов'язано із значними тяговими опорами, які орієнтовно можуть становити діапазон 4,3-5,8 кН залежно від заглиблення, стану та типу ґрунтів. На це вказує і те, що потужність силового агрегату, встановленого на трирядному комбайні Аса Ліфт, становить 92 кВт, а однорядна причіпна машина ЕМ-11 агрегується з трактором тягового класу 14кН.

Установка “плаваючого” лемеха-копача 3 на машину Е-825 забезпечує захист від перевантажень, стабілізує тяговий опір, але не знижує його значень. Однорядна машина ММТ-1 розрахована для роботи на важких ґрунтах підвищеної вологості. Вона обладнана підкопуючим лемешом, наслідком умов експлуатації якого стало оснащення більш складними (пальчаста гірка для додаткового очищення) та металомісткими системами відділення ґрунтових і рослинних домішок, вміст яких у купі, що надходить на очищувач, може перевищувати 50 % і більше від маси коренеплодів. Тяговий опір залежно та умовами роботи може припускати діапазон зусиль 6,5-8,5кН.

Очищення вороха від значної маси ґрунту, що подається лемешними копачами, і зменшення шляху проходження коренеплодів кормового буряка по конвеєру-очиснику сприяло створення роторних пруткових очищувачів з віссю обертання у вертикальній площині. Під впливом відцентрових сил частки і грудки землі просіваються як у зазори похилого полотна роторного очищувача, і через зазори бічних решіток, службовців обмежувачами-направляючими. Крім функції очищення завдання похилого роторного очищувача входить, і підйом коренеплодів з поверхні ґрунту.

Характерною компоновкою робочих органів, що включають пасивні лемішки і похилий одновальний роторний очищувач, відрізняються дворядний викопувач навантажувач Thyregod і дворядний копальник-валкоукладач кормового буряка Thyregod T-4 (Данія), представлений.

До недоліків робочих органів машин, що розглядаються, крім недоліків, властивих лемешковим і полозовим копачам, а саме втрат коренеплодів від звалюваності убік, енергоємності і значущості маси ґрунту, що подається на очищувач, - можна віднести ушкоджувальність підкопаних коренеплодів кормового буряка. Дослідження машин, обладнаних очищувачами такого типу, проведені фахівцями ВНДІМОЖу, дають можливість оцінити кількісний характер пошкоджень коренеплодів та ступінь забрудненості вороху. Загальна забрудненість вбраного вороху досягає 14,6%, а сильно пошкоджені коренеплоди кормових буряків становлять близько 9,7%.

Конструкції копачів з лемешами, що підкопують, були розроблені Тернопільським комбайновим заводом у двоваріантному виконанні. Для цього використовувалися пасивні спеціальні ножі з прутковими напрямними – секційний з підкопуючими лопатками та суцільний ніж-плоскоріз, встановлені на коренезбиральній машині КС-6Б-06. На підставі випробувань фахівцями ВНДІМОЖу для двох сортів кормового буряка “Переможець” та “Еккендорфська жовта” було отримано низку якісних показників технологічного процесу збирання коренеплодів, властивого копачам такого типу.

При типових умовах вологості та твердості ґрунту під час збирання буряків, густоті насадження рослин порядку 69 та 73 тис./га та врожайності 802 та 741 ц/га для вищевказаних сортів втрати склали порядку 2,1 та 2,4%, а рівень сильних пошкоджень 6,6. Робочі швидкості агрегату відповідали значенням 1,05 та 1,27 м/с.

У ході випробування комбайна КС-6Б-06 з копачами у вигляді спеціальних ножів з прутковими напрямними, середня глибина підкопування буряка склала 88 мм, при цьому середній відсотковий склад вбраного вороху дорівнював

значенням для коренеплодів 86,3%, всього домішок (загальна загр. передбачають  $\leq 10\%$ ) у тому числі рослинних домішок 8,0% (за агрономічними  $\leq 5\%$ ).

Альтернативою пасивним або "плаваючим" лемішкам з складними сепаруючими системами, що ними обумовлюються, є розробка німецькими фахівцями вібролемешів для збирання цукрових буряків. Перевагою цих органів, що викопують, є універсальність використання в діапазоні вологості ґрунту 16-28% і твердості ґрунту, що становить 2,5-3,5МПа. Однак вони сприйнятливі до сухого та щільного ґрунту, недостатньо заглиблюються і не забезпечують повноту збирання за врожайності менше 400ц/га. Ряд машин, обладнаних вібролемешами, випускаються фірмами "Ropa", "Holmer", "Franz Kleine" та "Stoll" Німеччина, "Matrot" Франція, "ТІМ" Данія, а також спільно з підприємствами України, в тому числі з Тернопільським комбайновим заводом 4-(МКП-4) та 6-рядна (МКП-6) ВАТ "Борекс" 1-2.

Фірма "Stoll" для підвищення якості очищення впровадила систему "Роталіфт". Функціональна схема викопного пристрою до КС-6 складається з віброуючих викопних лемешів системи "Роталіфт", що є парою пружних дисків з розімкненим контуром. Диски встановлені під кутами атаки та розвалу щодо поздовжньої площини рядка та розташовані над поверхнею ґрунту. У робочій зоні переміщення коренеплодів розташований бітер, трилопатева конст. - рукція якого забезпечує передачу коренеплодів буряків, що забираються, на чотирирівальний доочисник.

За результатами вимірів НДІ сільгосптехніки при Боннському університеті проведена кількісна оцінка ступеня очищення буряків від землі при швидкості роботи комбайна КС-6, що становить 5,4км/год (1,5м/с). 35,5 кг ґрунту. Після очищення турбіною ґрунту залишається 2,4 кг, а доочищення передавальними органами залишає його не більше 1,2 кг. Результатом очищення вороху турбіною машини з системою "Роталіфт" є 1,6 кг ґрунту, а після доочищення передавальними органами його вміст знижується до 0,4 кг.

Машини, оснащені вібролемешами, використовуються в Західній Європі

не тільки на збиранні цукрових буряків, але і при збиранні кормових коренеплодів.

На полях Чехії та Словаччини для збирання як цукрових, так і кормових буряків використовувалася шестирядна навісна машина KR-6 E фірми "Кляйне" із встановленими віброремешами. Фахівцями зазначено, що кількість сильних ушкоджень при збиранні цукрових буряків становить близько 6% і є значні втрати. При збиранні кормових буряків порізи та пошкодження бічної поверхні коренеплоду роблять проблематичним використання машин з розглянутим конструктивним рішенням на збиранні кормових буряків, оскільки зберігання кормових буряків у господарствах Західної Європи передбачається протягом семи-восьми місяців: з жовтня до травня місяця.

Крім цього слід відзначити значні енерговитрати навісного варіанту, що використовується на збиранні цукрових буряків, які характеризуються тяговим опором, що становить близько 20кН, і потужністю силового агрегату, що передбачається, в межах 90-120кВт.

Використання пар дискових копачів для самохідних машин КС-6Б, КС-6Б-02, КБ-6, КСБ-6 та причіпних МКП-4, МКП-6 Тернопільського комбайнового заводу для збирання цукрових буряків обмежується умовою доцільності збирання при врожайності корм 300-400ц/га та впорядкованості агрофону коренеплодів. При врожайності, більшій ніж 400 ц/ га або сильної невіривняності коренеплодів за їх розташуванням і розмірами в рядках, застосування машини стає недоцільним через сильне травмування коренеплодів, що забираються.

Часткове збільшення кутів розвалу і сходження, а також бажане збільшення відстаней між передніми і задніми кромками дисків на рівні ґрунту, що забезпечує розширення фронтальної зони захоплення коренеплодів і знижує висоту області переходу коренеплодів за кромки дисків, що утворюють, забезпечується наступним чином. Диски копачів розсуваються за допомогою додаткової прокладки між диском та маточницею.

Німецькі сільськогосподарські підприємства вирощують кормові буряки

сортів Роте Вальце, Футтеркраф і Розамона, які пристосовані до машинної технології вирощування та збирання, використовують переобладнану коренезбиральну машину КС-6. Для цього збільшують відстань між дисками копачів, знижують окружну швидкість бітера-копача для зменшення сили удару по коренеплоду, замість першої пари очищувачів шнекових монтують іншу (що веде потік вороху), опускають передавальний бітер і знижують швидкість поздовжнього транспортера.

За даними німецьких фахівців, непереобладнана машина пошкоджує 70-75% коренеплодів, у тому числі близько 20% значно. При використанні модернізованого варіанта кількість сильно пошкоджених коренеплодів зменшується майже в 2 рази, а слабо травмованих – на 30–35 %.

Конструктивне рішення, розроблене фахівцями ХДТУСХу у співпраці з УкрНДІСГОМ, дозволяє значне збільшення діапазону регулювань просторового розташування суміжних підкопувальних дисків (для кутів розвалу та сходження 22- 240 ), що передбачає ешелонування копачів.

Поздовжнє зміщення збільшує зазор між суміжними дисками, в межах якого можливе збільшення кутів атаки та розвалу, а також відстаней між передніми та задніми кромками дисків. Однак обмеження зони виходу коренеплоду за межі дисків жорстким ободом сприяє заклиненню коренеплоду при дії лопатей бітера. У цьому випадку пасивні диски, що не обертаються, починають "гатити", нагрібаючи перед собою ґрунт. При активних дисках коренеплід буряка травмується чи роздавлюється.

Кінематичний параметр, що характеризує відношення окружних швидкостей приводного та непривідного дисків в діапазоні 1,2-1,6, сприяє зниженню споживаної потужності, але незалежний характер обертання є причиною того, що лезо активного диска схильна до інтенсивного абразивного зносу. Затуплене лезо диска визначає зростання вертикальної складової реакції зусилля різання ґрунтового шару, що у свою чергу сприяє їх виглибленню. Це призводить до зростання кількості втрат і пошкоджень коренеплодів кормових

буряків.

Вирішення проблеми створення пружної зони виходу коренеплодів за межі утворюючих кромek дисків, що транспортують, служать конструкторські розробки пристрою для викопування коренеплодів Науково-дослідного інституту сільського господарства Нечорноземної зони України для пасивного лемеша. Пруткові коренезабірники робочих органів з роторними викопними вилками машин РКС-6, РКМ-6-01 Дніпропетровського комбайнового заводу та чотирирядної причіпної коренезбиральної машини МКП-4 ВАТ “Тернопільопіль-плідник5” забезпечують транспорт. Слід зазначити, що поперечний переріз робочих органів (активних копалень), що переміщаються в ґрунті, значно і для подолання тягового опору потрібно близько 29,85кВт, що становить приблизно 56% всієї споживаної машиною потужності. За умов вологості ґрунту менше 12% і твердості понад 1,5 МПа ушкоджуваність коренеплодів досягає 40% при втратах 20%.

Конструкції мають характерну особливість, що полягає в здатності збільшення відстані між точками контактів, зони виходу, бічної поверхні коренеплоду і шарнірного пір'я 4 як в першому варіанті і прутків коренезабірника , загорнутих в пружну основу маточини1, для втор. Загальна ефективність робочих органів, що розглядаються, які включають пружні коренезабірники в конструкціях, знижується через енергоємні підкопувачі : полозовидного лемеша 3 або активних виделок.

Створення несиметричних – комбінованих, щодо поздовжньо-вертикальної площини рядка, конструкцій дозволило врахувати значну мінливість агротехнологічних ознак кормових буряків, що характеризуються незначним заглибленням, досягненням великих кутів відхилення поздовжньої осі від вертикалі, об'ємно-масовими характеристиками при врожайності0. Ці конструктивні рішення дозволяють збільшувати фронтальну зону захоплення коренеплодів передніми ріжучими крайками копачів і забезпечують вільний (без заклинювання) вихід коренеплодів за задніх кромek, що утворюють.

Одним з таких конструктивних рішень є змінний вузол РКС-6.65000 до машини РКС-6, розроблений Дніпропетровським комбайновим заводом і являє собою основну раму, на якій закріплені два сферичні диски (лівий і правий), що забезпечують процес підкопування коренеплодів і зміщення їх в зону бітерного валу, їх на транспортер, що очищає купу від землі та рослинних залишків і транспортує коренеплоди на шнековий очищувач. Кулачки переднього валу можуть йти у ґрунті на глибині, що дорівнює довжині кулачка, що покращує якість підбору коренеплодів. Схема та загальний вигляд конструкції, що складається з активних вилчастих копалень та пружинних активних дисків.

Кількість рядків, що забираються, при міжрядді 0,45 м дорівнює 6-ї, робоча швидкість руху 0,67 м/с, а продуктивність за основний і експлуатаційний час дорівнює 0,7 га/год і 0,46 га/год відповідно.

Недоліком конструкції є одностороннє підкопування коренеплодів, яке компенсується збільшенням заглиблення і зростанням товщини шару, що деформується, а отже, зростанням тягового опору. Необхідність сприяння бичів бітерного валу як процесу довилучення не піднятих на денну поверхню коренеплодів, так і підпору на етапі переходу на перший кулачковий вал, визначає їх достатню жорсткість, яка сприяє травмованості коренеплодів, що впливає на кінцеві терміни зберігання.

Зведення вороху до середини шнековим валом, діаметр якого перевершує діаметр утворюють зірочок приймального поздовжнього полотна транспортера, що очищає, дозволяє створювати затягуючий ефект для ґрунтових грудок і рослинних залишків, що сприяє поліпшенню очищення. Однак заглиблення кулачків валу на величину, рівну їх довжині, збільшує як тяговий опір, так і кількість ґрунту, що подається на конвеєр-очисник.

Відповідно до періодичних випробувань на ЦЧ МІС приставки РКС-6.65000 при середній вологості ґрунту 25,2%, твердості ґрунту 0,54МПа та швидкості руху агрегату 0,62м/с були отримані наступні результати. Втрати коренеплодів становили 1,2%, сильні ушкодження 1,7%, загальні ушкодження

близько 28,9%, величина ґрунтових домішок досягала значення 5,3%.

Фахівці ВНИИМОЖа під час приймальних випробувань машини МКК-6 встановили кількість сильноушкоджених коренеплодів, що дорівнює 5,4%, а ступінь забрудненості вороху становив 3,9%. Періодичні випробування на ЦЧ МІС при врожайності коренеплодів кормових буряків 826ц/га в умовах зниженої вологості ґрунту, що становив близько 10,7% та твердості ґрунту – 2,65МПа, визначили рівень результатів збирання. При швидкості машини 1,14 м/с кількість сильних пошкоджень та втрат коренеплодів кормового буряка становила 3,3% та 2,5% відповідно. Загальна забрудненість вбраного вороху досягала 8%, їх рослинні залишки - 1,8%.

Використання комбінованих копачів, що включають сферичні диски діаметром 0,45-0,6 м у парі з полозом (копачі типу "Євродиск"), дозволило створити ряд бурякозбиральних машин з новим типом робочих органів для збирання коренеплодів, що виробляються вітчизняними та зарубіжними фірмами. До них відносяться серійні машини КС-6Б-05 Тернопільського комбайнового заводу, самохідний комбайн М-41 фірми "Matrot" та комбайни фірм "Erio", "Moreau" Франція, причіпний копач АЗК 6-01 ВАТ "Уманьферммаш".

Конструкція пасивних копачів, що включають полоз, сприяє слабкому фарбуванню ґрунту і, як наслідок, наявності грудок у купі. Як зазначалося вище, використання роторного трисекційного пруткового очищувача фірми "Moreau", що встановлюється на машинах цього типу при вологості більше 15%, за оцінкою фахівців не виробляє достатню очистку коренеплодів від ґрунту, що налип. Залишки рослинності затримуються на прутковому транспортері-очиснику, сильно пошкоджені коренеплоди становлять 9,7-12,9%, а забрудненість вороху досягає 14,6-19,3%.

Фахівці УкрЦІТ наголошують на значній залежності якості роботи машин, обладнаних такого типу викопними пристроями, від агротехнічного фону. Конструкція копача такого типу недостатньо пристосована для збирання

середніх і невеликих коренеплодів, що знаходяться на межі кондиційності, що прослизують через копач. Зменшення зазору між пасивним диском і лемешом призводить до збільшення кількості пошкоджень.

Як видно з наведеного аналізу існуючі робочі органи для викопування коренеплодів кормових буряків мають ряд недоліків. Внаслідок чого, технологічний процес збирання виконується з великою кількістю пошкоджень; має місце досить багато втрат; купа коренеплодів засмічена значною кількістю рослинних залишків (пов'язана і незв'язана бадилля, бур'яни), вільного та зв'язаного ґрунту.

### **1.3. Аналіз літературних джерел з обґрунтуванням викопних робочих органів**

Аналізуючи взаємодії системи ґрунту+коренеплід+кореневитягуючий пристрій, доцільно розглянути етапи процесу, що передують переміщенню. ня коренеплоду кормового буряка на конвеєр-очисник.

Таких етапів чотири: підкопування коренеплодів + руйнування зв'язків коренеплоду з ґрунтом + вилучення коренеплодів на денну поверхню (поверхня ґрунту) + переміщення коренеплоду до робочої поверхні конвеєра-очисника.

Деякі з перерахованих етапів тією чи іншою мірою можуть здійснюватися одночасно, утворюючи характерну комбінацію впливів для даного виду кореневитягуючого пристрою.

Попередній розділ окреслив область теоретичних та експериментальних досліджень вітчизняних і зарубіжних фахівців, що цікавлять нас, з урахуванням конструктивних особливостей розглянутого викопного пристрою, що представляє комбінацію сферичного, плоского і пружного диска.

Питаннями впливу на ґрунт крайок поверхонь елементів робочих органів як двох-або тригранним клином займався основоположник теоретичних основ розрахунку раціональної енергетичної моделі ґрунтообробних знарядь Горячкін

В.П., що характеризує залежність тягового опору від умов і режимів роботи і зумовлює направ.

Подальші дослідження Бахтіна П.У., Літошньова М.М., Денисова Н.Я., Зеленіна А.М., Дьякова В.П., Синєокова Г.М., Петрова Г.Д., Geike A. , Stafford J. розширили і доповнили вплив умов режимів роботи на опір деформації ґрунту зі збільшенням робочих швидкостей елементів викопних пристроїв. На підставі результатів досліджень перерахованих вище фахівців можна оцінити оптимальність просторового розташування передніх кромek підкопувальних елементів та їх взаємозв'язок.

С існуючий просторовий взаємозв'язок поверхонь, що утворюють кут атаки  $\alpha$  , розвалу  $\beta$  і кута різання  $\gamma$  визначає роботу пристрою з вилучення коренеплодів.

Кут тертя  $\varphi$  ґрунту про метал визначається типом ґрунту. Найбільш характерні ґрунти для України – це середньосуглинистий чорнозем ( $\varphi = 0,5-0,8$ ); південний, глинистий ( $\varphi = 0,3-0,6$ ) і важкосуглинисті чорноземи ( $\varphi = 0,4-0,7$ ).

Обґрунтування взаємозв'язку кутів розвалу  $2\beta$  і атаки  $2\alpha$  , а також характеристика розташування площини максимального розкриття перпендикулярної, поздовжньої, вертикальної площини представлені у роботах Хвостова В.А.

Більшому значенню кута відхилення  $i$  площини максимального розкриття (ПМР) відповідає збільшення кута атаки, що покращує умову водіння машини, що погіршує транспортування ґрунтового пласта та сприяє звантаженню , а отже, зростанню втрат та пошкоджень культури, що забирається. Оптимальними для багаторядних машин із погляду Петрова Г.Д. та Хвостова В.А. є такі параметри:  $i = 50^{\circ}$   $\varepsilon = 28^{\circ}$   $2\beta = 18^{\circ}$   $10'$  ,  $2\gamma = 21^{\circ}$   $40'$ .

Для однорядних машин, через відсутність обмежень властивих багаторядним машинам, куту відхилення від вертикалі ПМР відповідає можливо менше значення  $i$  компенсоване збільшенням діаметрів дисків і кута максимального розкриття.

Зміни кутів розвалу і атаки (різання) до певної величини пов'язано з безпечним незначним зростанням зусилля, що зрушує, що сприяє зламу коренеплоду. З робіт Гурченко О.П. слід, що при зміні кута  $\beta$  в діапазоні  $7\pi/90 (14^\circ) - 11\pi/90 (22^\circ)$  зсувне зусилля ( $P_{cd}$ ) збільшується на 0,4%, при характері зміни значень  $2\gamma$  в діапазоні  $\pi/10 (18^\circ) - 13\pi/90 (26^\circ)$  зсувне зусилля ( $P_{cd}$ ) збільшується на 11,2%. При великих кутах різання ( $\pi/2 - \beta$ ) зі зростанням  $2\gamma$  характерно наростання (збільшення) результуючого нормального тиску на корінь.

За наслідками досліджень, проведених Хвостовим В.А. обмежено значення і-кут відхилення ПМР від вертикалі. Можна стверджувати, що:  $i = \alpha$  - кути різання,  $i = \arctg (tg\gamma / tg\beta) \leq \pi/2 - \varphi$ , отже,  $i \leq 40^\circ - 50^\circ$ . Для багаторядних машин краще значення  $i = 50^\circ$ . З умови мінімізації пошкоджень при  $\gamma$  та  $\beta = const$   $\gamma = \beta \approx 12,5^\circ$ .

Дослідження Брусиловського Ю.Р. про прив'язку настановних кутів до форми коренеплоду припускають кут в горизонтальній площині  $\gamma = 18^\circ - 20^\circ$ ; кут у вертикальній площині залежно від "конусності" коренеплоду  $\zeta = 23^\circ - 20^\circ$ ; кут установки копача (ПМР щодо вертикальної площини)  $\alpha \approx 40^\circ$ .

Що ж до кута різання, то роботах Хвостова В.А. рекомендується використовувати наведений кут тертя  $f'$  при розгляді роботи дискових ротаційних копачів:  $f' = f \sin(\varepsilon/2)$ , де  $f$  - коефіцієнт тертя ґрунту по поверхні робочих органів.

Дослідження Синєокова Г.М. дозволяють стверджувати, що при значеннях заднього кута різання  $\geq 0$  тяговий опір та вертикальна реакція, що виштовхує диск із ґрунту, знижуються. За цієї умови менше руйнується (що призводить до розпилення) структура ґрунту, і навіть не порушується стійкість ходу машини.

Обґрунтування залежності між кутом розвалу (нахилу), кутом атаки (розчину), глибиною підкопування коренеплодів та діаметром диска представлено в роботі Герасимчука В.В виразом:

$$D = \frac{h}{\cos \beta/2} + \frac{k^2 \cos \beta/2}{4h \sin^2 \gamma/2}, \quad (1.1)$$

де  $D$  – діаметр диска;  $h$  – глибина підкопування;  $\beta, \gamma$  – кути установки дисків власне у вертикальній та горизонтальній площинах;  $k$  – коефіцієнт, що представляє зв'язок мінімальної (задньої)  $z$  та максимальної (передньої)  $2a$  фронтальної відстані між точками кромки дисків на рівні ґрунту:

$$k = (2a - c)/2. \quad (1.2)$$

Аналіз впливу кутових показників у результаті досліджень використання сферичних дисків розглядався на роботах Семенова А.Н. Так як кут атаки сферичного диска в певних межах ріже пласт ґрунту, а при великих значеннях розпушує його, нагрібаючи ґрунт перед дисками, то необхідний діапазон оптимальних значень ( $\beta_{opt}$ ) при яких здійснюється найбільший ступінь розпушування за відсутності звантажування. У роботі дано зв'язок переведення на початкові параметри значень  $D$  (Хорди диска) і  $h$  (стріли вигину диска).

Аналіз зусиль при оптимальних кутах установки плоских дисків-копачів, при значеннях  $z \geq 20^0 - 25^0$  і  $z \leq 2^0$ , зі збільшенням кутів у межах діапазонів, що склали 26-497Н у першому випадку і досягали значення 198Н для другого. Оптимальним кутом розвалу  $2\beta$ , за твердженням автора, є кут  $18^0 - 20^0$ .

Матеріал Герасимчука В.В. представляє результати досліджень впливу кутів атаки та розвалу на збільшення зсувного тиску до критичного і, як наслідок, злам у хвостовій частині коренеплоду. При цьому зміна  $\beta$  в діапазоні  $20^0 - 40^0$   $P_{сдв}$  збільшується на 13% (у порівнянні з тиском при кутах  $\gamma=20^0$  і  $\beta=20^0$ ). Крім цього, погіршується сход ґрунту з робочих органів. При збільшенні  $\gamma$  з  $20^0$  до  $40^0$   $P_{сд}$  збільшується на 27% (за рахунок звантажування ґрунту в руслі дисків, що звужується).

Велика рівномірність розподілу тиску (0,74-0,97) на поверхні коренеплоду забезпечується збільшенням ширини обох дисків. Проведений автором пошук в діапазоні 30-100мм дозволяє припустити, що найбільш інтенсивне збільшення рівномірності розподілу тиску на коренеплодну поверхню характерно для

ширини обода до 60 мм і при глибині підкопування 100 мм. Зусилля, що вичавлює, становить 180-290Н.

Так як ґрунт в звужується руслі обертових дисків рухається по циклоїдальних кривих з радіусом, прямо пропорційно пов'язаним з діаметром дисків, що підкопують, то збільшення діаметра диска знижує процес звантажування (частково розвантажуючи ґрунт сферичного диска меншого діаметру для нашого випадку), до моменту зсувний тиск на корінь (на 18% у діапазоні зміни діаметра диска 500-700мм).

Крім цього представляє значний інтерес висновок, що міститься в матеріалі Герасимчука В.В, про позитивний вплив ширини обода (поверхні увігнутої сфери диска сферичного), що забезпечує затискання коренеплоду більшим прошарком ґрунту, що забезпечує створення достатнього зусилля, що вичавлює, для подолання сил зв'язку кореня з ґрунтом.

При зміні діаметра диска у бік збільшення витрата потужності зростає за умови, що  $\beta$ ,  $h$   $\gamma$  постійні. Збільшення діаметра диска від 500 до 700 мм призводить до того, що потужність, що витрачається, за твердженням автора, збільшується на 18%. При цьому збільшується ширина пласта, що підкопується, і зростає енергія, необхідна на деформацію ґрунту і відносне переміщення частинок ґрунту в руслі, що звужується.

Оптимальним у дослідженнях Хвостова В.А вважається діаметр дисків у межах 700-750мм., Який забезпечує більшою мірою повноту вилучення коренеплодів, на відміну від дисків менших діаметрів і меншою мірою обмежує створення багаторядних збиральних машин.

За умови, що  $S$  – ширина міжряддя;  $\Delta\epsilon$  - Товщина обода диска;  $\Delta S$  - Зазор між дисками середніх пар;  $C_{min}$  – мінімальна відстань між дисками (у площині максимального розкриття), оптимальними, з погляду автора, є такі параметри: для  $S = 450$  мм,  $\Delta\epsilon = 5$  мм,  $\Delta S = 15$  мм,  $D = 750$  мм,  $\epsilon = 280^\circ$ .

Однак у деяких дослідженнях наводиться і результат, що погіршує характеристики роботи копача, пов'язаний зі збільшенням сили, що зсуває. При

$D_{\text{диска}} = 0,5 \Rightarrow 0,7 \text{ м}$ ,  $P_{\text{сд}}$  збільшується на 1,5 %.

До негативного фактора використання дискових копачів можна віднести і те, що кількість землі, що забирається дисками з плоским лезом при ширині обода  $h \approx 15 \text{ см}$ , складає (19,08-19,81 кг) з 1-го погонного метра рядка (для порівняння: машина КБШ-1 при підкопуванні вузьким леме 1 погонного метра рядка  $\approx 49,4 \text{ кг}$ ). Однак цей недолік частково усувається використанням ґратчастих дисків, які просіюють  $\approx 30-40\%$  ґрунту, що забирається.

І тут, з погляду автора, оптимальний ряд геометричних параметрів наступний:  $\Delta b = 10 \text{ мм}$ ;  $\Delta S = 15 \text{ мм}$ ;  $S = 450 \text{ мм}$ ;  $z = 70 \text{ мм}$ ;  $D = 710 \text{ мм}$ .

До переваг роботи дискових копалень, за припущенням Брусиловського Ю.Р., можна віднести велику стійкість витримування заглиблення дискових копачок порівняно з лемішними. Крім цього, дискові копачі забезпечують більшу крихітну здатність і менш чутливі до можливого забиття бур'яном, ніж лемішні. Енергетичні показники дискових копачів краще, ніж лемешних копалень, у зв'язку з меншим опором для меншої робочої зони, що підкопується.

Оптимальним значенням діаметра як параметра дискового копача, за дослідженнями Брусиловського Ю.Р. -  $D = 0,65-0,7 \text{ м}$ .

Використання пружного коренезабірника дозволяє реагувати на варіювання діаметрів коренеплодів, а також уникнути заклинювання коренеплоду (а отже, його травмування). Питання обґрунтування параметрів розглядалося Погорілим Л.В., Беланом М.Ф., Єремєєвим І.Д., Воліком А.Ф. та іншими авторами.

Як наслідок з урахуванням реально існуючих конструкцій і обмеженням щодо їх розташування в міжрядді рівному 45 см для  $D \approx 0,72 \text{ м}$ ,  $\text{tg } \beta / 2 \approx 0,27$   $\beta \approx 30^\circ$ . По Єремєєву І.Д., Умова виконується при  $\beta = 38,6^\circ - 45,45^\circ$ ,  $f = 0,35 - 0,45$ .

Виходячи з умов мінімізації пошкоджень коренеплоду на кожному з чотирьох етапів (фаз), що проходять коренеплодом у процесі вилучення, етап переходу коренеплодів із зони затискання в зону контакту з металевою поверхнею передньої утворює конвеєра-очисника представлений у ряді

досліджень. Представляє певний інтерес умова зв'язку максимальної кількості оборотів бітера  $n_{max}$  з мінімальною ушкоджуваністю коренеплодів буряків, що мають кінетичну енергію, що надається лопатою бітера.

Ряд досліджень характеризують обмеження, які у тому, що дискові копачі працюватимуть у діапазоні швидкості агрегату від 2,4 до 8 км/ч. (0,67-2,22 м/с). При цьому якість викопаних коренеплодів не погіршується. Збільшується кількість землі, що надходить на конвеєр-очисник, проте за рахунок збільшення довжини ділянки активного завантаження транспортера і підвищення ступеня кришення пласта створюється умова для просіву ґрунту (покращення ефекту сепарації).

Характер складових швидкості руху коренеплоду у робочому руслі представлений роботами Гурченко А.П., Хвостова В.А., Погорелого Л.В.

З енергетичних досліджень необхідно підкреслити, що на привод дисків при обертанні з різними швидкостями витрачається потужність приблизно 6,52 л . (4,8 кВт).

Аналіз діапазонів кінематичного параметра  $\lambda$  ( $\lambda = V_o / V_n$ ), Де  $V_o / V_n$  відношення окружної швидкості  $V_o$  обертання диска до поступальної швидкості  $V_n$  агрегату дозволяє зробити деякі узагальнення. При значеннях параметра

-  $\lambda=0,8 - 0,9$ , активне зсувне зусилля на корінь приблизно дорівнює зусилля для дисків (пасивних), що вільно обертаються, і веде до зниження (у бік руху робочого органу) зсувного тиску;

-  $\lambda \leq 1,25 - 1,3$ , знижується зсувний тиск;

-  $\lambda \geq 1,25 - 1,3$ , зсувний тиск змінює напрямок впливу на коренеплід на протилежне напрямку робочого органу (винос ґрунту випереджає стиск – вичавне зусилля зменшується);

-  $\lambda=1,2$ , зсувний активний тиск знижується на 27%, а вичавлювальні активні зусилля залишаються приблизно постійними.

На думку автора, при  $\lambda = 0,8-1,35$  потужність на привід диска становить 1,18 - 1,99 кВт але зменшується тягова потужність на переміщення агрегату за рахунок збігу обертання дисків з напрямком руху агрегату до значення  $N_{пер.аг} =$

1,32 - 0,81 кВт. При цьому створюється сила, що штовхає, зменшує потужність на переміщення агрегату, що сприятливо позначається на тягових властивостях трактора.

Загальний баланс потужності при  $V_n = 0,7-1,6$  м/с при  $\lambda = 1,2$ , що витрачається на технологічний процес при активному приводі дисків приблизно на 40% більше у порівнянні з пасивними робочими органами та на 21% - у порівнянні з лемішковими копачем.

Процес порушення зв'язків коріння з ґрунтом при смиканні без повороту та з поворотом коренеплоду досліджувався Гурченком О.П.

Для непривідних симетрично розташованих дисків характерне обмеження твердості оброблюваного ґрунту  $\leq 3,0$  МПа (за Василенком П.М. і Брею В.В). Крім цього автори стверджують, що перезволоженість ґрунту сприяє забиванню дисків і зростанню енерговитрат (копачі " Вікон ", у яких споживана потужність на одну строчку коренеплодів, що убираються, при  $V_p = 1,37$  м/с і підвищеної твердості ґрунту  $N_{нотр}$  становить 43 л.с.).

Використання кількох пасивних дисків різних діаметрів з різними кутовими швидкостями дозволяє використовувати ефект приводних дисків в обмеженому діапазоні кінематичного параметра.

Представляє значний інтерес аналіз матеріалів поведінки коренеплоду у пристрої, що викопує, у зв'язку з різними кутовими швидкостями.

За наслідками досліджень Гурченко О.П., характерний наступний ряд висновків:

- обмеження по закручування пов'язані з межею пошкоджень коренеплоду, обмежують кінематичний параметр  $\lambda$  до значення  $\lambda = \omega_a / \omega_n = 1,9 \div 3,0$ , збільшуючись з підвищенням вологості;

- оптимальне значення кінематичного параметра  $\lambda = 1,3-1,5$  на твердих сухих ґрунтах ( $\tau_c \approx 1$ );

- для підвищеної вологості допускається збільшення допустимих значень кінематичного параметра, хоча умови неушкоджуваності  $\lambda$  може набувати

значення в діапазоні 1,9-3,0.

На підставі спостережень автора, ефективність провороту впливає на зміни зусилля перенесення  $P_{mp}$ : при зміні глибини підкопування  $h_{підк} 0 \Rightarrow 8\text{см}$  з поворотом на кут  $\lambda = \pi / 45^\circ$  значення зусилля зменшується на 68%.

Вплив на коренеплід через деформований ґрунт пов'язує величину і характер розподілу тиску зі значенням кінематичного параметра, при  $V_0 / V_n = (0,92 - 3,15)$  сила бічного тиску  $P$  знижується (для дискових робочих органів, досліджуваних Петровим Г.Д і Хвостовим В.А., вона склала 0,522-0,017 МПа).

Для досліджень траєкторій точок дисків як плоского, і сферичного, представляє безсумнівний інтерес рівняння траєкторій і швидкостей точок, що займають різне становище у просторі дисків, що підкопують, у роботах Канарева Ф.М.

Рівняння швидкості точки

$$V = V_n \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda(\sin\alpha \sin\beta \cos\omega t - \cos\alpha \sin\omega t)}, \quad (1.3)$$

де  $\lambda = R / V_n$ ,  $\alpha$  - кут атаки;  $\beta$  - кут розвалу.

Робочий орган визначає характер силової взаємодії на систему: ґрунт + коренеплід.

Особливістю ефективної складової зусилля, що вичавлює (вижимає), що діє на коренеплід, є рівномірність розподілу тиску на бічну поверхню і розподіл його по висоті. У дослідженні матеріалу Герасимчука В.В.

$$\delta = (P_1 + 2P_2 + P_3) / P_{max}, \quad (1.4)$$

де  $P_1, P_2, P_3$  - тиск ґрунту на поверхню кореня по глибині підкопування;  $P_{max}$  - максимальне значення тиску з ряду  $P_1, P_2$  або  $P_3$   $\delta$  - рівномірність розподілу тиску на фронтальну поверхню коренеплоду в площині, перпендикулярній напрямку руху робочого органу.

Величина зсуву тиску визначає можливість обламування хвостової частини коренеплоду і описується виразом:

$$P_{сдв} = P_1' - P_2', \quad (1.5)$$

де  $P_1'$  - тиск ґрунту на корінь у напрямку руху робочого органу;  $P_2'$  - тиск ґрунту на корінь буряків, що підкопується, в напрямку, протилежному руху робочого органу.

Результат досліджень зі збільшенням значень:

- по куту атаки  $\gamma \Rightarrow 20^\circ - 35^\circ$  рівномірний розподіл тиску  $0,91 \Rightarrow 0,80$  МПа, вичавлення  $150\text{Н} \Rightarrow 240\text{Н}$  (концентрація тиску на верхню частину кореня; можливе пошкодження поверхні буряка робочими органами);

- по куту розвалу  $\beta \Rightarrow 20^\circ - 32^\circ$  рівномірний розподіл тиску  $0,084 \rightarrow 0,099$  МПа вичавлення зусилля  $210 \rightarrow 270\text{Н}$ .

Збільшення вичавного зусилля забезпечено рівномірним розподілом тиску. Найбільш рівномірний розподіл тиску, що забезпечує максимальне вичавлення зусилля, при  $\gamma = 30^\circ - 35^\circ$ ;  $\beta = 30^\circ - 32^\circ$ .

в умовах негативного впливу зсувної сили оптимальним є умова мінімізації зсувної сили  $\sum P_c \Rightarrow 0$ , що здійснюється при оптимізації окружної швидкості дискових копалень  $V_0$ , пов'язаної з поступальною швидкістю машини  $v_n$  кінематичним параметром і коефіцієнтом  $b$  (характеристика співвідношення  $V_0/V_n$ ) відношенням  $V_0/V_n = \cos \gamma / (1 - b)$ .

Згідно з дослідженнями авторів оптимальні параметри для копачів  $D = 600\text{мм}$ ;  $2\beta = 2\gamma = 30^\circ$ ;  $h = 90\text{ мм}$ ;  $f = 0,9$ ;  $\lambda = V_0/V_n = 1,288$  при цьому  $\sum P_c \Rightarrow 0$ .

Енергоємність робочих органів у значною мірою характеризується загальним тяговим опором тієї чи іншої конкретного виду робочих органів (лемешные, комбіновані, пасивні, активні, вилчасті).

Загальна силова тягова характеристика робочого органу, що викопує, представлена в роботі Брусиловського Ю.Р.

Енергетичні показники дискових копачів пов'язані з кутами установки, і при збільшенні кута атаки  $\gamma$  спостерігається інтенсивне зростання енергоємності копачів (мінімальне значення при  $2\beta \approx 20^\circ$ ). Причому для кінематичного параметра оптимальне співвідношення становить  $V_0/V_n \approx 1,2 - 1,6$ , згодом

витрати потужності дещо скорочуються і за перевищенні діапазону  $V_0 / V_n \geq 1,6$  слід різке зростання енерговитрат.

Результати визначення енергетичних показників дискових копалень, згідно з дослідженнями Гурченко О.П., дозволяють оцінити їхню енергоємність у різних умовах роботи. Для непривідного дискового копача тяговий опір приблизно склало 2200Н, а для копачів з приводом одного диска тяговий опір становить  $\approx 1200$ Н при вологості ґрунту  $W = 9-12\%$ , глибині ходу копачів  $h = 8$ см, робочій швидкості  $V_n = 2,1$ м/с і значенні .

Загальна споживана потужність цих режимах роботи для приводних дисків становить  $\sum N = 8,68$  кВт. При збільшенні вологості до  $W = 19\%$ , для режимів роботи, що розглядаються, загальна потужність падає до значення  $\sum N \approx 6,35$  кВт.

Вплив форми коренеплоду (“кута конусності” для цукрових буряків) зусилля вилучення коренеплоду дома контакту з робочою поверхнею копача досліджено роботах Брусиловського Ю.Р.

З урахуванням значення різниці  $\pm (0^\circ - 6^\circ)$  від “кута конусності” коренеплоду мінімальні пошкодження можливі при вугіллі, що рекомендується, розвалу  $2\beta$  (в роботі  $\xi$ )  $= 28^\circ$  для врожайності 450 ц/га і  $2\beta = 30^\circ$  при врожайності 550ц/га.

При пошукових роботах, метою яких було підвищення якісних показників роботи очищувача і створення геометрії кулачків, що зустрічно обертаються, були використані теоретичні розробки професора Шабельника Б.П. та деякі результати його спільних публікацій. Визначення профілю кулачка враховувало зміну коефіцієнта розосередження  $\eta_n$  в залежності від кутової характеристики променя виступу кулачка  $\theta$ ,  $t$  - кута повороту лопаті кулачка,  $r_0$  - радіуса утворює кулачка,  $\varphi_0$  - кута початкового положення лопаті і часу . Було використано розрахункове рівняння для визначення коефіцієнта розподілу для багатокутних кулачків:

$$\eta = \frac{r_0 \cdot \omega [\cos(\varphi_0 + \gamma_0 + \omega t) - \cos(\varphi_0 + \gamma_0)]}{\mathcal{G}_n \cdot \omega t}. \quad (1.6)$$

При розрахунку продуктивності конвеєра-очисника використовувалося рівняння визначення секундної продуктивності конвеєра-очисника двоярусного виконання.

Використовувалися дані про коефіцієнт тертя коренеплодів сталі, діапазон значень якого становить 0,32-0,55. Зусилля, у якому руйнуються тканини коренеплоду, приймалося рівним 0,74кН.

Підбір кутового взаєморозташування елементів очищувача проводився з допомогою результатів експериментальних робіт Портянко А.И. за визначенням кутів защемлення ( $\beta_z \approx 0,6-0,85$ рад) коренеплодів та ґрунтових грудок ( $\beta_z \approx 0,9-1,13$ рад) та значень, за даними досліджень, отриманих Юхіним Г.П., коефіцієнта тертя кочення кормового буряка  $k_{сп} = 0,00543$ м, коефіцієнта жорсткості  $C = 1,9 \cdot 10^5 - 5,1 \cdot 10^5$ Н / м для діаметра  $D = 0,06-0,15$  м і щільності коренеплодів кормового буряка сорту "Еккендорфська жовта"  $\gamma_{до} = (1,01-1,07$ г/см<sup>3</sup>).

Пропонована комбінація робітників органів є оригінальною. Тому комплексні дослідження розглянутого пристрою у літературі відсутні.

## Висновки

Метою роботи є розробка ефективної конструкції викопно-сепаруючого пристрою коренезбиральних машин та обґрунтування його конструктивно-кінематичних параметрів, які забезпечують досягнення агровиног при збиранні високоврожайних кормових буряків. Після вивчення стану питання було прийнято параметри проектування установки. Виконувались дослідження в польових умовах з оцінкою характеристик на якісному рівні, у процесі цих робіт конструкція була доведена до працездатного стану, після чого вирішувалося завдання уточнення параметрів.

Найбільш складним було вирішення задачі обґрунтування параметрів

викопуюче-забірною пристрою в частині, що відноситься до підйому коренеплоду і передачі його на конвеєр-очисник, так як цей пристрій є найбільш специфічною частиною пропонованої машини для збирання коренеплодів. Для обґрунтування параметрів цього пристрою було вирішено виконати теоретичні дослідження. Однією з частин дослідження було визначення характеристик коренеплодів та їхнього розташування на полі, які є вихідними даними для математичного моделювання. Після його закінчення було уточнено та обґрунтовано основні параметри цього пристрою.

## 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ КОРЕНЕПЛОДУ У ВИКОПОВАЛЬНО-ЗАБІРНОМУ ПРИСТРОЇ

### 2.1. Постановка задачі

Під час розробки математичної моделі необхідно вирішити кілька завдань. До них відносяться завдання попадання коренеплоду в робочі зони викопного та забірною пристрою, а також завдання руху коренеплоду в забірному пристрої з метою визначення областей параметрів розташування коренеплодів та параметрів забірною пристрою, при яких має місце сприятливий результат взаємодії коренеплоду з викопним приладом .

При вирішенні задачі про встановлення факту попадання коренеплоду в робочу зону пристрою, що викопує, очевидно, що попадання коренеплоду в робочу зону має місце в тому випадку, якщо мінімальне значення відстані між поверхнею коренеплоду і кромками лівого (основного) і правого викопного диска буде більше нуля. Для розв'язання цього завдання необхідно мати залежності визначення відстані до точок кромки дисків у напрямку перпендикуляра до осі симетрії коренеплода, тобто залежності для визначення положення точок дисків в системі координат, пов'язаної з віссю симетрії коренеплода. При проведенні обчислень параметри лівого та правого диска, що викопує, змінювати не будемо, оскільки завдання математичного моделювання викопування коренеплодів лежить за межами даного дослідження; параметри викопного пристрою визначалися виходячи з експериментальних досліджень.

При проведенні обчислень цієї частини завдання доцільно встановити область значень параметрів початкового положення коренеплоду на полі, при яких має місце попадання коренеплоду в робочу зону пристрою, що викопує. При оцінці можливості попадання коренеплоду в робочу зону забірною пристрою необхідно врахувати, що в процесі взаємодії коренеплоду з допустимими дисками є два види контакту з робочими площинами обох дисків і такий вид контакту, коли

коренеплід стикається з робочою площиною лівого диска і кромкою правого диска (забірною). При оцінці можливості влучення коренеплоду в робочу зону цих дисків необхідно визначити вид та координати точок контакту. Для цього необхідно мати опис поверхні коренеплоду щодо систем координат, пов'язаних із дисками. Після цього необхідно оцінити, чи не знаходяться точки контакту за межами робочих площин дисків. Якщо це немає місця, слід описати рух коренеплоду для зазначеного виду контакту. В іншому випадку можливі два варіанти. Якщо точка контакту з лівим диском знаходиться за межами робочої площини, це свідчить про пошкодження коренеплоду, оскільки край лівого диска є гострим.

Для правого диска аналогічна ситуація свідчить про контакт коренеплоду з краєм правого диска. Такий вид контакту є допустимим, оскільки край правого диска забірника утворюється загнутими кінцями прутків. Для визначення точки контакту коренеплоду з кромкою правого диска необхідно визначити мінімальну відстань від поверхні коренеплоду до кромки диска, для чого слід описати координати крапок диска щодо системи координат, пов'язаної з віссю симетрії коренеплоду.

Слід зазначити, що початковий контакт коренеплоду з кромкою правого диска який завжди є сприятливим. Таким він є, коли верхня точка головки коренеплоду в момент початкового контакту знаходиться вище за рівень робочої площини правого диска, тобто знаходиться всередині робочого простору забірника пристрою. Для оцінки зазначеного стану слід визначити кут між віссю симетрії коренеплоду та віссю обертання правого диска. Для такого контакту в подальшому коренеплід може рухатися в робочій зоні забірника, з протилежного боку контакт з робочою площиною лівого диска. На можливість сприятливого початкового контакту коренеплоду із забірним пристроєм впливають положення коренеплоду в момент початкового контакту та параметри розташування диска коренезабірника, які доцільно змінювати під час обчислень.

При розв'язанні задачі про рух коренеплоду в забірному пристрої необхідно

оцінити ряд умов, тому що від виконання залежить результат взаємодії коренеплоду з пристроєм.

У процесі взаємодії необхідно оцінювати можливість небезпеки контакту коренеплоду з кромкою лівого диска. Необхідно оцінювати також умови розташування центру мас коренеплоду за межами країв, як правого, так і лівого дисків, так як при цьому з'являються умови для випадання коренеплоду з пристрою, тобто втрати коренеплодів.

При роботі пристрою слід оцінювати небезпеку звантажування коренеплодів, яка може мати місце у випадку, коли пристрій буде перебувати більш ніж один коренеплід. Ця небезпека у пристрої усувається за допомогою бітера, проте час від моменту початку взаємодії коренеплоду з дисками забірника і до закінчення їх взаємодії не повинно перевищувати проміжок часу між надходженнями коренеплодів до пристрою, який залежить від швидкості машини та кількості рослин на одиницю довжини рядка.

Контакт коренеплоду з бітером повинен розташовуватись у сприятливому кутовому діапазоні, інакше можливе зниження ефективності передачі коренеплоду бітером на конвеєр-очисник. Для встановлення зазначеного діапазону проведемо обчислення характеристик руху коренеплоду при різному його розташуванні в момент надходження в забірний пристрій при наборі параметрів, для яких при проведенні експериментальних досліджень були позитивні результати взаємодії коренеплоду з пристроєм. Отримані при цьому значення кутового діапазону точок контакту коренеплоду з траєкторією кінця лопаті бітера вважатимемо прийнятними. Знайдені таким чином межі можна буде використовувати надалі для оцінки результатів взаємодії при зміні параметрів розташування забірного диска.

При розв'язанні задачі введемо умовний V-подібний лоток у вигляді двох площин, що відповідають робочим площинам дисків 1, 2 ( рис . 2.1).

Лоток вважатимемо закріпленим на машині. Розглянемо рух коренеплоду щодо лотка, який разом із машиною рухається прямолінійно з постійною

швидкістю. Тому система координат, пов'язана з лотком, є інерційною. Щодо осей цієї системи координат запишуватимемо рівняння руху. Вплив дисків, що обертаються під час роботи машини, проявляється дією сили тертя. Слід зазначити, що сила тертя прикладена у точці контакту коренеплоду з робочою площиною тільки лівого диска 2, так як правий диск обертається 1 під дією коренеплоду, який взаємодіє з лівим диском. При розв'язанні задачі слід врахувати можливість наявності чи відсутності ковзання у точці контакту. При призначенні початкових значень швидкості коренеплоду врахуємо можливість гасіння швидкості коренеплоду при зіткненні його з пристроєм.

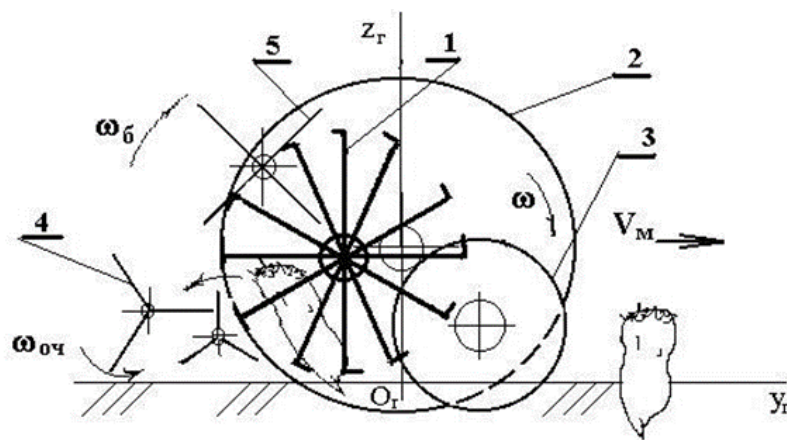


Рисунок 2.1 - Схема викопно - забірної машини:

- 1 - диск коренезабірника ; 2 – основний диск, що підкопує; 3 – сферичний диск;  
4- кулачковий конвеєр-очисник; 5-бітер.

При проведенні обчислень розглянемо динаміку поведінки коренеплоду у пристрої, вплив параметрів початкового положення коренеплодів, параметрів розташування бітера та забірної машини з метою встановлення меж, при яких результат взаємодії коренеплоду з пристроєм буде сприятливим.

## 2.2. Опис положення дисків

Положення дисків визначається координатами точок перетину осей з

робочими площинами (центрами дисків) і кутовим положенням цих площин. Останні можна характеризувати величинами напрямних косінусів нормалей до робочих площин дисків щодо осей системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  (рис. 2.2.). Ось  $y_{\Gamma}$  цієї системи координат направимо по осі рядка. Позитивним напрямом цієї осі вважатимемо напрямок руху машини. Осью  $z_{\Gamma}$  приймемо вертикаль; вісь  $x_{\Gamma}$  утворює із зазначеними осями праву систему координат.

Розглянемо кутове положення правого диска (диска- коренезабірника 1). Воно визначається двома кутами. Робоча площина залишає в горизонтальній площині  $x_{\Gamma} y_{\Gamma}$  слід, який вважатимемо нахиленим на кут  $\mu$  на пряму осі  $y_{\Gamma}$ . Цей кут можна назвати кутом атаки. Відповідно до цього введемо систему координат  $x_{\partial} y_{\partial} z_{\partial}$  повернуту щодо системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  на кут  $\mu$ . Робоча площина диска нахилена до площини  $y_{\partial} z_{\partial}$  на кут  $\lambda$ . Приймемо, що одиничний вектор нормалі до робочої площини правого диска ( $\bar{n}_{P_1}$ ) має напрям, зворотний напрям осі  $x_{\partial}$  системи координат  $x_{\partial} y_{\partial} z_{\partial}$  поверненої щодо системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  на кут  $\lambda$ . Тобто вважатимемо, що позитивний напрям нормалі до робочої площини спрямований у простір між дисками.

Проекції одиничного вектора нормалі до робочої площини правого диска на осі системи координат  $x_{\partial} y_{\partial} z_{\partial}$  рівні

$$\cos(\bar{n}_{P_1}, x_{\partial}) = -1, \cos(\bar{n}_{P_1}, y_{\partial}) = \cos(\bar{n}_{P_1}, z_{\partial}) = 0. \quad (2.1)$$

Для того, щоб знайти проекції одиничного вектора нормалі до робочої площини диска в системі координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  необхідно виконати послідовні перетворення координат  $x_{\partial} y_{\partial} z_{\partial} \rightarrow x_{\mu} y_{\mu} z_{\mu} \rightarrow x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ . Наведемо необхідні перетворення координат для зазначеної та зворотної послідовності перетворень координат:

$$x_{\Gamma} = x_{\mu} \cos \mu + y_{\mu} \sin \mu, y_{\Gamma} = y_{\mu} \cos \mu - x_{\mu} \sin \mu, z_{\Gamma} = z_{\mu}; \quad (2.2)$$

$$x_{\partial\mu} = x_{\Gamma} \cos \mu - y_{\Gamma} \sin \mu, y_{\partial\mu} = y_{\Gamma} \sin \mu + x_{\Gamma} \cos \mu, z_{\partial\mu} = z_{\Gamma}; \quad (2.3)$$

$$x_{\partial\mu} = z_{\partial\lambda} \sin \lambda + x_{\partial\lambda} \cos \lambda, y_{\partial\mu} = y_{\partial\lambda}, z_{\partial\mu} = z_{\partial\lambda} \cos \lambda - x_{\partial\lambda} \sin \lambda; \quad (2.4)$$

$$x_{\partial\lambda} = x_{\partial\mu} \cos \lambda - z_{\partial\mu} \sin \lambda, y_{\partial\lambda} = y_{\partial\mu}, z_{\partial\lambda} = x_{\partial\mu} \sin \lambda + z_{\partial\mu} \cos \lambda. \quad (2.5)$$

З використанням цих залежностей знайдемо проєкції одиничного вектора нормалі до робочої площини правого диска на осі системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ :

$$\cos(\bar{n}_{P_1}, x_{\Gamma}) = -\cos \lambda \cos \mu, \cos(\bar{n}_{P_1}, y_{\Gamma}) = \cos \lambda \sin \mu, \cos(\bar{n}_{P_1}, z_{\Gamma}) = \sin \lambda. \quad (2.6)$$

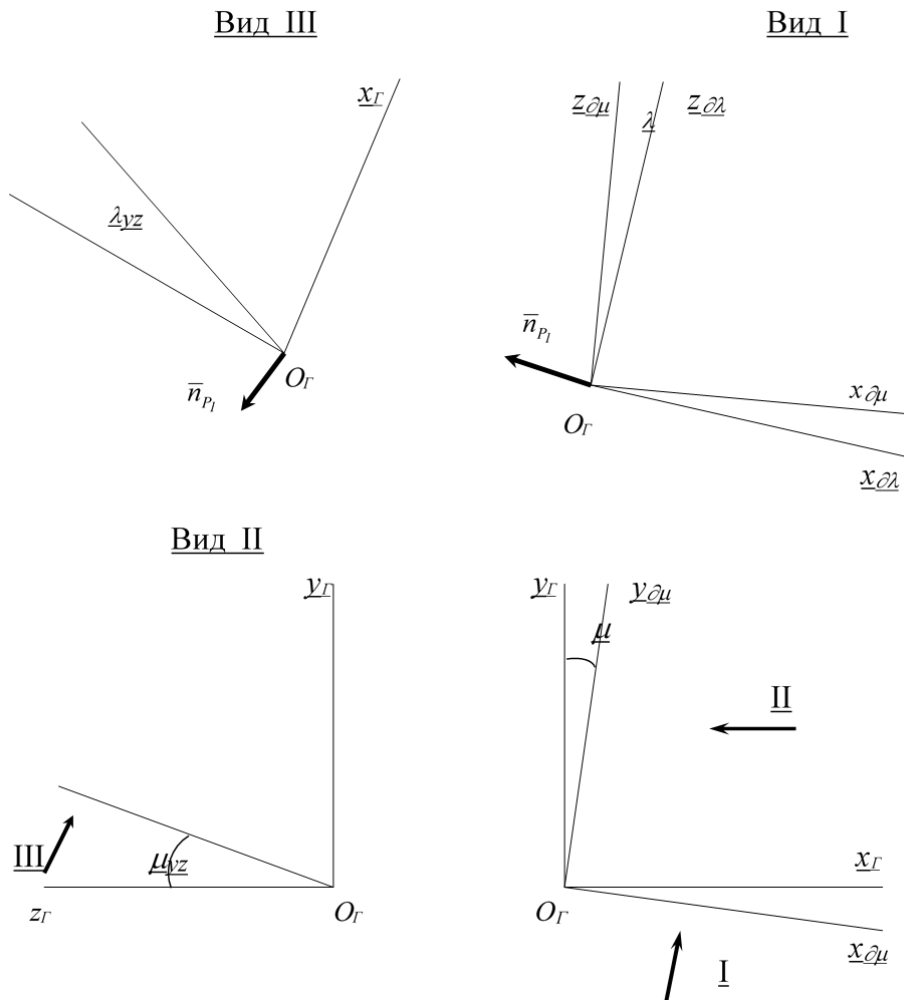


Рисунок - 2.2 Системи координат, що визначають положення дисків

Для лівого диска, з урахуванням того, що одиничний вектор нормалі для його робочої площини ( $\bar{n}_{P_2}$ ) має напрям, зворотний до напрямку ( $\bar{n}_{P_1}$ ), отримаємо:

$$\cos(\bar{n}_{P_2}, x_{\Gamma}) = \cos \lambda \cos \mu, \cos(\bar{n}_{P_2}, y_{\Gamma}) = -\cos \lambda \sin \mu, \cos(\bar{n}_{P_2}, z_{\Gamma}) = -\sin \lambda. \quad (2.6a)$$

Введені кути ( $\mu$ ) визначають положення найбільшого ската робочої площини по відношенню до горизонтальної площини  $x_{\Gamma} y_{\Gamma}$ . Кут найбільшого ската робочої площини у разі це кут  $\lambda$ ; кут розташування площини, в якій знаходиться лінія найбільшого схилу, - це кут  $\mu$ . Звернемо увагу на те, що кут  $\lambda$  - це кут між двома площинами - вертикальною  $y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  та робочою площиною диска; а кут  $\mu$  - це кут між поперечно-вертикальною площиною  $x_{\Gamma} z_{\Gamma}$  та площиною, яка проходить через вертикальну вісь  $z_{\Gamma}$  та одиничний вектор нормалі до робочої площини. Грунтуючись на цих принципах, знайдемо положення лінії найбільшого схилу робочої площини до поздовжньо-вертикальної площини  $y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ .

Кут найбільшого схилу робочої площини до поздовжньо-вертикальної площини  $\lambda_{yz}$  знайдемо як кут між цими двома площинами. Для цього запишемо рівняння зазначених площин, прийнявши, що вони проходять через початок координат системи  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ . Рівняння робочої площини диска має такий вигляд:

$$\cos(\bar{n}_{P_1}, x_{\Gamma})x_{\Gamma} + \cos(\bar{n}_{P_1}, y_{\Gamma})y_{\Gamma} + \cos(\bar{n}_{P_1}, z_{\Gamma})z_{\Gamma} = 0, \quad (2.7)$$

$$\text{рівняння поздовжньо-вертикальної площини} - x_{\Gamma} = 0. \quad (2.8)$$

Скориставшись залежністю визначення кута між двома площинами, знайдемо

$$\lambda_{yz} = \arccos(\cos \lambda \cos \mu). \quad (2.9)$$

Кут розташування лінії найбільшого схилу  $\mu_{yz}$  - це кут між поперечно-вертикальною площиною, рівняння якої має вигляд:

$$y_{\Gamma} = 0, \quad (2.10)$$

та площиною, яка проходить через вісь  $x_{\Gamma}$  та одиничний вектор нормалі до робочої площини. Її рівняння таке:

$$\begin{vmatrix} x_{\Gamma} & y_{\Gamma} & z_{\Gamma} \\ \cos(\bar{n}_{P_i}, x_{\Gamma}) & \cos(\bar{n}_{P_i}, y_{\Gamma}) & \cos(\bar{n}_{P_i}, z_{\Gamma}) \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (2.11)$$

Кут між зазначеними площинами дорівнює:

$$\mu = \arccos \frac{\sin \lambda}{\sqrt{\sin^2 \lambda + \cos^2 \lambda \sin^2 \mu}}. \quad (2.12)$$

Для лівого диска залежності аналогічні, відмінності значення кутів пов'язані тільки зі значеннями кутів  $\lambda$ ,  $\mu$

Аналогічно визначаються залежності для визначення характеристик кутового положення правого (викопного) диска.

### 2.3. Визначення параметрів умовного лотка

Характеристиками умовного лотка (надалі також просто лотка) є координати його початку, кутові характеристики лінії перетину робочих площин дисків і самих робочих площин.

Для визначення цих характеристик запишемо рівняння робочих площин дисків у системі координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  (рис.2.3). Їх можна записати як рівняння площин, що проходять через точку із заданими координатами перпендикулярно заданим напрямним векторам. Для кожної робочої площини, як зазначена точка, приймемо точку перетину робочої площини з віссю обертання диска, як напрямний вектор - напрямний вектор нормалі до робочої площини. Запишемо рівняння зазначених площин:

$$\begin{aligned} & (x_{\Gamma} - x_{\Gamma, \partial i}) \cos(\bar{n}_{P_i}, x_{\Gamma}) + (y_{\Gamma} - y_{\Gamma, \partial i}) \cos(\bar{n}_{P_i}, y_{\Gamma}) + \\ & + (z_{\Gamma} - z_{\Gamma, \partial i}) \cos(\bar{n}_{P_i}, z_{\Gamma}) = 0, \quad i = 1, 2; \end{aligned} \quad (2.13)$$

де  $x_{\Gamma, \partial 1}, \dots, z_{\Gamma, \partial 2}$  - координати точок  $O_{\partial 1}$ ,  $O_{\partial 2}$  точок перетину робочих площин з осями обертання дисків;

$\bar{n}_{P_1}, \bar{n}_{P_2}$  - Напрямні вектори нормалей до робочих площин дисків.

Перепишемо рівняння (2.13) у більш компактному вигляді:

$$A_i x_{\Gamma} + B_i y_{\Gamma} + C_i z_{\Gamma} + D_i = 0, \quad (2.14)$$

де

$$\begin{aligned} A_i &= \cos(\bar{n}_{P_i}, x_{\Gamma}), B_i = \cos(\bar{n}_{P_i}, y_{\Gamma}), C_i = \cos(\bar{n}_{P_i}, z_{\Gamma}), \\ D_i &= -x_{\Gamma, \partial i} \cos(\bar{n}_{P_i}, x_{\Gamma}) - y_{\Gamma, \partial i} \cos(\bar{n}_{P_i}, y_{\Gamma}) - z_{\Gamma, \partial i} \cos(\bar{n}_{P_i}, z_{\Gamma}), \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (2.14 a)$$

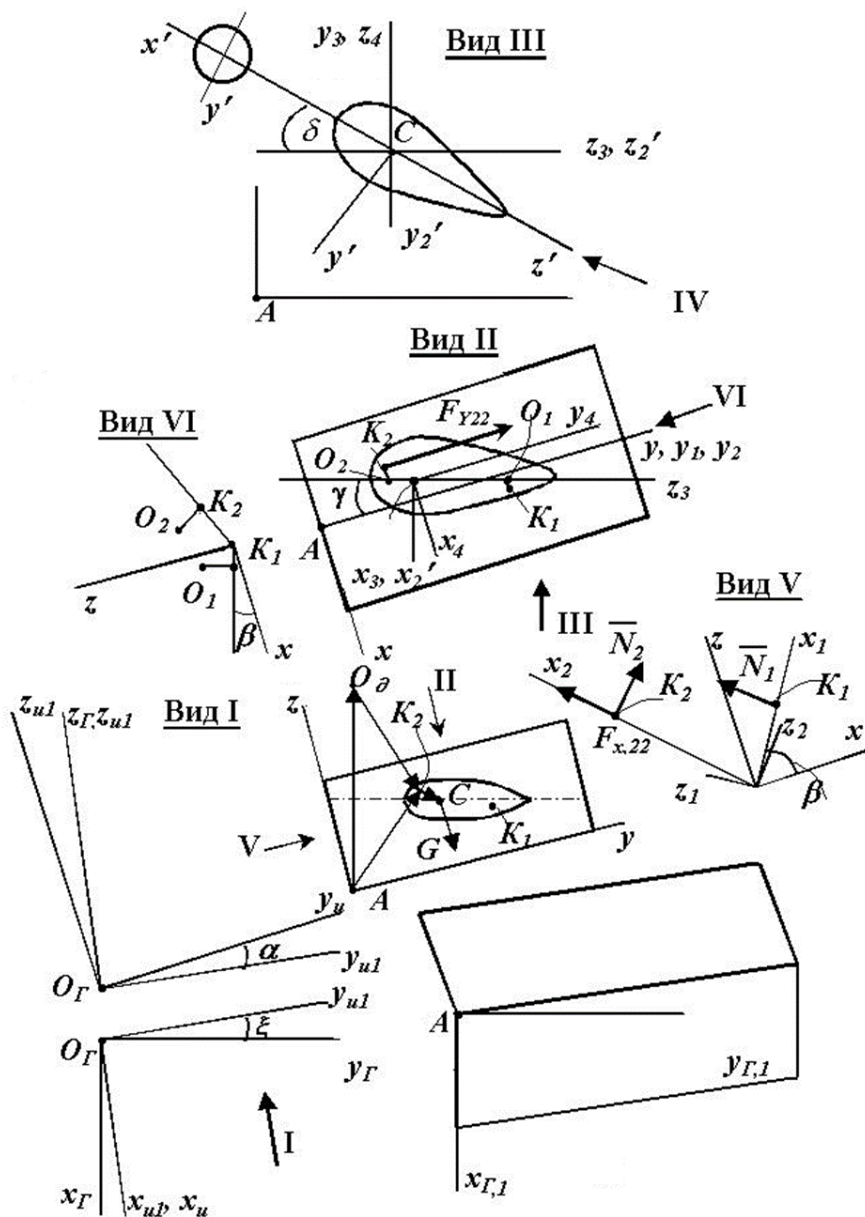


Рисунок 2.3 - Розташування коренеплоду щодо умовного лотка

Кут між робочими площинами лотка знайдемо за наступною залежністю

$$\cos \varphi^* = |R^*|, \quad (2.15)$$

де

$$R^* = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2}{\sqrt{(A_1^2 + B_1^2 + C_1^2)(A_2^2 + B_2^2 + C_2^2)}}. \quad (2.15a)$$

Надалі будемо використовувати кут  $\beta$  між робочою площиною і площиною, перпендикулярною до площини симетрії лотка  $xu$ . Цей кут можна знайти з використанням залежностей (2.15), (2.15a), прийнявши в якості напрямних косінусів  $A_1, B_1, C_1$  значення (2.14a) при  $i=1$ , а в якості напрямних косінусів  $A_2, B_2, C_2$  проєкції одиничного вектора напрямки осі  $z$ . Останнє можна знайти, скориставшись послідовними перетвореннями координат (2.24), (2.23) з урахуванням того, що  $\cos(z, x) = \cos(z, y) = 0$ ,  $\cos(z, z) = 1$ . Виконавши вказані дії, знайдемо:

$$\beta = \arccos [-\cos \lambda \sin \alpha \sin(\xi + \mu) + \sin \lambda \cos \alpha]. \quad (2.16)$$

Як кутові характеристики лінії перетину робочих площин приймемо кути  $\alpha$  і  $\xi$  (див. рис. 2.3). Кут  $\alpha$  - це кут між лінією перетину та горизонтом;  $\xi$  - Кут між поздовжньо-вертикальною площиною та вертикальною площиною, що проходить через лінію перетину. Рівняння лінії перетину двох площин у нашому випадку є системою рівнянь (2.14). Кутове положення лінії перетину визначається її напрямними косінусами, які можна знайти з наступних формул:

$$\begin{aligned} \cos(p, x_{\Gamma}) &= \frac{\begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix}}{Q}, \\ \cos(p, y_{\Gamma}) &= \frac{\begin{vmatrix} C_1 & A_1 \\ C_2 & A_2 \end{vmatrix}}{Q}, \\ \cos(p, z_{\Gamma}) &= \frac{\begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}}{Q}, \\ Q &= \sqrt{\begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} C_1 & A_1 \\ C_2 & A_2 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}^2}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Кут  $\alpha$  можна знайти з наступної очевидної залежності:

$$\alpha = \arcsin(\cos(p, z_{\Gamma})); \quad (2.18)$$

кут  $\xi$ , у зв'язку з можливістю його розташування в діапазоні від 0 до  $2\pi$ , знайдемо за функціями синуса та косинуса, які можна визначити за такими формулами:

$$\sin \xi = -\frac{\cos(p, x_{\Gamma})}{\sqrt{\cos^2(p, x_{\Gamma}) + \cos^2(p, y_{\Gamma})}}, \quad \cos \xi = -\frac{\cos(p, y_{\Gamma})}{\sqrt{\cos^2(p, x_{\Gamma}) + \cos^2(p, y_{\Gamma})}}. \quad (2.19)$$

Координати точки  $A$  початку лотка можна знайти із системи рівнянь (2.14), задаючи якусь із координат. Нехай це буде координата в напрямку осі  $y_{\Gamma}$  і нехай вона дорівнюватиме

$$y_{\Gamma, A} = y_{\Gamma, \partial 1} \quad (2.20)$$

тобто приймемо, що початок лотка знаходиться в поперечно-вертикальній площині системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ . Тоді визначення інших координат маємо таку систему рівнянь:

$$A_1 x_{\Gamma, A} + C_1 z_{\Gamma, A} = -D_1 - B_1 y_{\Gamma, \partial 1}, \quad A_2 x_{\Gamma, A} + C_2 z_{\Gamma, A} = -D_2 - B_2 y_{\Gamma, \partial 2}. \quad (2.21)$$

## 2.4 Визначення початкових характеристик положення коренеплоду

Для вирішення завдання необхідно визначення початкового положення коренеплоду в системі координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ , пов'язаної з лотком. Для цього слід знайти координати центру мас коренеплоду та характеристики його кутового розташування щодо осей координат зазначеної системи за відповідними характеристиками розташування коренеплоду на полі.

Положення коренеплоду на полі вважатимемо відомим у системі координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ . Заданими вважаємо координати точки  $H_{\sigma}$  перетину осі симетрії коренеплоду горизонтальною площиною поверхні поля  $x_{\Gamma, h_{\sigma}} y_{\Gamma, h_{\sigma}}$ . Відомим також можна вважати кут нахилу осі симетрії коренеплоду до вертикалі  $\nu_i$  кут  $\psi_{між}$  поперечно-вертикальною площиною і вертикальною площиною, в якій розташована вісь симетрії коренеплоду (рис. 2.4). За цими характеристиками необхідно знайти координати центру мас коренеплоду  $x_c y_c z_c$  у системі координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  та кути  $\gamma$  та  $\delta$  осі симетрії щодо координатних площин системи  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  (див. рис. 2.3):

$\delta$  – кут між віссю симетрії коренеплоду кормового буряка та площиною  $x_{\Gamma} y_{\Gamma}$  системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ ;

$\gamma$  – кут між площиною  $y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  симетрії лотка та нормальною до осей до осей  $x_{\Gamma}, y_{\Gamma}$  площиною, в якій розташована вісь симетрії коренеплоду.

Введемо системи координат  $x_3 y_3 z_3$  та  $x_4 y_4 z_4$  початком у центрі мас коренеплоду. Осі  $z_3, z_4$  цих систем координат спрямовані нормалі до площині  $x_{\Gamma} y_{\Gamma}$  системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ . Площина  $y_4 z_4$  системи координат  $x_4 y_4 z_4$  паралельна площині симетрії лотка. Площина  $x_3 z_3$ , в якій розташована вісь симетрії коренеплоду, повернута щодо площини  $y_4 z_4$  на кут  $\gamma$ .

Для вирішення завдання необхідно виконати низку перетворень координат. Спочатку запишемо співвідношення між паралельними осями координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  - і системою координат  $x_3 y_3 z_3$  початком у точці  $A$  (початок системи координат

xyz):

$$x_{\Gamma} = x_{\Gamma,A} + x_{P1}, y_{\Gamma} = y_{\Gamma,A} + y_{\Gamma1}, z_{\Gamma} = z_{\Gamma,A} + z_{\Gamma1}; \quad (2.22)$$

$$x_{\Gamma1} = x_{\Gamma} - x_{\Gamma,A}, y_{\Gamma1} = y_{\Gamma} - y_{\Gamma,A}, z_{\Gamma1} = z_{\Gamma} - z_{\Gamma,A}, \quad (2.22 \text{ a})$$

де  $x_{P,A}, y_{P,A}, z_{P,A}$  - Координати початку системи координат  $xyz$  в системі координат  $x_{\Gamma}, y_{\Gamma}, z_{\Gamma}$ .

Слід виконати також два кутові перетворення координат, пов'язаних з послідовним поворотом осей спочатку на кут  $\xi$ , потім на кут  $\alpha$ . Перший поворот встановлює співвідношення між осями координат  $x_{\Gamma}, y_{\Gamma}, z_{\Gamma}$  і  $x_{u1}, y_{u1}, z_{u1}$ , другий – між осями  $x_{u1}, y_{u1}, z_{u1}$  і  $x_u, y_u, z_u$ :

$$x_{\Gamma} = x_{u1} \cos \xi - y_{u1} \sin \xi, y_{\Gamma} = x_{u1} \sin \xi + y_{u1} \cos \xi, z_{\Gamma} = z_{u1}; \quad (2.23)$$

$$x_{u1} = y_{\Gamma} \sin \xi + x_{\Gamma} \cos \xi, y_{u1} = x_{\Gamma} \cos \xi - y_{\Gamma} \sin \xi, z_{u1} = z_{\Gamma}; \quad (2.23 \text{ a})$$

$$x_{u1} = x_u, y_{u1} = y_u \cos \alpha - z_u \sin \alpha, z_{u1} = y_u \sin \alpha + z_u \cos \alpha; \quad (2.24)$$

$$x_u = x_{u1}, y_u = y_{u1} \cos \alpha + z_{u1} \sin \alpha, z_u = z_{u1} \cos \alpha - y_{u1} \sin \alpha. \quad (2.24 \text{ a})$$

Заданими вважаються координати  $x_{\Gamma,c}, y_{\Gamma,c}, z_{\Gamma,c}$  центру мас коренеплоду в системі координат  $x_{\Gamma}, y_{\Gamma}, z_{\Gamma}$ , тому спочатку знайдемо координати центру мас  $x_{\Gamma1,c}, y_{\Gamma1,c}, z_{\Gamma1,c}$  у системі координат  $x_{\Gamma1}, y_{\Gamma1}, z_{\Gamma1}$  за формулою. Після цього підставимо знайдені координати залежності (2.23a) замість  $x_{\Gamma}, y_{\Gamma}, z_{\Gamma}$ ; далі скористаємося залежністю (2.24a).

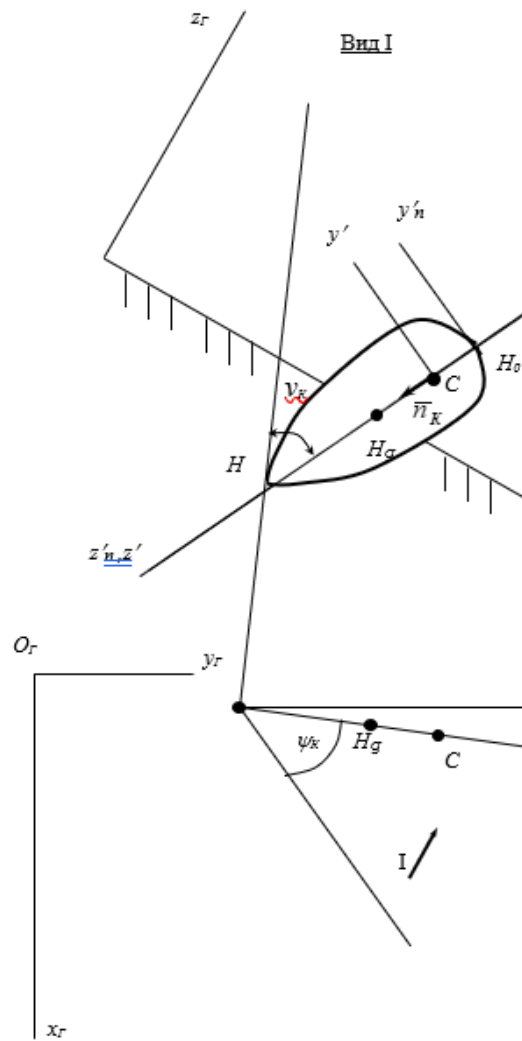


Рисунок 2.4 - Характеристика початкового стану коренеплоду

Останні дві операції можливі, оскільки відбуваються кутові перетворення координат, котрим положення початку координат немає значення.

Відповідно до (див. рис. 2.4) маємо:

$$\begin{aligned}
 x_{r,c} &= x_{r,h_g} + H_{gC} \sin \nu_{до} \cos \psi_{до}; \\
 y_{r,c} &= y_{r,h_g} + H_{gC} \sin \nu_{до} \sin \psi_{до}; \\
 z_{r,c} &= H_{gC} \cos \nu_{до}.
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

де  $H_{gC}$  – відстань між точкою перетину осі симетрії коренеплоду з горизонтальною площиною поверхні поля та центром мас коренеплоду.

Скориставшись згаданими перетвореннями координат, знайдемо

координати центру мас коренеплоду ( $x_C, y_C, z_C$ ) у системі координат  $x, y, z$  :

$$\begin{aligned} x_C &= (y_{\Gamma,C} - y_{\Gamma,A}) \sin \xi + (y_{\Gamma,C} - y_{\Gamma,A}) \cos \xi, \\ y_C &= (y_{\Gamma,C} - y_{\Gamma,A}) \cos \xi \cos \alpha - (y_{\Gamma,C} - y_{\Gamma,A}) \sin \xi \cos \alpha + (z_{\Gamma,C} - z_{\Gamma,A}) \sin \alpha, \\ y_C &= (z_{\Gamma,C} - z_{\Gamma,A}) \cos \alpha - (y_{\Gamma,C} - y_{\Gamma,A}) \cos \xi \sin \alpha + (x_{\Gamma,C} - x_{\Gamma,A}) \sin \xi \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Для визначення кутового положення осі симетрії коренеплоду в системі координат  $x, y, z$  запишемо напрямні косинуси одиничного вектора осі симетрії коренеплоду  $\bar{n}_K$  (див. рис. 2.3) в системі координат  $x_\Gamma, y_\Gamma, z_\Gamma$ , після чого знайдемо залежності для визначення кутів  $\gamma$  і  $\delta$ , послідовно виконавши кутів3, послідовно виконавши кутів3. (2.24a).

Напрямні косинуси одиничного вектора осі симетрії коренеплоду  $\bar{n}_K$  в осях системи координат  $x_\Gamma, y_\Gamma, z_\Gamma$  відповідно (див. рис. 2.4) рівні:

$$\begin{aligned} \cos(\bar{n}_K, x_\Gamma) &= -\sin v_K \cos \psi_K, \\ \cos(\bar{n}_K, y_\Gamma) &= -\sin v_K \sin \psi_K, \\ \cos(\bar{n}_K, z_\Gamma) &= -\cos v_K. \end{aligned} \quad (2.27)$$

Скориставшись кутовими перетвореннями координат, знайдемо напрямні косинуси одиничного вектора  $\bar{n}_K$  на осі системи координат  $x, y, z$  :

$$\begin{aligned} \cos(\bar{n}_K, x) &= \cos(\bar{n}_K, y_\Gamma) \sin \xi + \cos(\bar{n}_K, x_\Gamma) \sin \xi, \\ \cos(\bar{n}_K, y) &= \cos(\bar{n}_K, y_\Gamma) \sin \xi \cos \alpha - \cos(\bar{n}_K, x_\Gamma) \sin \xi \cos \alpha + \\ &+ \cos(\bar{n}_K, z_\Gamma) \sin \alpha, \\ \cos(\bar{n}_K, z) &= \cos(\bar{n}_K, z_\Gamma) \cos \alpha - \cos(\bar{n}_K, y_\Gamma) \cos \xi \sin \alpha + \\ &+ \cos(\bar{n}_K, x_\Gamma) \sin \xi \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2.28)$$

З використанням цих напрямних косінусів знайдемо залежності для визначення кутів  $\delta$  і  $\gamma$ :

$$\delta = \arcsin[-\cos(\bar{n}_K, z)], \quad (2.29)$$

$$\sin \gamma = \frac{\cos(\bar{n}_K, x)}{\sqrt{\cos^2(\bar{n}_K, x) + \cos^2(\bar{n}_K, y)}}. \quad (2.30)$$

Відповідно

$$\cos \gamma = \frac{\cos(\bar{n}_K, y)}{\sqrt{\cos^2(\bar{n}_K, x) + \cos^2(\bar{n}_K, y)}}.$$

## 2.5 Визначення показників початкового контакту коренеплоду

При визначенні характеристик початкового контакту коренеплоду значення  $y_{r,h,g}$  спочатку будемо задавати навмисно великим, з тим щоб відстані поверхні коренеплоду від робочих площин у напрямках осей  $z_1, z_2$  систем координат  $x_1 y_1 z_1, x_2 y_2 z_2$ , пов'язаних з робочими площинами (див. На першому етапі визначення характеристик початкового контакту знайдемо значення  $\Gamma_{r,h,g}$ , при якому має місце контакт поверхні коренеплоду з будь-якою робочою площиною. Після цього знайдемо уточнене розташування коренеплоду, у якому має місце контакти з обома робочими площинами. При цьому вважатимемо значення  $\delta, \gamma, y_c$  незмінними, що підлягають зміні вважатимемо значення  $x_c, z_c$ . На першому етапі необхідно знайти таке значення  $y_{r,h,g}$ , за якого дотримується умова

$$(z_1 \leq 0) \text{ або } (z_2 \leq 0), \quad (2.31)$$

для точок поверхні коренеплоду, що мають мінімальну відстань від робочих площин. Для вирішення задачі необхідно записати рівняння поверхні коренеплоду спочатку в системі  $x' y' z'$ , пов'язаної з віссю його симетрії, потім отримати координати поверхні в системах  $x_1 y_1 z_1$  і  $x_2 y_2 z_2$ , для чого слід виконати послідовні перетворення координат  $x' y' z' \rightarrow x_2 y_2 z_2 \rightarrow x y z$ . Після цього, залежно від того, до якої площини визначається відстань від поверхні коренеплоду, слід виконати перетворення координат  $x y z \rightarrow x_1 y_1 z_1$  або  $x y z \rightarrow x_2 y_2 z_2$ .

Поверхня коренеплоду за даними разд.4 є поверхнею обертання, що утворює яку апроксимується наступною залежністю:

$$R' = d_{max} \left[ A \left( \frac{z'_n}{l} \right)^a + B \left( \frac{z'_n}{l} \right)^b + C \left( \frac{z'_n}{l} \right)^c + D \left( \frac{z'_n}{l} \right)^d + E \left( \frac{z'_n}{l} \right)^e \right], \quad (2.32)$$

де  $R', d_{max}, l$  - Радіус утворює поверхні коренеплоду; максимальний діаметр та довжина апроксимованого тіла коренеплоду;

$A, \dots, E; a, \dots, e$  – коефіцієнти та показники ступеня апроксимації;

$z'_n$  - аплікату точки утворює поверхні коренеплоду в системі координат  $x'_n y'_n z'_n$ .

Осі цієї системи координат паралельних осям  $x' y' z'$  системи координат, пов'язаної з віссю симетрії коренеплоду, але мають початок не в центрі мас  $C$ , а в точці  $H_0$  перетину осі симетрії коренеплоду з лінією головки (див. рис. 2.4).

Координати точок поверхні коренеплоду в системі координат  $x' y' z'$  за заданими значеннями в системі координат  $x'_n y'_n z'_n$  є такими:

$$x' = x'_n, y' = y'_n, z' = z'_n - H_0C, \quad (2.33)$$

де  $H_0C$  - відстань від головки коренеплоду до центру його мас.

У зв'язку з тим, що поверхня коренеплоду апроксимується тілом обертання, можливо, записати координати поверхні, ввівши кутову координату полярну  $\chi$  (див. рис. 2.4). Тоді:

$$x'_n = R' \cos \chi, y'_n = R' \sin \chi, \quad (2.34)$$

і для запису координат поверхні буряків, можливо, задавати значення  $z'_n$  і  $\chi$ .

Запишемо необхідні співвідношення для зазначених перетворень координат:

$$x'_2 = x'_1, y'_2 = y'_1 \cos \delta + z'_1 \sin \delta, z'_2 = z'_1 \cos \delta - y'_1 \sin \delta; \quad (2.35)$$

$$x'_1 = x'_2, y'_1 = y'_2 \cos \delta - z'_2 \sin \delta, z'_1 = y'_2 \sin \delta + z'_2 \cos \delta; \quad (2.35a)$$

$$x'_2 = x_3, y'_2 = -y_3, z'_2 = z_3; \quad (2.36)$$

$$x_3 = x'_2, y_3 = -y'_2, z_3 = z'_2; \quad (2.36a)$$

$$x_4 = x_3 \cos \gamma + z_3 \sin \gamma, y_4 = z_3 \cos \gamma - x_3 \sin \gamma, z_4 = y_3; \quad (2.37)$$

$$x_3 = x_4 \cos \gamma - y_4 \sin \gamma, y_3 = z_4, z_3 = x_4 \sin \gamma + y_4 \cos \gamma; \quad (2.37a)$$

$$x = x + x_4, y = y_3 + y_4, z = z + z_4; \quad (2.38)$$

$$x_4 = x x_3, y_4 = y y_3, z_4 = z z_3; \quad (2.38a)$$

$$x_1 = x \cos \beta + z \sin \beta, y_1 = y, z_1 = z \cos \beta - x \sin \beta; \quad (2.39)$$

$$x = x_1 \cos \beta - z_1 \sin \beta, y = y_1, z = x_1 \sin \beta + z_1 \cos \beta; \quad (2.39a)$$

$$x_2 = -x \sin \beta + z \sin \beta, y_2 = y, z_2 = x \cos \beta + z \cos \beta; \quad (2.40)$$

$$x = -x_2 \cos \beta + z_2 \sin \beta, y = y_2, z = x_2 \sin \beta + z_2 \cos \beta. \quad (2.40 a)$$

Для наближеного визначення точки контакту необхідно виконати умову (2.31), куди входять такі функції координат:

$$z_1 = z_1(z'_{n1}, \chi_1, \Gamma, h_{\sigma}), z_2 = z_2(z'_{n2}, \chi_2, \Gamma, h_{\sigma}), \quad (2.41)$$

де  $z'_{n1}, z'_{n2}, \chi_1, \chi_2$  – значення  $z'_n$  і  $\chi$  відповідні точкам поверхні коренеплоду щодо правого та лівого дисків.

Для отримання цих рівнянь координати (2.34) необхідно перетворити, послідовно підставляючи їх залежно (2.33, 2.35, 2.36а, 2.37, 2.38) і далі кожну з останніх формул (2.39) або (2.40). Координата  $\Gamma, h_{\sigma}$  входить у представлені залежності (2.38), що містять координати центру мас коренеплоду кормового буряка.

При уточненні положення коренеплоду слід знайти координати  $x_3, z_3$  які відповідають системі рівнянь:

$$z_1(x_3, z_3) = 0, z_2(x_3, z_3) = 0, \quad (2.42)$$

при постійних значеннях  $y_3, \gamma, \delta$ .

Для вирішення задачі руху коренеплоду між дисками знадобляться проекції координат центру мас коренеплоду в системі координат  $xuz$ . Запис цих проекцій вийшов, як видно з наведених вище залежностей, досить складним.

При записі рівнянь руху визначення сил інерції центру мас доведеться диференціювати ці проекції двічі, що ще більше ускладнить запис рівнянь руху. З метою спрощення запису приймемо, що головні кривизни тіла коренеплоду кормових буряків у точці контакту однакові, центр кривизни поверхонь у точці контакту розташовується в точці перетину площини, перпендикулярної до площини симетрії лотка та осі симетрії коренеплоду. Для точки контакту  $K_1$  це точка  $O_1$ , для точки контакту  $K_2$  – точка  $O_2$ . Зроблене припущення дає можливість

порівняно легко встановити залежність між координатами  $x_3$  і  $z_3$ , які більш точно перебувають після вирішення представленої системи рівнянь (2.42).

З цією метою запишемо вирази для координати  $z$ , Приймаючи в якості опорних по черзі точки контакту  $K_1$  і  $K_2$  після чого прирівняємо отримані вирази. У зв'язку з наявністю контакту коренеплоду з лотком:

$$z_{K1} = x_{K1} \operatorname{tg} \beta, \quad z_{K1} = -x_{K2} \operatorname{tg} \beta, \quad (2.43)$$

де  $x_{K1}, z_{K1}, x_{K2}, z_{K2}$  - координати точок контакту коренеплоду  $K_1$  і  $K_2$  в обумовленій системі координат  $xuz$ .

Запишемо координати точок контакту у такому вигляді:

$$x_{K1} = x_c + CO_1 \cos \delta \sin \gamma + R_1 \sin \beta;$$

$$y_{K1} = y_c + CO_1 \cos \delta \cos \gamma, \quad (2.44)$$

$$z_{K1} = z_c - CO_2 \sin \delta - R_1 \cos \beta;$$

$$x_{K2} = x_c - CO_2 \sin \delta - R_2 \sin \beta;$$

$$y_{K2} = y_c - CO_2 \cos \delta \cos \gamma, \quad (2.45)$$

$$z_{K2} = z_c + CO_2 \cos \delta \sin \gamma - R_2 \cos \beta,$$

де  $l_1, l_2$  - відстань від центру мас коренеплоду буряків до центрів кривизни точок контакту;

$R_1, R_2$  - радіуси кривизни умовних сфер у точках контакту.

Підставивши у співвідношення (2.43) залежність із формул (2.44), (2.45), знайдемо з першої та другої залежностей (2.43) відповідно:

$$z_c = x_c \operatorname{tg} \beta + CO_1 (\sin \delta + \cos \delta \sin \gamma \operatorname{tg} \beta) + \frac{R_1}{\cos \beta},$$

(2.46)

$$z_c = -x_c \operatorname{tg} \beta + CO_2 (\cos \delta \sin \gamma \operatorname{tg} \beta + \sin \delta) + \frac{R_2}{\cos \beta}. \quad (2.47)$$

Прирівнявши обидві залежності, знайдемо:

$$x_c = \frac{1}{2} (CO_2 - CO_1) \cos \delta \sin \gamma - \frac{1}{2} (CO_2 + CO_1) \frac{\sin \delta}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{(R_2 - R_1)}{2 \sin \beta}. \quad (2.48)$$

Залежність визначення  $z_3$  знайдемо, підставивши залежність (2.48) у формулу

(2.46):

$$x_c = \frac{1}{2}(CO_2 + CO_1) \cos \delta \sin \gamma g \beta + \frac{1}{2}(CO_1 - CO_2) \sin \delta + \frac{1}{2} \frac{(R_2 + R_1)}{\cos \beta}. \quad (2.49)$$

При розв'язанні задачі про рух коренеплоду значення  $R_1, R_2, l, 2$  вважатимемо незмінними і коригуватимемо їх на кожному кроці обчислень. При цьому після знаходження значень  $y_3, \gamma$  дві кінці кроку обчислень будемо визначати точні значення координат точок контакту  $x, z$  після рішення системи рівнянь (2.42). Після цього знаходимо нові значення  $R_1, R_2, l, 2$  для наступного кроку обчислень.

Знайдемо залежності для визначення  $l$  і  $R_1$  для точки контакту  $K_1$ ; для точки  $K_2$  вони будуть аналогічні. Координати точки  $O_1$  знайдемо для точки перетину площини, що проходить через точку  $K_1$  перпендикулярній площині  $uz$  лотка з віссю симетрії коренеплоду. Рівняння зазначеної площини в системі координат  $xuz$  має такий вигляд:

$$y - y_{K_1} = 0.$$

Загальний вид рівняння лінії, що проходить через задану точку (у нашому випадку центр мас коренеплоду), наступний:

$$\frac{x - x_c}{l} = \frac{y - y_c}{m} = \frac{z - z_c}{n},$$

де  $l, m, n$  - спрямовують косинуси осі симетрії коренеплоду на осі системи координат  $xuz$ .

Відомими є напрямні косинуси лінії симетрії коренеплоду в осях  $x, y, z$ :

$$\cos(z', x) = \cos(z', y) = 0, \cos(z', z) = 1.$$

Виконавши кутові перетворення координат  $x, y, z \rightarrow x_2, y_2, z_2 \rightarrow x_3, y_3, z_3 \rightarrow x_4, y_4, z_4$  за формулами (2.35), (2.36а), (2.37), з урахуванням того, що осі  $xuz$  та  $x_4, y_4, z_4$  паралельні, знайдемо:

$$l = \cos(z', x) = \cos \delta \sin \gamma, m = \cos(z', y) = \cos \delta \cos \gamma, n = \cos(z', z) = -\sin \delta. \quad (2.50)$$

Координати шуканої точки  $Pro_1$  перетину визначають за формулами:

$$x_{01} = x_c - l\rho, y_{01} = y_c - m\rho, z_{01} = z_c - n\rho,$$

де

$$\rho = \frac{Ax_c + By_c + Cz_c + D}{Al + Bm + Cn}.$$

В даному випадку  $D = -y_{K_1}$ , тоді

$$x_{01} = x_c - (y_c - y_{K_1}) \operatorname{tg} \gamma, y_{01} = y_{K_1}, z_{01} = z_c - (y_c - y_{K_1}) \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos \gamma}. \quad (2.51)$$

Аналогічно

$$x_{02} = x_c - (y_c - y_{K_2}) \operatorname{tg} \gamma, y_{02} = y_{K_2}, z_{02} = z_c - (y_c - y_{K_2}) \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos \gamma}. \quad (2.52)$$

Відстань від центрів кривизни до точок контакту та до центру мас коренеплоду можна визначити за такими формулами:

$$R_i = O_i K_i = \sqrt{(x_{ki} - x_{oi})^2 + (y_{ki} - y_{oi})^2 + (z_{ki} - z_{oi})^2}, \quad (2.53)$$

$$CO_i = \sqrt{(x_{ki} - x_c)^2 + (y_{ki} - y_c)^2 + (z_{ki} - z_c)^2}, i = 1, 2. \quad (2.54)$$

Від розташування точок контакту залежить положення коренеплоду щодо дисків пристрою, що викопує. Оцінюватимемо положення точок контакту щодо робочих площин дисків у системах координат  $x_1, y_1, z_1$  (для правого диска) і  $x_2, y_2, z_2$  (для лівого диска), в яких кола площин дисків виглядають без спотворення. Умови розташування коренеплоду в межах робочої зони для кожного з дисків:

$$R_{до i} < R_{\partial i}, i = 1, 2; \quad (2.55)$$

де  $R_{до i}$  - радіус розташування точки контакту;

$R_{\partial i}$  - Радіус диска.

Радіус розташування точки контакту можна знайти за такою формулою:

$$R_{ki} = \sqrt{(x_{i,ki} - x_{i,o\ddot{a}i})^2 + (y_{i,ki} - y_{i,o\ddot{a}i})^2}, i = 1, 2; \quad (2.56)$$

де  $x_{i, k_i}, y_{i, k_i}$ , – координати точок контакту в системах координат  $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ ;

$x_i, O_{\partial i}, y_i, O_{\partial i}$  – те саме для координати центрів дисків.

У разі недотримання умови (2.55) для лівого диска можливе пошкодження коренеплоду ріжучою кромкою диска. Для правого диска (огорожі) подібна ситуація призведе до такого виду руху, коли коренеплід має контакт із кромкою правого диска та робочою площиною лівого диска.

В останньому випадку на момент початкового контакту можливі дві ситуації. Сприятливою є така, коли верхня точка головки коренеплоду знаходиться всередині між дисками. Це має місце за сприятливого нахилу осі коренеплоду щодо осі обертання диска  $z_1$ , тобто, у нашому випадку це має місце при:

$$\cos(z', z_1) < 0. \quad (2.57)$$

Для вирішення задачі визначення характеристик контакту коренеплоду з кромкою правого диска визначимо мінімальну відстань осі  $z'$  симетрії коренеплоду до кромки диска у напрямку перпендикуляра до осі. Якщо ця відстань буде меншою за радіус коренеплоду, що відповідає відстані точки диска по осі  $z'$ , це означатиме, що точка кромки диска знаходиться всередині простору тіла коренеплоду, що неприпустимо.

Після завершення зазначених змін знайдемо координати поточної точки кромки диска в системі координат  $x'_\partial y'_\partial z'_\partial$ , пов'язаної з віссю симетрії коренеплоду  $x'y'z'$

Радіус розташування поточної точки диска щодо осі  $z'$  коренеплоду можна знайти за такою формулою:

$$R'_\partial = \sqrt{(x'_\partial)^2 + (y'_\partial)^2}. \quad (2.58)$$

Радіус точки поверхні коренеплоду  $R'$ , що відповідає координаті  $\beta$ , знайдемо за формулою (2.32), знайшовши значення  $z'_n$  за останньою з формул (2.33). Далі необхідно визначити мінімальне значення різниці:

$$\Delta min = R'_\partial - R'. \quad (2.59)$$

Очевидно, що наявність зазору має місце при:

$$\Delta_{min} > 0. \quad (2.60)$$

Перевірку цієї умови слід проводити для крайок викопних та забірних дисків при кожному значенні  $y_{r, h \delta}$ , яке зменшується з певним кроком від свідомо великих значень до положення, за якого умова (2.60) дотримується. Для викопних дисків перевірку умови (2.60) можна припинити, коли можна вважати захід коренеплоду, що відбувся, в робочий простір викопних дисків. Прийmemo, що це має місце при:

$$y_{r, h \delta} < y_{r, \delta z} + 0,8 R_{\delta z}, \quad (2.61)$$

тобто, коли коренеплід вже досить далеко заходить у робочий простір дисків, що викопують. Після цього контроль розташування коренеплодів щодо кромки викопних лівого та правого дисків можна припинити і починати контроль розташування коренеплоду щодо кромки та площини забірної диска та площини лівого диска.

Характеристики початкового контакту спочатку визначаються припущенні, що має місце випадок контакту коренеплоду з обома робочими площинами. Після цього перевіряється умова (2.55) для правого диска та, якщо вона не виконується, визначаються характеристики початкового контакту. Замість функцій (2.41) маємо:

$$\Delta_{min} = \Delta_{min}(z_{n1}; \chi_{\delta 1}, y_{h \delta}) = 0, z_2 = z_2(z_{n2}; \chi, y_{h \delta}) = 0, \quad (2.62)$$

де  $\chi_1$  поточний кут точки кромки правого диска.

Аналогічно змінюється система рівнянь для пошуку уточненого положення коренеплоду при контакті з обома дисками. Замість системи рівнянь (2.42) необхідно розв'язувати систему:

$$\Delta_{min}(x_C, z_C) = 0, z_2(x_C, z_C) = 0. \quad (2.63)$$

У процесі руху коренеплоду для лівого диска необхідно перевіряти умову (2.55) у зв'язку з можливістю пошкодження коренеплоду ріжучою кромкою.

Для обох дисків перевірятимемо умову розташування центру мас коренеплоду за

межами кромки дисків. При цьому створюється ситуація, коли коренеплід випадатиме із забірної пристрою. Це не буде мати місця у:

$$R_{c,i} < R_{\partial i}, i = 1, 2; \quad (2.64)$$

де  $R_{c,i}$  - радіус розташування центру мас коренеплоду щодо центру системи координат, пов'язаної з віссю обертання диска.

У процесі руху слід визначати характеристики контакту поверхні коренеплоду з лопаттю бітера. Останню моделюватимемо як коло кінця лопаті бітера в площині  $y_{\Gamma z_{\Gamma}}$  системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ . Характеристики контакту коренеплоду з бітером дають можливість оцінити умову відсутності завантаження коренеплодів у забірній пристрої. Цю умову можна записати в такому вигляді:

$$t_B = t_{\partial o, np}, \quad (2.65)$$

де  $t_B$  - час, що відповідає моменту дотику поверхні коренеплоду з траєкторією кінця лопаті бітера;

$t_{\partial o, np}$  - гранично можливе значення часу між послідовними надходженнями коренеплодів у пристрій, що залежить від швидкості машини та відстані між коренеплодами на одиницю довжини рядка.

Для визначення координати точки дотику коренеплоду з траєкторією лопаті бітера необхідне виконання умови:

$$\Delta(z_n', \chi, y_c, \gamma, \delta, \chi_B) = 0. \quad (2.66)$$

Як невідомі, що є аргументами записаної функції  $\Delta_B$  (відстань між точками коренеплоду і траєкторії лопаті), служать характеристики коренеплоду  $(z_n', \chi)$ , узагальнені координати його руху в умовному лотку  $(y_c, \gamma, \delta)$  і кут  $\chi_B$  між вертикаллю і напрямком радіуса - вектора точки сприк дивитися праворуч машини).

Значення можна визначити за  $\Delta_{макою}$  формулою:

$$\Delta_B = \sqrt{(x'_K - x'_B)^2 + (y'_K - y'_B)^2 + (z'_K - z'_B)^2}, \quad (2.67)$$

де  $x'_K, \dots, z'_K$  - координати точок поверхні коренеплоду і траєкторії лопаті бітера в

системі координат  $x \ y \ z$  :

Кутову координату точки зіткнення після розв'язання рівняння (2.66)

можна знайти за очевидною залежністю:

$$U_{TKB} = \arcsin \left( \frac{y_{B,C}}{\sqrt{y_{B,C}^2 + z_{B,C}^2}} \right), \quad (2.68)$$

де  $y_{B,C}, z_{B,C}$  - координати точки дотику в системі  $x_{B,C} y_{B,C} z_{B,C}$ .

Осі цієї системи координат орієнтовані аналогічно осям  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  за винятком осі  $z$ , яка спрямована вертикально вниз; початок цієї системи координат розміщується в точці перетину осі бітера і площини  $y_{\Gamma} z_{\Gamma}$  системи координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ . Для визначення координат точки дотику в системі  $x_{B,C} y_{B,C} z_{B,C}$  необхідно знайти координати цієї точки в системі  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$ , після чого виконати очевидне паралельне перенесення для зазначених систем координат.

## 2.6 Рівняння руху коренеплоду

Для визначення залежностей координат коренеплоду від часу скористаємося системою рівнянь Лагранжа у такому вигляді:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_K} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_K} = Q_K, \quad K = 1, \dots, m,$$

де  $T$  – кінетична енергія коренеплоду щодо інерційної системи координат;

$q_K, \dot{q}_K$  - узагальнена координата та її швидкість;

$m$  – число узагальнених координат;

$Q_K$  – узагальнена сила, що відповідає певній узагальненій координаті.

При вирішенні завдання не враховуватимемо власного обертання коренеплоду, оскільки відповідні сили інерції порівняно невеликі. Це не внесе великої похибки, але спростить вирішення завдання. Внаслідок наявності контакту коренеплоду з обома робочими площинами, координати центру маси  $x_C$  і  $z_C$  однозначно визначаються кутами  $\delta$  і  $\gamma$  за допомогою залежностей (2.48),

(2.49) тому в якості узагальнених координат можна прийняти  $u_c, \gamma, \delta$ . Таким чином, рух коренеплоду описуватимемо системою трьох диференціальних рівнянь другого порядку.

Кінетичну енергію коренеплоду запишемо у вигляді суми кінетичної енергії центру мас та обертання навколо нього

$$T = \frac{1}{2}m(\dot{x}_{cu}^2 + \dot{y}_{cu}^2 + \dot{z}_{cu}^2) + \frac{1}{2}(J_{cx'}\omega_{x'}^2 + J_{cy'}\omega_{y'}^2 + J_{cz'}\omega_{z'}^2), \quad (2.69)$$

де  $m$  – маса коренеплоду;

$\dot{x}_{cu}, \dot{y}_{cu}, \dot{z}_{cu}$  – проекції швидкості центру мас коренеплоду в інерційній системі відліку;

$J_{cx'}, J_{cy'}, J_{cz'}$  – моменти інерції коренеплоду щодо головних центральних осей  $x', y', z'$ , пов'язаних із коренеплодом;

$\omega_{x'}, \omega_{y'}, \omega_{z'}$  – проекції кутової швидкості коренеплоду на  $x', y', z'$  осі

Оскільки система координат  $xyz$  рухається по прямій із постійною швидкістю, її можна прийняти як інерційну, тобто. у виразі (2.69) для кінетичної енергії як величини  $\dot{x}_{cu}, \dot{y}_{cu}, \dot{z}_{cu}$  можна приймати  $\dot{x}_c, \dot{y}_c, \dot{z}_c$ . Величина  $u_c$  є узагальненою координатою, а  $\dot{y}_c$  – узагальненою швидкістю, решта величин визначається диференціюванням за часом виразів (2.48), (2.49):

$$\begin{aligned} \dot{x}_c &= -\frac{1}{2}\dot{\delta}(CO_2 - CO_1)\sin\delta\sin\gamma + \frac{1}{2}\dot{\gamma}(CO_2 - CO_1)\cos\delta\cos\gamma - \\ &\quad - \frac{(CO_1 - CO_2)}{2\operatorname{tg}\beta}\dot{\delta}\cos\delta, \\ \dot{z}_c &= -\frac{1}{2}\dot{\delta}(CO_1 + CO_2)\operatorname{tg}\beta\sin\delta\sin\gamma + \frac{1}{2}\dot{\gamma}(CO_1 + CO_2)\operatorname{tg}\beta\cos\delta\cos\gamma + \\ &\quad + \frac{1}{2}\dot{\delta}(CO_1 - CO_2)\cos\delta. \end{aligned} \quad (2.70)$$

Для визначення проекцій кутової швидкості скористаємося співвідношеннями Ейлера.

$$\omega_{x'} = \psi\sin\theta\sin\varphi + \dot{\theta}\cos\varphi, \quad \omega_{y'} = \psi\sin\theta\cos\varphi - \dot{\theta}\sin\varphi, \quad \omega_{z'} = \dot{\varphi} + \psi\cos\theta, \quad (2.71)$$

де  $\theta, \psi, \varphi, \dot{\theta}, \dot{\psi}, \dot{\varphi}$ , -кути нутації, прецесії, власного обертання та швидкість їх зміни. Відповідно до прийнятим припущенням власне обертання коренеплоду відсутня, тобто.  $\varphi = \dot{\varphi} = 0$ . Співвідніши введені кути  $\gamma$  і  $\delta$  з правилами відліку кутів Ейлера, матимемо:

$$\theta = -\left(\frac{\pi}{2} + \delta\right), \quad \psi = -\gamma.$$

Звідси:

$$\dot{\theta} = -\dot{\delta}, \quad \dot{\psi} = -\dot{\gamma}.$$

Тому:

$$\omega_{x'} = -\dot{\delta}, \quad \omega_{y'} = \dot{\gamma} \cos \delta, \quad \omega_{z'} = \dot{\gamma} \sin \delta. \quad (2.72)$$

Виконавши необхідні диференціювання, для лівих частин системи рівнянь руху знайдемо:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\delta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \delta} &= \gamma A_{1\gamma} + \delta \dot{A}_{1\delta} + B_{1\delta\gamma} \dot{\gamma} \dot{\delta} + B_{1\gamma\gamma} \dot{\gamma}^2 + B_{1\delta\delta} \dot{\delta}^2, \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \gamma} &= \gamma A_{2\gamma} + \delta \dot{A}_{2\delta} + B_{x_{2\delta\gamma}} \dot{\gamma} \dot{\delta} + B_{2\gamma\gamma} \dot{\gamma}^2 + B_{2\delta\delta} \dot{\delta}^2, \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_c} \right) - \frac{\partial T}{\partial y_c} = m \ddot{y}_c,$$

де

$$\begin{aligned} A_{1\gamma} &= -\frac{1}{16} m \sin 2\delta \sin 2\gamma \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] - \\ &\quad - \frac{1}{4} m (CO_2^2 - CO_1^2) \cos^2 \delta \cos \gamma \frac{(1 + 2 \operatorname{tg} \beta)}{\operatorname{tg} \beta}, \\ A_{1\delta} &= -\frac{1}{4} m \sin^2 \delta \sin^2 \gamma \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] + \\ &\quad + \frac{1}{4} m \cos^2 \delta \left[ \frac{(CO_2 + CO_1)^2}{\operatorname{tg}^2 \beta} + (CO_1 - CO_2)^2 \right] + \frac{1}{2} m (CO_2^2 - CO_1^2) \sin \gamma \frac{\sin 2\delta}{\sin 2\beta} + J_{cx'}, \end{aligned}$$

$$B_{1\delta\gamma} = \frac{1}{4}m \sin 2\gamma \sin^2 \delta \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] + \\ + \frac{1}{4}m(CO_2^2 - CO_1^2) \sin 2\delta \cos \gamma \frac{(2 + \operatorname{tg}^2 \beta)}{\operatorname{tg} \beta},$$

$$B_{1\gamma\gamma} = \frac{1}{8}m \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] \sin 2\delta (\cos^2 \gamma - \cos 2\gamma) + \\ + \frac{1}{4}m(CO_2^2 - CO_1^2) \cos^2 \delta \sin \gamma \frac{(1 + 2\operatorname{tg}^2 \beta)}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{1}{2}(J_{cy'} - J_{cz'}) \sin 2\delta,$$

$$B_{1\delta\delta} = \frac{1}{8}m \sin 2\delta \sin^2 \gamma \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] - \\ - \frac{1}{8}m \sin 2\delta (CO_1 + CO_2)^2 \frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{1}{2}m(CO_2^2 - CO_1^2) \frac{\sin \gamma \cos 2\delta}{\sin 2\beta},$$

$$A_{2\gamma} = \frac{1}{4}m \cos^2 \delta \cos^2 \gamma \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] + J_{cy'} \cos^2 \delta + J_{cz'} \sin^2 \delta,$$

$$A_{2\delta} = -\frac{1}{16}m \sin 2\delta \sin 2\gamma \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] - \\ - \frac{1}{2}m(CO_2^2 - CO_1^2) \frac{\cos^2 \delta \cos \gamma}{\sin 2\beta},$$

$$B_{2\delta\gamma} = -\frac{1}{4}m \sin 2\delta \cos^2 \gamma \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] + (J_{cz'} - J_{cy'}) \sin 2\delta,$$

$$B_{2\gamma\gamma} = -\frac{1}{8}m \cos^2 \delta \sin 2\gamma \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right]$$

$$B_{2\delta\delta} = -\frac{1}{8}m \left[ (CO_2 - CO_1)^2 + (CO_1 + CO_2)^2 \operatorname{tg}^2 \beta \right] (\sin^2 \delta \sin 2\gamma + \cos 2\delta \sin 2\gamma) + \\ + \frac{1}{4}m(CO_2^2 - CO_1^2) \frac{\cos 2\delta \cos \gamma}{\sin 2\beta}.$$

Визначення узагальнених сил виконаємо, скориставшись формулою

$$Q_K = \sum_{i=1}^n \left( X_i \frac{\partial x_i}{\partial q_K} + Y_i \frac{\partial y_i}{\partial q_K} + Z_i \frac{\partial z_i}{\partial q_K} \right), \quad K = 1, 2, 3,$$

де  $X_i, Y_i, Z_i, x_i, y_i, z_i$  - проекції зовнішніх сил та координат точок їх застосування в

інерційній системі відліку;

$n$  - Число зовнішніх сил, прикладених до коренеплоду.

Зовнішніми силами, прикладеними до коренеплоду, є тяжкість і сила тертя в точці контакту з лівим диском.

Сила тяжіння прикладена у центрі мас. Її проекції легко записуються у системі координат  $x_{\Gamma} y_{\Gamma} z_{\Gamma}$

$$G_{x\Gamma} = 0, G_{y\Gamma} = 0, G_{z\Gamma} = -mg, \quad (2.74)$$

де  $g$  - Прискорення вільного падіння.

Проекції сили тяжіння у системі координат  $x_{yz}$  знайдемо скориставшись перетвореннями координат (2.23а), (2.24а):

$$G_{x'} = 0, G_{y'} = -mg \sin \alpha, G_{z'} = -mg \cos \alpha. \quad (2.75)$$

З використанням залежностей (2.48), (2.49) знайдемо узагальнені сили, що відповідають силі тяжіння:

$$Q_{G,yc} = G_{y'},$$

$$Q_{G,\delta} = G_z \left[ \frac{1}{2} (CO_1 + CO_2) \sin \delta \sin \eta g \beta - \frac{1}{2} (CO_1 - CO_2) \cos \delta \right], \quad (2.76)$$

$$Q_{G,\gamma} = -\frac{1}{2} G_z (CO_1 + CO_2) \cos \delta \cos \eta g \beta.$$

Напрямок дії сили тертя у точці контакту з лівим диском  $\bar{F}_2$  визначається напрямком вектора переносної швидкості, викликаного обертанням диска  $\bar{V}_n$ , та напрямком, зворотним швидкості руху коренеплоду щодо умовного лотка  $\bar{V}_K$ , тобто. одиничний вектор напрямку сили тертя у точці контакту визначається за такою формулою:

$$\bar{e}_{K_2} = \frac{\bar{F}_2}{|\bar{F}_2|} = \frac{\bar{V}_n}{|\bar{V}_n|} - \frac{\bar{V}_K}{|\bar{V}_K|}. \quad (2.77)$$

Відносну швидкість у точці контакту  $K_2$  у системі координат  $x_{yz}$  знайдемо

після диференціювання за часом залежності (2.45), в яку необхідно підставити залежності (2.48), (2.49):

$$x_{K_2} = \frac{1}{2}(CO_2 - CO_1)\cos\delta\sin\gamma - \frac{1}{2}(CO_2 + CO_1)\frac{\sin\delta}{\operatorname{tg}\beta} + \frac{(R_2 - R_1)}{2\sin\beta} + CO_2\cos\delta\sin\gamma + R_2\sin\beta,$$

$$y_{K_2} = y_c + CO_2\cos\delta\sin\gamma, \quad (2.78)$$

$$z_{K_2} = \frac{1}{2}(CO_2 + CO_1)\cos\delta\sin\gamma\operatorname{tg}\beta + \frac{1}{2}(CO_1 - CO_2)\sin\delta + \frac{(R_2 + R_1)}{2\cos\beta} - CO_1\sin\delta - R_1\cos\beta;$$

$$\dot{x}_{K_2} = \frac{1}{2}(CO_2 - CO_1)(-\sin\delta\dot{\delta}\sin\gamma + \cos\delta\dot{\gamma}\cos\gamma) - \frac{1}{2}\frac{(CO_2 - CO_1)}{\operatorname{tg}\beta}\dot{\delta}\cos\delta - CO_2\dot{\delta}\sin\delta\sin\gamma + CO_2\cos\delta\dot{\gamma}\cos\gamma,$$

$$\dot{y}_{K_2} = \dot{y}_c - CO_2\dot{\delta}\sin\delta\cos\gamma - CO_2\cos\delta\dot{\gamma}\sin\gamma, \quad (2.79)$$

$$\dot{z}_{K_2} = \frac{1}{2}(CO_1 + CO_2)\operatorname{tg}\beta(-\dot{\delta}\sin\delta\sin\gamma + \dot{\gamma}\cos\delta\cos\gamma) + \frac{1}{2}(CO_1 - CO_2)\dot{\delta}\cos\delta - CO_2\dot{\delta}\cos\delta.$$

Проекції відносної швидкості в точці контакту на осі системи координат  $x_2$  у  $z_2$ , в якій діє сила тертя, знайдемо, скориставшись перетвореннями координат (2.40)

$$\dot{x}_{2,K_2} = -\dot{x}_{K_2}\cos\beta + \dot{z}_{K_2}\sin\beta,$$

$$\dot{y}_{2,K_2} = \dot{y}_{K_2}, \quad (2.80)$$

$$\dot{z}_{2,K_2} = 0.$$

Переносна швидкість диска в точці контакту дорівнює

$$\overline{V}_{K,пер} = \overline{\omega}_{\partial_2} \times \overline{O}_{\partial_2}K_2, \quad (2.81)$$

де  $\overline{\omega}_{\partial_2}$  -кутова швидкість диска;

$\overline{O}_{\partial_2}K_2$  -радіус-вектор з початком в центрі обертання диска 2 і кінцем у точці контакту 2. Його можна визначити за такою формулою

$$\overline{O_{\partial 2} K_2} = \overline{AK_2} - \overline{AO_{\partial 2}}, \quad (2.82)$$

де  $\overline{AK_2}, \overline{AO_{\partial 2}}$  - радіус-вектор точки контакту та центру диска 2 щодо початку системи координат  $x_2 y_2 z_2$ .

Проекції переносної швидкості точки контакту дорівнюють:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{2,K_2\Pi} &= \omega_{\partial 2} \times (O_{\partial 2} K_2)_{y_2}, \\ \dot{y}_{2,K_2\Pi} &= -\omega_{\partial 2} \times (O_{\partial 2} K_2)_{x_2}; \end{aligned} \quad (2.83)$$

$$\begin{aligned} (O_{\partial 2} K_2)_{x_2} &= x_{2,K_2} - (AO_{\partial})_{x_2}, \\ (O_{\partial 2} K_2)_{y_2} &= y_{2,K_2} - (AO_{\partial})_{y_2}; \end{aligned} \quad (2.84)$$

$$x_{2,K_2} = -x_{K_2} \cos \beta + z_{K_2} \sin \beta, \quad y_{2,K_2} = y_{K_2}, \quad (2.85)$$

де  $x_{2,K_2}, y_{2,K_2}, (AO_{\partial})_{x_2}, (AO_{\partial})_{y_2}$  - проекції векторів  $\overline{AK_2}$  та  $\overline{AO_{\partial 2}}$  на осі системи координат  $x_2 y_2 z_2$ .

У наведених залежностях значення  $x_{K_2}, y_{K_2}, z_{K_2}$  визначаються за формулами (2.78); координати диска задаються у системі координат  $x_G y_G z_G - (AO_{\partial})_{x_2}, (AO_{\partial})_{y_2}, (AO_{\partial})_{z_2}$  і систему координат  $x_2 y_2 z_2$  перетворюються з допомогою залежностей (2.23,а), (2.24,а), (2.40).

Проекції вектора сили тертя у точці контакту  $K_2$  тепер можна визначити за формулами

$$\begin{aligned} F_{x_{2,2}} &= N_2 f e_{x_{2,K_2}}, \\ F_{y_{2,2}} &= N_2 f e_{y_{2,K_2}}, \end{aligned} \quad (2.86)$$

де  $N_2$  - Реакція в точці контакту;

$f$  - коефіцієнт тертя коренеплоду із поверхнею диска;

$e_{x_{2,K_2}}, e_{y_{2,K_2}}$  - напрямні косинуси сили тертя у точці контакту рівні:

$$e_{x2,K_2} = -\frac{\dot{x}_{2,K_2}}{\sqrt{\dot{x}_{2,K_2}^2 + \dot{y}_{2,K_2}^2}} + \frac{\dot{x}_{2,K_2\Pi}}{\sqrt{\dot{x}_{2,K_2\Pi}^2 + \dot{y}_{2,K_2\Pi}^2}},$$

$$e_{y2,K_2} = -\frac{\dot{y}_{2,K_2}}{\sqrt{\dot{x}_{2,K_2\Pi}^2 + \dot{y}_{2,K_2\Pi}^2}} + \frac{\dot{y}_{2,K_2\Pi}}{\sqrt{\dot{x}_{2,K_2\Pi}^2 + \dot{y}_{2,K_2\Pi}^2}}.$$
(2.87)

З використанням перетворень координат (2.40а) отримаємо проекції сили тертя на осі системи координат  $x_{2z}$ , які необхідні визначення узагальнених сил тертя

$$F_{2x} = -F_{x,2} \cos \beta, F_{2y} = F_{y2,2}, F_{2z} = F_{z2,2} \sin \beta.$$
(2.88)

Після проведення необхідних диференцій за узагальненими координатами знайдемо узагальнену силу тертя в точці контакту  $K_2$

$$Q_{y_c, K_2} = F_{y2,2},$$

$$Q_{\gamma, F_2} = -\frac{1}{2} F_{2x} (CO_1 + CO_2) \cos \delta \cos \gamma + F_{2y} CO_2 \cos \delta \sin \gamma +$$

$$+ \frac{1}{2} F_{2z} (CO_1 + CO_2) \cos \delta \cos \gamma \operatorname{tg} \beta,$$
(2.89)

$$Q_{\gamma, F_2} = \frac{1}{2} F_{2x} \left[ (CO_1 + CO_2) \sin \delta \sin \gamma - (CO_1 + CO_2) \frac{\cos \delta}{\operatorname{tg} \beta} \right] + F_{2y} CO_2 \sin \delta \cos \gamma -$$

$$- \frac{1}{2} F_{2z} (CO_1 + CO_2) \sin \delta \sin \gamma \operatorname{tg} \beta - \cos \delta.$$

Таким чином, узагальнені сили, які є правою частиною рівнянь руху коренеплоду, дорівнюють:

$$Q_{y_c} = Q_{y_c, G} + Q_{y_c, F_2}, Q_{\gamma} = Q_{\gamma, G} + Q_{\gamma, F_2}, Q_{\delta} = Q_{\delta, G} + Q_{\delta, F_2}. \quad (2.90)$$

Для визначення реакцій у точках контакту складемо систему рівнянь. Кожне з рівнянь є сумою проекцій сил та реакцій на напрямки дії кожної реакції

$$N_1 + G_{z_1} + F_{2,z_1} + P_{u,z_1} + N_{2,z_1} = 0,$$

$$N_{1,z_2} + G_{z_2} + P_{u,z_2} + N_2 = 0,$$
(2.91)

де  $G_{z_1}, F_{2,z_1}, P_{u,z_1}, N_{2,z_1}$  - проекції сил тяжкості, тертя в точці  $K_2$  інерції і реакції в точці  $K_2$  на вісь  $z_1$  системи координат  $x_1 y_1 z_1$  напрямком якої збігається з напрямком

реакції  $N_1$ ;

$N_{1,z_2}, G_{z_2}, P_{u,z_2}$  -аналогічно для силових факторів, що діють у напрямку осі  $z_2$  системи координат  $x_2 y_2 z_2$ .

Проекції сили тяжіння на осі систем координат  $z_2$  та  $z_1$  знайдемо, скориставшись проєкціями (2.75) цієї сили на осі системи координат  $xz$  та перетвореннями координат (2.39) та (2.40)

$$\begin{aligned} G_{z_1} &= G_z \cos \beta - G_x \sin \beta, \\ G_{z_2} &= G_x \sin \beta + G_z \cos \beta. \end{aligned} \quad (2.92)$$

Аналогічно знайдемо проєкції сили тертя, скориставшись залежностями (2.88):

$$F_{2,z_2} = F_{2z} \cos \beta - F_{2x} \sin \beta. \quad (2.93)$$

Для визначення сил інерції, прикладених до центру мас коренеплоду, необхідно знати значення узагальнених координат, швидкостей та прискорень, які неможливо визначити без розв'язання системи рівнянь руху. Однак зробити це неможливо без визначення реакцій. Виникає протиріччя, виходом з якого можливо застосування методу послідовних наближень. У цьому першому етапі послідовних наближень на початку обчислень, тобто. на першому етапі часу обчислень, можна визначати реакції без урахування сил інерції. Після цього знайдені значення реакцій підставляємо в систему рівнянь, вирішуємо її та знаходимо значення узагальнених координат, швидкостей та прискорень для першого кроку послідовних наближень. Після цього визначаємо значення реакцій, які використовуємо визначення узагальнених координат, швидкостей і прискорень другого кроку послідовних наближень. У цьому різниця у значеннях реакцій кожному наступному кроці послідовних наближень зменшується. Припинення послідовних наближень здійснимо при досягненні необхідної невеликої відносної різниці  $\Delta_{so}$  у значеннях реакцій на сусідніх кроках наближень

$$\Delta_K = \left| \frac{N_{i+1} - N_i}{N_{i+1}} \right|, \quad K = 1, 2, \quad (2.94)$$

де  $N_i, N_{i+1}$  -значення реакцій за послідовних наближеннях.

Умова припинення послідовних наближень, таким чином, має такий вигляд

$$(\Delta_1 \text{ или } \Delta_2) < \Delta_{3\partial}. \quad (2.95)$$

На другому і наступних кроках обчислень для першого послідовного наближення можливо використовувати значення реакцій, знайдені на попередньому кроці часу обчислень.

Для визначення узагальнених прискорень представимо рівняння руху як системи лінійних рівнянь:

$$a_{11}\ddot{y}_c + a_{12}\ddot{\delta} + a_{13}\dot{\gamma} = b_1, a_{21}\ddot{y}_c + a_{22}\ddot{\delta} + a_{23}\dot{\gamma} = b_2, a_{31}\ddot{y}_c + a_{32}\ddot{\delta} + a_{33}\dot{\gamma} = b_3, \quad (2.96)$$

де

$$a_{11} = m, a_{12} = 0, a_{13} = 0;$$

$$a_{21} = 0, a_{22} = A_{1\delta}, a_{23} = A_{1\gamma};$$

$$a_{31} = 0, a_{32} = A_{2\delta}, a_{33} = A_{2\gamma};$$

$$b_1 = Q_{yc}, b_2 = Q_{\delta} - B_{1\delta\gamma}\dot{\gamma}\dot{\delta} - B_{1\gamma\gamma}\dot{\gamma}^2 - B_{1\delta\delta}\dot{\delta}^2,$$

$$b_3 = Q_{\gamma} - B_{2\delta\gamma}\dot{\gamma}\dot{\delta} - B_{2\gamma\gamma}\dot{\gamma}^2 - B_{2\delta\delta}\dot{\delta}^2.$$

Узагальнені прискорення знайдемо, розв'язавши систему цих лінійних рівнянь. Проекції сили інерції, прикладеної в центрі мас на осі системи координат  $xz$ , знайдемо за такими очевидними залежностями:

$$P_{u,x} = -m\ddot{x}_c, P_{u,y} = -m\ddot{y}_c, P_{u,z} = -m\ddot{z}_c. \quad (2.97)$$

Проекції прискорення центру мас коренеплоду на осі  $x_c, z_c$  знайдемо після диференціювання залежностей (2.70):

$$\begin{aligned} \ddot{x}_c = & -\frac{1}{2}(CO_2 - CO_1)(\ddot{\delta} \sin \delta \sin \gamma + \dot{\delta}^2 \cos \delta \sin \gamma + \dot{\delta} \dot{\gamma} \sin \delta \cos \gamma) + \\ & + \frac{1}{2}(CO_2 - CO_1)(\dot{\gamma} \cos \delta \cos \gamma - \dot{\gamma} \dot{\delta} \sin \delta \cos \gamma - \dot{\gamma}^2 \cos \delta \sin \gamma) - \end{aligned}$$

$$-\frac{(CO_1 + CO_2)}{2tg\beta}(\ddot{\delta} \cos \delta - \dot{\delta}^2 \sin \delta), (2.98)$$

$$\begin{aligned} \ddot{z}_c = & -\frac{1}{2}(CO_1 - CO_2)tg\beta(\ddot{\delta} \sin \delta \sin \gamma + \dot{\delta}^2 \cos \delta \sin \gamma + \dot{\delta}\dot{\gamma} \sin \delta \cos \gamma) + \\ & + \frac{1}{2}(CO_1 + CO_2)tg\beta(\ddot{\gamma} \cos \delta \cos \gamma - \dot{\gamma}\dot{\delta} \sin \delta \cos \gamma - \dot{\gamma}^2 \cos \delta \sin \gamma) + \\ & + \frac{1}{2}(CO_1 - CO_2)(\ddot{\delta} \cos \delta - \dot{\delta}^2 \sin \delta). \end{aligned}$$

Проекції сили інерції, прикладеної у центрі мас коренеплоду на напрями дії реакцій, знайдемо, використовуючи перетворення координат (2.39), (2.40):

$$P_{u,z_1} = P_{uz} \cos \beta - P_{ux} \sin \beta, P_{u,z_2} = P_{ux} \sin \beta + P_{uz} \cos \beta. (2.99)$$

Проекції реакції  $N_2$  додатків у точці  $K_2$  на напрям дії реакції  $N_1$  прикладеної в точці  $K_1$  знайдемо, визначивши напрямний косинус реакції  $N_2$  на вісь  $z_1$ . Напрямні косинуси реакції  $N_2$  на осі системи координат  $x_2 y_2 z_2$  наступні:

$$\cos(\bar{N}_2, x_2) = \cos(N_2, y_2) = 0, \cos(\bar{N}_2, z_2) = 1. (2.100)$$

Необхідне значення напрямного косинуса реакції  $N_2$  на вісь  $z_1$  знайдемо, скориставшись перетворенням координат  $x_2 y_2 z_2 \rightarrow xuz \rightarrow x_1 y_1 z_1$  за формулами (2.40a), (2.39)

$$\cos(\bar{N}_2, z_1) = \cos 2\beta. (2.101)$$

Значення напрямного косинуса реакції  $N_1$  на напрямок дії реакції  $N_2$  знайдемо аналогічно. Воно однаково із значенням (2.101), тобто.

$$\cos(\bar{N}_1, z_2) = \cos(\bar{N}_2, z_1). (2.102)$$

Отже, визначення реакцій маємо систему лінійних рівнянь

$$N_1 + \bar{N}_2 \cos(\bar{N}_2, z_1) = -G_{z_1} - F_{2,z_1} - P_{u,z_1}, N_1 \cos(\bar{N}_2, z_1) + \bar{N}_2 = -G_{z_2} - P_{u,z_2}. (2.103)$$

Ковзання коренеплоду в лотку, що моделює диски забірною пристрою, можливе не завжди. Воно не має місця, коли абсолютне значення сили, що зсуває коренеплід по осі лотка, не перевищує сили тертя. Зсувною силою є складова сили тяжіння, що діє у напрямку осі лотка. Таким чином, у нашому випадку ковзання не має місця при дотриманні умови

$$|mg \sin a| < N_2 f. \quad (2.104)$$

Ця умова перевіряється кожному кроці обчислень, у процесі руху можливі переходи з режиму ковзання до режиму защемлення коренеплоду і навпаки.

Положення коренеплоду у пристрої при ковзанні визначається його лінійними та кутовими характеристиками щодо системи координат  $xuz$ .

За відсутності ковзання має місце защемлення коренеплоду, тому центр мас коренеплоду має швидкість, що відповідає переносному руху разом із точкою контакту. Інтерес тут становить складова швидкості точки контакту у бік осі  $u$  системи координат  $xuz$ , т.к. координати центру мас  $u$  напрямках осей  $x$ ,  $z$  відповідно до раніше прийнятої домовленості визначаються з умови наявності контакту коренеплоду з обома площинами умовного лотка. Оскільки коренеплід затиснутий між робочими площинами, прийmemo його кутове положення незмінним. При цьому не враховується зміна кутового положення, пов'язана з обертанням дисків. Не має істотного значення, т.к. час перебування коренеплоду в умовному лотку досі контакту з бітером дуже мало. З урахуванням сказаного, збільшення координати центру мас за крок обчислення  $\Delta t$  в напрямку осі  $u$  системи координат  $xuz$  можна визначити наступним чином

$$\delta y_c = \dot{y}_{2,K_2П} \Delta t. \quad (2.105)$$

Значення  $\dot{y}_{2,K_2П}$  -складової швидкості переносного руху в точці контакту буряка з площиною лівого диска можна визначити за другою формулою (2.83).

Цікавим є визначення положення коренеплоду в системі координат  $x_G y_G z_G$ , осі якої орієнтовані щодо горизонту. Це дає можливість отримати наочніше уявлення про положення коренеплоду, ніж його положення щодо системи  $xuz$ , відоме після розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Координати центру мас  $u$  системі  $x_G y_G z_G$  можна знайти скориставшись послідовними перетвореннями координат за допомогою залежностей (2.24), (2.23) та (2.22).

Кутові положення осі симетрії коренеплоду щодо осей системи координат

$x_{\Gamma}y_{\Gamma}z_{\Gamma}$  можна знайти, скориставшись напрямними косинусами осі симетрії коренеплоду  $z'$  щодо осей системи координат  $x_{\Gamma}y_{\Gamma}z_{\Gamma}$  (2.49а), відомі, т.к. відомі значення  $\delta$  і  $\gamma$  після розв'язання системи диференціальних рівнянь. Скориставшись кутовими перетвореннями координат (2.24), (2.23), знайдемо напрямні косинуси осі симетрії коренеплоду щодо осей системи  $x_{\Gamma}y_{\Gamma}z_{\Gamma}$  оперуючи при перетвореннях координат напрямними косинусами осі симетрії замість координат. Кут  $\gamma_{\Gamma}$  може змінюватися від  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$  тому запишемо для нього функції синуса і косинуса:

$$\sin\gamma_{\Gamma} = \frac{\cos(z', x_{\Gamma})}{\sqrt{\cos^2(z', x_{\Gamma}) + \cos^2(z', y_{\Gamma})}}; \cos\gamma_{\Gamma} = \frac{\cos(z', y_{\Gamma})}{\sqrt{\cos^2(z', x_{\Gamma}) + \cos^2(z', y_{\Gamma})}}, \quad (2.106)$$

де  $\cos(z', x_{\Gamma})$ ,  $\cos(z', y_{\Gamma})$  -проекції одиничного вектора напрямку осі  $z'$  на осі  $x_{\Gamma}$ ,  $y_{\Gamma}$  системи координат  $x_{\Gamma}y_{\Gamma}z_{\Gamma}$ ;

$\gamma_{\Gamma}$  -кут між поздовжньо-вертикальною площиною та вертикальною площиною, що проходить через вісь симетрії коренеплоду.

Кут  $\delta_{\Gamma}$  змінюється в діапазоні  $\pm 90^{\circ}$  тому його можна знайти за формулою:

$$\delta_{\Gamma} = \arcsin[-\cos(z', z_{\Gamma})], \quad (2.107)$$

де  $\cos(z', z_{\Gamma})$  -проекція одиничного вектора напрямку осі  $z'$  на вісь  $z_{\Gamma}$  системи координат  $x_{\Gamma}y_{\Gamma}z_{\Gamma}$ ;

$\delta_{\Gamma}$  -кут між віссю симетрії коренеплоду та горизонтом.

## 2.7. Обчислення характеристик руху коренеплоду у викопно-забірному пристрої

Розглянемо спочатку властивості поведінки коренеплоду у пристрої. Для цього коренеплід встановимо на полі у найбільш сприятливе положення. Таким можна вважати вертикальне положення осі симетрії коренеплоду за відсутності поперечного усунення осі рядка. При цьому розглянемо розташування

коренеплоду на різній глибині. Вона визначається відстанню між точками  $H$  і  $C$  ( $HGC$ ) від центру мас коренеплоду до точки перетину осі його симетрії з горизонтальною площиною поверхні поля. При найбільш глибокому розташуванні коренеплоду середніх розмірів для сорту «Еккендорфська жовта» вказана відстань становить  $HGC=10$  мм (при цьому глибина розташування кінця коренеплоду становить 110мм); при найбільш дрібному розташуванні коренеплоду на глибині 50мм-  $HGC = 70$  мм. З'ясуємо поведінку коренеплоду за зміни вологості ґрунту шляхом зміни коефіцієнта тертя. За даними досліджень, наведених в 4, при роботі в нормальних умовах середнє значення коефіцієнта тертя  $f$  ( $FTR$ ) становить 0,5. Працюючи у вологих умовах коефіцієнт тертя знижується; приймемо при обчислення таких умов  $FTR = 0,2$ .

Розглянемо також поведінку коренеплоду за наявності та відсутності бітера для того, щоб оцінити його необхідність та наслідки, які можуть мати місце за його відсутності.

Для параметрів пристрою, при яких проводили експериментальні дослідження, отримані такі характеристики розташування площин дисків щодо системи координат  $x_G y_G z_G$ , пов'язаної з обрієм. Для площини правого диска забірною пристрою 1 слід її перерізу на горизонтальній площині  $x_G y_G$  має відхилення від напрямку руху машини  $\mu_1 = 12^\circ$ . Площина диска нахилена до вертикальної площини, що проходить через згаданий слід перерізу, на кут  $\lambda_1 = 19^\circ$ .

Площина, що проходить через вісь  $x_G$  і нормаль до поверхні диска, є тією, в якій розташовується точка, що має мінімальну відстань кромки диска поздовжньо-вертикальній площині. Кут  $\mu_{yz}$  (див. рис. 2.2), утворений цією площиною і поперечно-вертикальною площиною  $x_G z_G$ , визначений за формулою (2.12), становить кут, що обговорюється  $\mu_{yz,1} = 31,3^\circ$ . Кут  $\lambda_{yz}$  (найбільшого схилу до площини  $y_G z_G$ ), визначений за формулою (2.9), становить  $\lambda_{yz,1} = 22,3^\circ$

Для лівого диска 2, який здійснює функції викопування, так і передачі коренеплоду до очисного пристрою -  $\mu_2 = -9^0$ ,  $\lambda_2 = -17^0$ ,  $\mu_{yz,2} = 27,1^0$ ,  $\lambda_{yz,2} = 19,7^0$ . Для правого переднього диска 3 пристрою, що викопує  $\mu_3 = 11^0$ ,  $\lambda_3 = 4^0$ ,  $\mu_{yz,3} = 69,9^0$ ,  $\lambda_{yz,3} = 11,7^0$ .

Правий передній диск 3 та лівий диск 1 утворюють умовний лоток, що має такі характеристики. Кут  $\beta$  (див. рис. 2.3) між робочою площиною переднього правого диска та площиною, перпендикулярною до площини лотка, визначений за формулами (2.16), дорівнює  $\beta_3 = 84,6^0$ . Для лівої площини даного умовного лотка, яка є характеристикою лівого диска 2 відповідний кут становить

$\beta_2 = 66,6^0$ . Кут  $\alpha$  (див. рис. 2.3) між лінією перетину площин умовного лотка та горизонтальною площиною  $x_G y_G$ , визначений за формулою (2.18), становить  $\alpha = -42,6^0$ . Кут  $\zeta$  (див. рис. 2.3) між поздовжньо-вертикальною площиною  $y_G z_G$  та вертикальною площиною, що проходить через лінію перетину площин умовного лотка, визначеної за формулами (2.19), практично збігається з напрямком руху машини та становить  $\xi = 352,7^0$ .

Координати точки  $A$  початку системи координат  $xuz$ , пов'язаної з умовним лотком, визначаються за правилом (2.20) та після розв'язання системи рівнянь (2.21). Вони одержані рівними:  $x_{G,A} = 17,3$  мм,  $y_{G,A} = 0$ ,  $z_{G,A} = -248,9$  мм.

Для умовного лотка, утвореного лівим 2 та правим 1 дисками, відповідні кути та координати рівні:

$$\beta_1 = 68,1^0; \quad \beta_2 = 70,4^0; \quad \alpha = -29,3^0; \quad \xi = 359,2^0; \quad x_{G,A} = -7,1 \text{ мм}; \quad y_{G,A} = 0,0; \\ z_{G,A} = -170,1 \text{ мм}.$$

Результати обчислень характеристик руху з вивчення поведінки коренеплоду наведено у додатку  $B$  та на рис. 2.5.-2.10. За наявності бітера і найбільш глибокому розташуванні коренеплоду час його контакту з бітером (відповідає в даному випадку закінченню обчислень) становить  $T = 0,06$  с. При

цьому, як видно із рис. 2.5 коренеплід зміщується вгору і назад по ходу машини (координати центру мас коренплода щодо рухомої системи координат  $x_G, y_G, z_G$ , пов'язаної з горизонтом і рухається з машиною, в напрямках осей  $x_G, y_G, z_G$  відповідно позначені  $SKGC(1)$ ,  $SKGC(2)$ ,  $SKGC(3)$ ). Зміщення коренеплоду в поперечному напрямку прийнятих вихідних даних відсутня.

Відсутня також зміна кутових характеристик осі коренеплоду, тому що при прийнятому значенні коефіцієнта тертя рух його щодо робочих площин відсутня; коренеплід зафіксований дисками і рухається з тією швидкістю, яку повідомляє лівий диск, що обертається від зачеплення з ґрунтом.

Для найбільш дрібно розташованого коренеплоду контакт його з бітером настає практично миттєво, відразу після попадання коренеплоду в забірний пристрій.

При зменшенні коефіцієнта тертя (рис. 2.7) з'являється рух коренеплоду щодо робочих площин дисків. Значення початкової швидкості центру мас коренеплоду у бік осі умовного лотка можна визначити, скориставшись перетвореннями координат (2.23, а), (2.24, а). З урахуванням того, що центр мас коренеплоду щодо системи координат  $x_G, y_G, z_G$  має ненульові значення швидкості тільки в напрямку осі  $y_G$  ( $\dot{y}_G = -V_M$ ) початкове значення швидкості центру мас коренеплоду щодо системи координат  $x, y, z$ , що рухається разом з машиною, дорівнює:

$$\dot{y}_{c,0} = -K_{yM} \cdot V_M \cos \xi \cdot \cos a \quad (2.108)$$

У цій формулі введений коефіцієнт  $K_{yM}$  ( $AKUM$ ), що враховує можливу втрату швидкості центру мас коренеплоду щодо системи координат, що рухається разом з машиною внаслідок удару в момент початку взаємодії коренеплоду із забірним пристроєм. При проведенні обчислень прийнято, що при попаданні в забірний пристрій має місце пружний удар; коренеплід при цьому практично не втрачає швидкості, яку він має відносно машини, що рухається (прийнято  $AKUM = 0,95$ ). При проведенні обчислень з оцінки механіки поведінки коренеплоду в

забірному пристрої швидкість машини прийнята  $V_M = 5$  км/год. Значення кутів  $\xi$  ( *AKSI* ) та  $\alpha$  ( *ALFA* ) визначалися за формулами (2.19), (2.18) при заданих значеннях кутових параметрів дисків, описаних вище.

За наявності відносного руху кутове положення осі коренеплоду за наявності бітера змінюється незначно внаслідок часу малого перебування коренеплоду у пристрої та порівняно невеликих значень зміни кутових швидкостей положення осі симетрії коренеплоду (див. рис. 2.7). При прийнятих вихідних даних кутові швидкості повороту осі коренеплоду  $\dot{\delta}$  ( *DELTA* ) наприкінці часу перебування коренеплоду у пристрої та  $\dot{\gamma}$  ( *GAMAT* ) не перевищують 0,2 рад/с. Наявність ковзання коренеплоду щодо робочих площин дисків призводить до деякого збільшення часу перебування коренеплоду у пристрої.

Більш ґрунтовне уявлення про поведінку коренеплоду в забірному пристрої дають обчислення показників руху за відсутності бітера. Їхні результати поміщені в додатку *B* і показані на (рис. 2.7-2.10). За відсутності бітера за прийнятих вихідних даних обчислення закінчуються контактом коренеплоду з кромка лівого диска, що неприпустимо, т.к. при цьому має місце пошкодження коренеплоду у зв'язку з тим, що край лівого диска є гострою. Час перебування коренеплоду в забірному пристрої за відсутності бітера істотно збільшується, що може призвести до явища завантаження коренеплодів. Обидва вказані явища свідчать про те, що робота забірною пристрою без бітера неможлива.

При зменшенні значення коефіцієнта тертя та збільшеному часі перебування коренеплоду у пристрої можна простежити характер зміни швидкості ковзання коренеплоду у напрямку умовного лотка та координати центру його мас. На рис.2.9 видно, що є значення часу обчислень, у якому швидкість відносного ковзання змінює знак. Цьому ж моменту (див. рис. 2.8) відповідає ковзання коренеплоду у зворотному напрямку, яке є бажаним для переходу коренеплоду на очищувач. Це є ще одним із факторів, що свідчать про необхідність встановлення бітера.

За наявності ковзання змінюється кутове положення коренеплоду у пристрої. На рис. 2.10 показані графіки зміни кутів розташування осі симетрії коренеплоду щодо площини  $x_{\Gamma}y_{\Gamma}$  (значення  $DELTA_{\Gamma}$ ) та площини  $y_{\Gamma}z_{\Gamma}$  (значення  $GAMMA_{\Gamma}$ ) системи координат  $x_{\Gamma}y_{\Gamma}z_{\Gamma}$ . Абсолютні значення швидкостей зміни зазначених кутів збільшуються в процесі перебування коренеплоду кормових буряків у пристрої. До кінця цього процесу кутові швидкості за відсутності бітера досягали досить великих значень (для прийнятих вихідних значень даних до значень порядку 30 рад/с).

Отримані результати свідчать, що робота забірною пристрою без бітера неможлива. При роботі пристрою в умовах підвищеної вологості, коли зменшується коефіцієнт тертя, з'являється ковзання та поворот коренеплоду щодо робочих площин дисків забірною пристрою. При роботі в нормальних умовах коренеплід фіксується між площинами дисків та рухається зі швидкістю, яку отримує лівий диск від зачеплення із ґрунтом.

При оцінці результатів обчислень керуватимемося певною системою ознак, деякі з яких можна віднести до розряду критеріїв.

По-перше, слід оцінювати положення коренеплоду щодо кромки лівого та правого переднього диска, що викопує, при початковому контакті. При розташуванні точок поверхні коренеплоду поза контурів якогось із зазначених дисків має місце або пошкодження коренеплодів гострими крайками, або втрата коренеплодів. Відповідну умову записано як співвідношення (2.57). Аналогічно описаному, неприпустимим є контакт поверхні коренеплоду з кромкою правого диска коренезабірника при його початковому контакті таким чином, коли напрям осі коренеплоду є несприятливим. Відповідну умову записано як співвідношення (2.57).

Неприпустимим є також контакт кромки лівого диска з коренеплодом у процесі руху, т.к. у цьому випадку має місце ушкодження коренеплоду. Усунення випадків такого контакту відбувається за рахунок бітера, який передає коренеплід на очищувач до моменту можливого наступу такого контакту.

Констатуватимемо також те, з якою частиною диска - коренезабірника має місце контакт з коренеплодом - з кромкою або площиною цього диска. Слід зазначити, що контакт коренеплоду з кромкою правого диска у процесі руху є неприпустимим, т.к. кромка правого диска- коренезабірника утворюється закругленнями загнутих кінців прутків коренезабірника . Разом з тим, випадки такого контакту видаються менш бажаними, ніж випадки контакту коренеплоду з площиною правого диска, тому число випадків контакту коренеплоду з кромкою правого диска бажано мати порівняно невеликим. Очевидно, що при зазначеному випадку контакту напруги, що діють на поверхню коренеплоду, буде збільшено. Слід також оцінювати можливість звантаження викопно -забірним пристроєм маси коренеплодів, що надходять до нього. Для запобігання цього явища бажаним є такий спосіб роботи пристрою, коли в просторі між дисками до початку впливу на коренеплід лопаток бітера знаходиться тільки один коренеплід. Для виконання цієї вимоги час перебування коренеплоду у пристрої не повинен перевищувати часу між надходженнями до нього коренеплодів. Цей час можна визначити за такою очевидною залежністю

$$t_{PP} = \frac{l}{V_M z}, \quad (2.109)$$

де  $V_M$  -швидкість експериментальної машини;

$z$  – кількість коренеплодів кормових буряків на одиниці довжини рядка.

Якщо прийняти максимально можливі значення  $z = 5-6 \text{ м}^{-1}$  і швидкість машини в діапазоні  $V_M = 5-7 \text{ км/год}$ , то граничне значення часу перебування коренеплоду до початку впливу на нього бітера складе близько 0,1с.

Слід оцінювати значення кута (  $UTKB$  ) між вертикаллю і напрямом площини, що проходить через вісь обертання бітера і точку контакту поверхні коренеплоду з колом, яку описують кінці лопаток бітера при їх обертанні. Цей кут повинен перебувати у певному діапазоні, інакше умови передачі коренеплоду на очищувач погіршаться через невдалий напрямок дії лопаток на коренеплід. До врахованих характеристик включимо також координати центру мас коренеплоду

в момент контакту з бітером 2 або закінчення обчислень. Кутове положення коренеплоду в момент закінчення обчислень не включено до облікових результатів розрахунку, т.к. його кутові характеристики в процесі перебування у пристрої практично не відрізняються від вихідних. Початкове положення коренеплоду визначається низкою параметрів (див. рис. 2.4): поперечне зміщення центру перерізу коренеплоду на рівні ґрунту  $x_g, h_g$  ( $XGHG$ ). Глибина розміщення коренеплоду, яка визначається відстанню  $H_g C$  ( $HGC$ ) між центром мас коренеплоду та точкою перетину осі його симетрії з рівнем ґрунту;  $AKSIK$  ( $\psi_K$ ) - кут прецесії розміщення коренеплоду;  $ANUK$  ( $\nu_K$ ) - кут нутації розміщення коренеплоду (кут відхилення осі його симетрії від вертикалі);  $DMAX$  ( $d_{max}$ ) - максимальна товщина коренеплоду; сорт коренеплоду який при обчисленнях задається міткою  $MVP$ ; коефіцієнт тертя коренеплоду при його взаємодії з викопно-забірним пристроєм  $f$  ( $FTR$ ).

Кожен із параметрів при обчисленнях можна змінювати на кількох рівнях, тому проведення обчислень за всіх можливих комбінаціях параметрів практично неможливо. Прийmemo інший план проведення обчислень, досліджуючи по черзі вплив різних характеристик з урахуванням включення до плану обчислень найбільш несприятливих ситуацій розміщення коренеплодів щодо викопно-забірною пристрою.

Вихідні дані та отримані результати, що відображають систему зазначених вище ознак, вміщені в табл. 2.1.

Дані, поміщені в рядках 1-4 таблиці, відносяться до дослідження впливу кута прецесії для практично вертикально розташованого коренеплоду ( $ANUK = 50$ ), відсутності відхилення коренеплоду від осі рядка ( $XGHG = 0$ ) і найбільш глибоко розміщеного коренеплоду  $HGC = 10$ мм. Сорт коренеплоду "Еккендорфська жовта", значення товщини середнє - 90мм; коефіцієнт тертя прийmemo за даними досліджень, наведеними у розділі 4 (для нормальних умов збирання -  $FTR = 0,5$ ). Вочевидь, що кут прецесії розташування коренеплоду

розподілено за законом рівномірної щільності ймовірностей в діапазоні  $0-360^{\circ}$ , тобто. розташування коренеплоду щодо його прецесії є рівноймовірним. Прийmemo значення кута прецесії на 4-х рівнях, наближених до меж квадрантів. Значення, відповідні точним кордонів квадрантів, небажані, т.к. рівняння руху описують просторові взаємодія, яке може мати місця при розташуванні кутів на межах квадрантів. Як бачимо, всім розглянутих варіантів результат взаємодії коренеплоду з пристроєм є сприятливим, т.к. час його контакту з бітером вбирається у зазначеного вище граничного значення. Зазначимо, що у більшості випадків має місце контакт коренеплоду з площиною правого диска, контакт з його крайкою має місце при нахилі коренеплоду вліво ( $AKSIK = 175^{\circ}$ ).

Дані, поміщені в рядках 5-8, відносяться до дослідження впливу кутів нутації при решті всіх вихідних даних, поміщених у рядку 1. При значних кутах нахилу коренеплоду, що перевищують  $25^{\circ}$ , коренеплід знаходиться за межами робочої зони пристрою.

У рядку 12 таблиці наведено дані, що ілюструють те, що при нахилі коренеплоду вперед результат взаємодії коренеплоду з пристроєм є сприятливим навіть за надзвичайно великих значень кута нахилу коренеплоду.

При нахилі коренеплоду вліво ( $AKSIK = 175^{\circ}$ , рядки таблиці 13-19) результати аналогічні тим, що мали місце при нахилі коренеплоду вправо, крім появи випадків взаємодії коренеплоду з кромкою правого диска.

Так само як при нахилі коренеплоду вперед (рядок 12), нахил коренеплоду назад (позиція рядка 20) призводить до сприятливого результату взаємодії, навіть при великих кутах нахилу коренеплоду.

Далі проводилися обчислення з метою дослідження впливу поперечного усунення коренеплоду від осі рядка. Як видно з даних, наведених у п.п. 21-29, сприятливий результат взаємодії має місце у разі відхилення коренеплоду від осі рядка, яке не перевищує 25 мм. В іншому випадку мають місце випадки як розташування коренеплоду за межами робочої зони пристрою (п. 21,22,26), так і випадки втрат коренеплодів через несприятливий початковий контакт його з

краєм правого диска коренезабірника .

При нахилах коренеплоду вперед, вліво і назад ( п.п. 30-41) результати взаємодії його з пристроєм є аналогічними тим, що мають місце при нахилі коренеплоду вправо ( п.п. 21-29).

При спільній дії факторів нахилу коренеплоду та зміщення його щодо осі рядка результат взаємодії коренеплоду з пристроєм при поперечних зсувах понад 25мм та кутах нахилу понад  $150^{\circ}$  є сприятливим. Тут слід зазначити, що ймовірність виконання спільної дії обох факторів дорівнює добутку ймовірностей знаходження значень у заданих інтервалах. За даними вимірювань, вміщених в гл.4 (див. табл.4.2.), ймовірність попадання поперечного зміщення в область значень понад 25мм становить приблизно 0,5, так само як і ймовірність того, що кут нахилу коренеплоду перевищує  $15^{\circ}$ . Несприятливі фактори, що перешкоджають попаданню коренеплоду у викопно-забірний пристрій, пов'язане також із глибиною залягання коренеплодів та кутом прецесії їхнього розташування на полі. Імовірність знаходження зазначених величин у несприятливих діапазонах також становить близько 0,5. Якщо врахувати ймовірність поєднання всіх факторів, то добуток ймовірностей попадання їх у несприятливі діапазони становитиме малу величину.

При попаданні в пристрій коренеплодів мінімальних та максимальних розмірів (п.п.58, 59) результат взаємодії їх з викопно-забірним пристроєм несприятливий. Для коренеплодів мінімального розміру неприпустимо збільшується час перебування у пристрої, для коренеплодів максимального розміру – має місце втрата коренеплодів через несприятливий початковий контакт його з кромкою диска коренезабірника. Це свідчить про необхідність зміни параметрів викопно -забірного пристрою для коренеплодів екстремальних розмірів.

При зміні сорту коренеплодів (п.п.60, 61) і швидкості машини діапазоні 3,6-7,2км/час (п.п.62, 63) результат взаємодії відрізняється від даних для середнього значення швидкості руху машини, тобто. є сприятливим.

Результати обчислень характеристик руху коренеплоду при зміні його початкового положення дозволяють зробити висновок про сприятливий результат взаємодії коренеплодів з викопно -забірним пристроєм для всіх сортів коренеплодів у всьому діапазоні швидкостей машини при поперечних відхиленнях розташування коренеплодів від осі рядка, що не перевищують 25мм, і кутах  $15-25^{\circ}$ . Дані таблиці 2.1 дозволяють констатувати, що у випадках сприятливого результату взаємодії коренеплодів з пристроєм діапазон зміни координат центру мас коренеплоду в момент торкання з бітером рухомий системі координат  $x_G, y_G, z_G$ , пов'язаної з горизонтом, наступний:  $SKGC (1) = (-20) - 13\text{мм}$ ;  $SKGC (2) = (-147) - 118\text{мм}$ ;  $SKGC (3) = 31 - 75\text{мм}$ .

Середні значення, відповідні наведеним діапазонам координат в напрямках осей  $x_G, y_G$ , близькі до нуля, тобто. в момент контакту коренеплоду з бітером коренеплід в середньому розташовується симетрично по відношенню до осі рядка і в зоні розташування поперечно-вертикальній площині, що проходить через центри лівого диска. Середнє значення координати розташування центру мас у бік вертикальної осі становить  $SKGC (3) = 50\text{мм}$ , тобто. підйом коренеплоду у пристрої до моменту початку контакту коренеплоду з бітером незначний. Тобто. можна вважати, що підйом коренеплоду в паркану практично відсутній.

Як впливає із даних табл. 2.1, при випадках сприятливої взаємодії коренеплоду з пристроєм діапазон змін кута  $UTKB$  розташування точки контакту коренеплоду з кінцем лопатки бітера близький до нуля (діапазон зміни цієї характеристики становить, як видно з даних обчислень  $(-15^{\circ}) - 15^{\circ}$ ). Знайдене значення кута визначає сприятливу зону розташування точки контакту

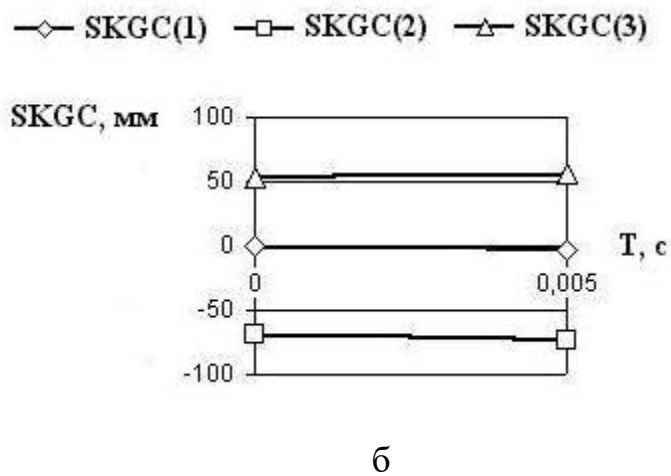
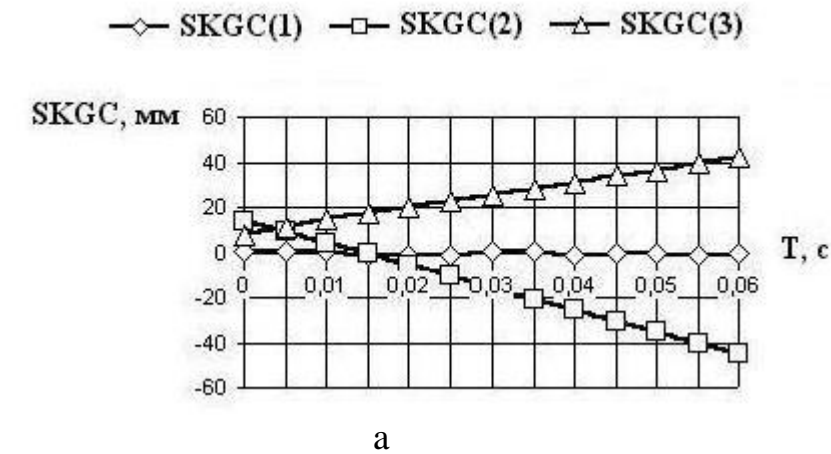
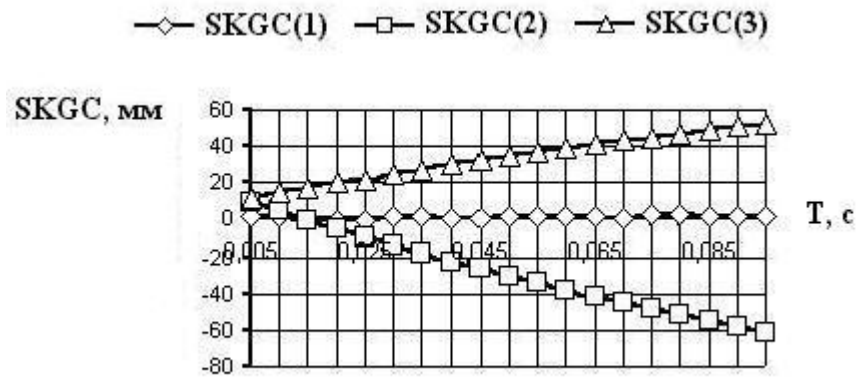


Рисунок 2.5 - Зміна координат центра мас коренеплода при наявності бітера

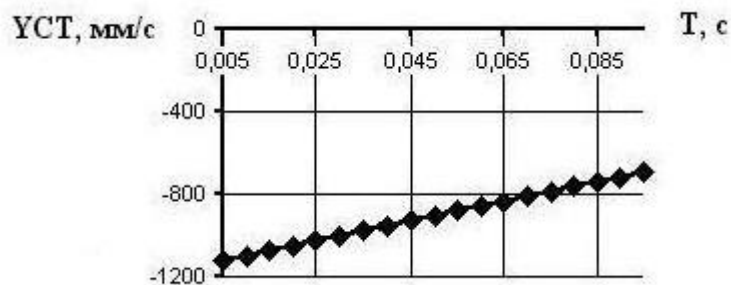
FTR=0,5:

а – HGC=10,0мм; б – HGC=70,0мм

коренеплоду із бітером, т.к. експериментальні дослідження, проведені при параметрах викопно-забірною пристрою, відповідали прийнятим під час проведення обчислень. Як свідчать ці дані, під час передачі бітером коренеплодів на очисний пристрій мало відзначалося випадків втрат коренеплодів, викликаних дією бітера.



a

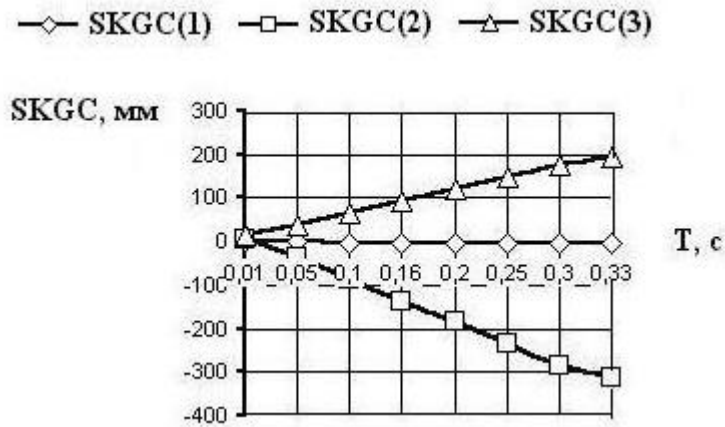


б

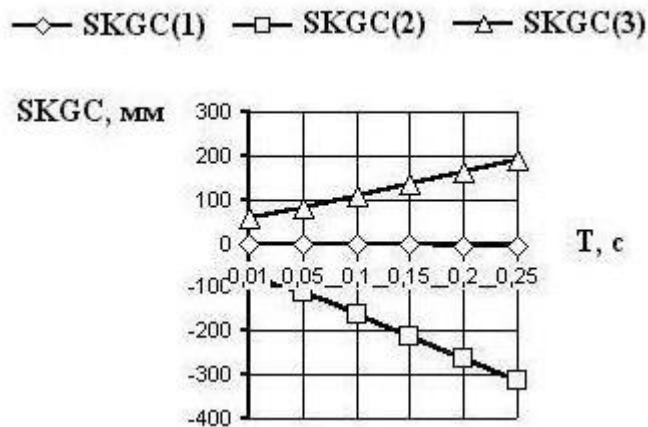
Рисунок 2.6 – Зміна характеристик руху коренеплода при наявності бітера,  
 $FTR=0,2$ ,  $HGC=10,0$ мм:

Перевіримо вплив зміни параметрів бітера на розташування точки контакту з коренеплодом. Найбільший інтерес представляє вимір впливу усунення машини, т.к. при виборі відповідної координати необхідно уникнути двох несприятливих ситуацій. З одного боку, у момент початкового контакту буряків з бітером необхідно мати досить високу ймовірність втрати зв'язку буряків із ґрунтом для того, щоб дія бітера була ефективною. Можливість такої небезпеки необхідно враховувати особливо для коренеплодів, що мають більшу глибину розміщення. Для таких коренеплодів гарантією втрати зв'язку із ґрунтом є наявність контакту з обома дисками забірної пристрою. Ознакою такої ситуації

є перевищення значення нуля для часу контакту буряків з бітером. Для дрібнопосаджених коренеплодів виконання такої умови є обов'язковим, т.к. для таких коренеплодів порушення зв'язку з ґрунтом відбувається набагато легше дією пристрою, що викопує.



а



б

Рисунок 2.7 – Зміна координат центра мас коренеплода при відсутності бітера і

FTR=0,5:

а – HGC=10мм; б – HGC=70мм

Іншою небезпекою є збільшений час перебування коренеплоду у пристрої до настання моменту контакту, через що можлива поява ситуації звантажування коренеплодів у викопному паркану.

Для прийнятого значення координати осі обертання бітера у напрямку осі у  $r_{PB} (2) = -115\text{мм}$ . Значення кута  $UTKB$ , що визначає положення точки контакту, як видно з таблиці 2.2, для глибоко розташованого ( $HGC = 10\text{мм}$ ) коренеплоду дорівнює  $14,60^\circ$  (п.1). При цьому час перебування буряків у забірному пристрої до моменту його контакту з бітером становить  $T_B = 0,060\text{с}$ . Це трохи більше половини граничного значення часу перебування коренеплоду в пристрої, тобто допускається. має місце надійний контакт коренеплоду із забірним пристроєм глибоко розташованого коренеплоду. З іншого боку, отримане значення  $T$  ще досить далеко розташоване від граничного значення ( $T_B = 0,1\text{с}$ ), тобто небезпека звантажування коренеплодів у викопно -забірному пристрої відсутня. При зменшенні значення  $PB (2)$ , як видно (див. табл.2.2) і рис. 2.11, збільшується небезпека звантажування буряків; зі збільшенням значення  $PB (2)$  — збільшується небезпека збереження зв'язку глибоко розташованих коренеплодів із ґрунтом.

Для дрібно розташованих коренеплодів ( $HGC = 70\text{мм}$ ) небезпека збереження зв'язку з ґрунтом невелика, тому явище дотику бітера, що має в цьому випадку, в момент попадання буряків у забірний пристрій не призведе до істотного зменшення ефективності впливу бітера на коренеплід. Для глибоко розташованих коренеплодів має місце тенденція зменшення кута  $UTKB$  при зміщенні осі обертання бітера вперед у напрямку руху машини, хоча, в цілому, для глибоко розташованих коренеплодів значення  $UTKB$  трохи менше, особливо в області значень  $PB (2)$ , і сприятливі для коренеплодів, розташованих як глибоко так і дрібно. Тому значення  $PB (2) = -115\text{мм}$ , прийняте при створенні викопно -забірною пристрою, можна вважати доцільним.

Значення поздовжньої координати розташування осі обертання бітера від поперечно-вертикальної площини, що проходить через центр обертання лівого диска пристрою, становить  $115\text{мм}$ . При відхиленні цього значення у бік збільшення зростає небезпека збереження зв'язку з ґрунтом у момент початку дії бітера глибоко розташованих коренеплодів. При зменшенні зазначеної

координати - збільшується небезпека звантажування коренеплодів, що надходять у викопно-забірний пристрій у процесі роботи машини.

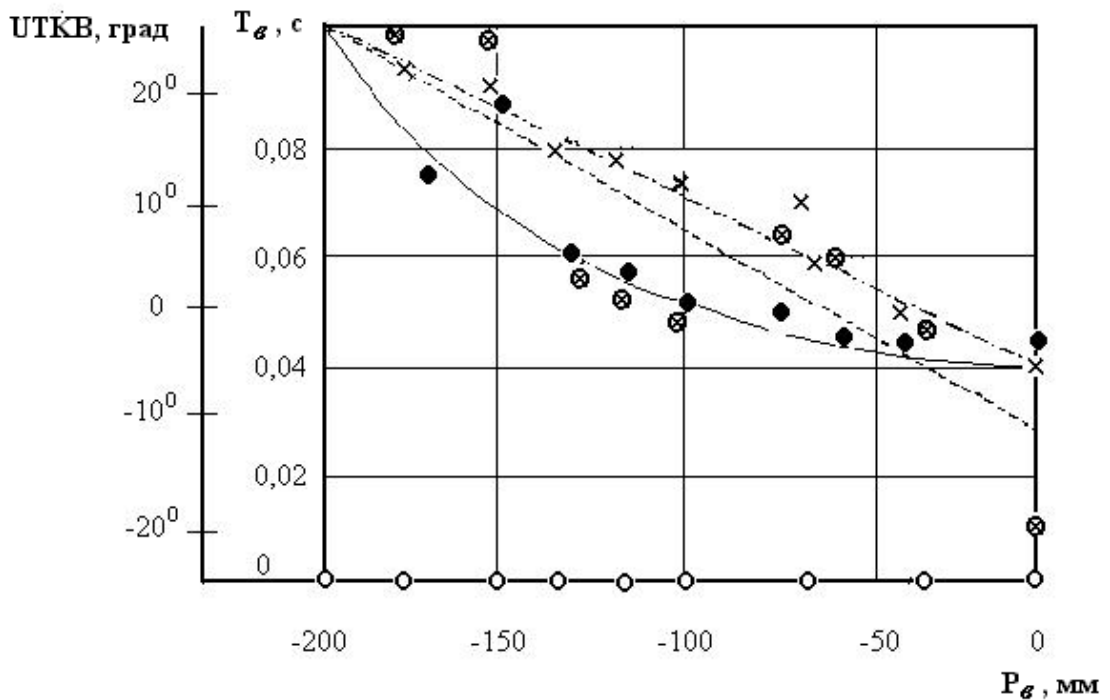


Рисунок 2.8 - Характеристики руху коренеплоду при зміні координат вісі обертання

Обчислення характеристик руху з вивчення впливу параметрів розташування коренезабірника при різних комбінаціях рівнів кута атаки ( $9^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $15^\circ$ ), кута найбільшого ската робочої площини до горизонту ( $10^\circ$ ,  $13^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $22^\circ$ ), розташування центру диска (70, 90, 110, 130, 150мм). свідчать про доцільність прийняття відповідно до таких рівнів параметрів:  $12^\circ$ ;  $16^\circ$ - $19^\circ$ ; 110мм.

## Висновки

1. Розроблено математичну модель просторового руху коренеплоду у викопно-забірному пристрої, що дозволяє оцінювати можливість попадання коренеплоду в робочу зону пристрою, стан наявності сприятливого контакту із забірним та основним дисками пристрою, умови пошкодження та втрати

коренеплодів, а також умови контакту з бітером рух машини та зміну параметрів розміщення коренеплодів на полі щодо рядка, їх глибини, коефіцієнта тертя, сорту, розмірів та параметрів пристрою.

2. З використанням математичної моделі та результатів вивчення механіко-технологічних характеристик коренеплодів отримано результати, що стосуються механіки поведінки коренеплоду у пристрої, характеристик руху коренеплоду при зміні параметрів його положення на полі. Доцільними є такі параметри розташування координат осі обертання бітера та забірної диска:

- при роботі в нормальних умовах коренеплід фіксується між дисками та рухається зі швидкістю, яку отримує лівий (підкопуючий) диск від зачеплення з ґрунтом, при роботі в умовах підвищеної вологості, коли зменшується коефіцієнт тертя;

- сприятливий результат взаємодії коренеплоду з викопно -забірним пристроєм в необхідному діапазоні глибини розташування коренеплодів, їх сортів і швидкостей руху машини має місце при поперечних відхиленнях розташування коренеплодів від осі рядка , що не перевищує 25мм, і кутах нахилу коренеплодів до <sup>5</sup> діапазон кутів розташування точок контакту коренеплоду з траєкторією кінця лопаток бітера становить  $\pm 15^{\circ}$ ;

- доцільне значення поздовжньої координати розташування осі обертання бітера від центру основного (лівого) диска становить (-115мм), при збільшенні цього значення для глибоко розташованих коренеплодів зростає небезпека збереження зв'язку з ґрунтом в момент початку впливу бітера, при зменшенні зазначеного значення збільшується небезпека звантаження коренеплодів, що надходять у пристрій;

- вивчення впливу параметрів розташування забірної диска при різних комбінаціях рівнів кута атаки ( $9^{\circ}$ ,  $12^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ) , кута найбільшого ската робочої площини диска до горизонту ( $10^{\circ}$ ,  $13^{\circ}$ ,  $16^{\circ}$ ,  $19^{\circ}$  , 2 центру диска (70, 90, 110, 130, 150мм ) свідчить про доцільність прийняття наступних рівнів зазначених параметрів відповідно : 120,16-190,110мм .

### **3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРНЕПЛОДІВ**

Використання результатів теорії визначило ряд завдань, які зумовлюють уточнення агротехнологічних характеристик коренеплодів, що забираються, і визначення на кількісному рівні відповідність агротехнічним вимогам робочих органів трирядного експериментального бурякозбирального комбайна. Відповідно до цілей поставлених завдань було запропоновано програму та методику лабораторно-польових досліджень.

#### **3.1 Програма визначення механіко-технологічних характеристик коренеплодів**

Механіко-технологічні характеристики кормових буряків, враховуючи сортові особливості, можна поділити на три умовні групи, що визначають напрямки програмних досліджень.

До першої групи віднесено параметри, що дозволяють як приблизно, так і докладно геометрично охарактеризувати коренеплоди. Числові значення діаметра,  $D_{max}$ , довжини коренеплоду,  $L_{\partial\partial}$  і коефіцієнта індексу форми,  $K_{if}$ , дозволяють наближену (часткову) характеристику. Для детальної геометричної характеристики, крім розмірів, необхідне визначення форм, що описуються кривими профілів коренеплодів як тіл обертання.

Другу групу визначених вихідних даних математичної моделі становлять масові та інерційні характеристики коренеплодів кормових буряків. До них відносяться: маса-  $m_{\partial\partial}$ , об'єм-  $V_{\partial\partial}$  і щільність  $\rho_{\partial\partial}$  коренеплодів, моменти інерції -  $J_z, J_x$  і координати центру тяжкості -  $z_{ц.т.}$

Досліджувані дані, що належать до третьої групи і характеризують розміщення масиву коренеплодів на полі, описуються умовною просторовою фігурою - "конусом зростання":

- підвищення коренеплодів над поверхнею поля,  $h_6$ ;
- глибина залягання коренеплодів,  $h_3$ ;
- відхилення верхньої точки центру головки коренеплоду від поздовжньо-вертикальної площини рядка,  $z$ ;
- кут прецесії (квадрантна характеристика горизонтальної проекції поздовжньої осі коренеплоду),  $\psi'$ ;
- кут нутації (нахил поздовжньої осі коренеплоду від вертикалі),  $\nu$ ;
- відстань між центрами перерізів коренеплодів на рівні ґрунту вздовж поздовжньої осі рядка,  $b_1$ ;
- відхилення центру перерізу коренеплоду буряків на рівні ґрунту від поздовжньої осі рядка,  $e$ .

Виходячи з вищесказаного, для механіко-технологічних характеристик коренеплодів кормових буряків визначилася наступна узагальнена програма робіт:

- аналіз та визначення геометричних характеристик коренеплодів;
- визначення масових та інерційних характеристик кормових буряків;
- аналіз та визначення характеристик розміщення коренеплодів на полі.

Практичне використання математичної моделі розробки робочих органів комбайна передбачало включення у вихідні дані моделі геометричні характеристики найпоширеніших і високоврожайних сортів кормових буряків. В силу ґрунтово-кліматичних умов та культури технології вирощування на території України найбільшого поширення набули сорти “Еккендорфська жовта” та ” Еккендорфська червона” ( сортотип “ Еккендорфська жовта”) з урожайністю,/ сортотип “ Баррес ” з врожайністю  $\approx 800$ ц/га та сорт “Львівська жовта” – 900ц/га, виведений у Науково-дослідному інституті землеробства та тваринництва західних районів України при густоті насаджень рослин 60-75тис/га. В роботі визначалися характеристики сортів коренеплодів кормових буряків “ Еккендорфський жовтий” та “Переможець”, як одних із характерних сортів для Харківської області.

Завданню досліджень параметрів передувала необхідність вибору кількості вимірів, достатньої достовірності отриманих результатів. З матеріалів простежується тенденція поділу параметрів коренеплодів кормових буряків на дві основні групи за значеннями коефіцієнта  $\gamma$  варіації, перша –  $\gamma \leq 50\%$  і друга, для якої  $\gamma \geq 50\%$ . До другої групи з досліджуваних нами параметрів можна віднести:  $e$  – відхилення центру перерізу коренеплоду на рівні ґрунту,  $v$  – кута нутації,  $\psi$  – кута прецесії, а також  $z$  – відхилення центру головки коренеплоду від поздовжньо-вертикальної площини.

Однак враховуючи, що  $z$  у параметричному вигляді представлений залежністю  $z = f(v, \psi, h_e, e)$ , можна зробити висновок про підпорядкованість його числових значень, і тому обсяг вибірки  $z$ , характеризує відхилення центру головки коренеплоду, приймаємо таким, як і параметрів 1-ї групи.

Кількість вибірки за Дж Снедекор при 5% рівні значимості можна визначити з виразу  $n = (S_D t_{0,05})^2 / \delta^2$ , задаючи мінімальні суттєві значення діапазону ( $\delta$ ) розмаху передбачуваної вибірки, прийняті як значення вибіркового ( $S_D$ ) стандартного відхилення при  $t_{0,05} = 1,982$ , орієнтованого на число ( $n$ ) спостережень порядку 100. Значення ( $\delta$ ) і вибіркового стандартного відхилення ( $S_D$ ) приймаються з досліджень, проведених нами раніше, та з урахуванням аналізу характеристик фону. При цьому враховувався коефіцієнт ( $\gamma$ ) варіації ознак, які умовно були розбиті на дві групи виразом  $50\% \geq \gamma \geq 50\%$ , з яких були взяті за однією характерною ознакою для сорту "Переможець".

Для першої групи прийнята маса  $m_{\text{до}}$  з орієнтовними значеннями  $\delta \approx 0,2$ кг та  $S_D \approx 0,82$ кг, а для другої групи ( $\gamma \geq 50\%$ ) взята характеристика відхилення ( $e$ ) центру перерізу коренеплоду на рівні ґрунту від поздовжньої осі рядка зі значеннями  $\delta \approx 0,05$ м і  $S_D \approx 0,023$ м. Приблизна розрахункова чисельність ( $n$ ) спостережень склали для  $m_{\text{до}} - n_{m_{\text{до}}} \approx 66$ , а для  $e - n_e \approx 83$ .

Для отримання ряду значень параметрів досліджуваних сортів коренеплодів "Еккендорфська жовта" та "Переможець" поля умовно розбивалися чотирма осями симетрії 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, що є двома діагоналями і

двома середніми точками S з двома середніми лініями поля .

На кожній з восьми півосей точками А, В, С, D позначено перетин поздовжніх осей рядків з осями симетрії, визначалася область, в якій вибиралися три рядки довжиною по 10 метрів.

На кожній рядку відраховувався 27-й коренеплід (цифра отримана методом випадкових чисел з діапазону 20-40, характерного для розкиду кількості штук буряків на 10м довжини рядка), що вважається базовим, який обмірювався спільно з спереду та ззаду розташованими коренеплодами.

Схема вибору (рис.3.1.) точки відліку області, яка визначається перетином умовної півосі з рядком, ґрунтувалася на використанні випадкового числа 27, яке множилося на порядковий номер осі, на якій вибиралася область обміру. Для кожної півосі визначення числа рядків  $n_p$  відлічуваних від умовного центру поля S здійснювалося за формулою  $n_p = m \cdot до_{про}$ , у якій -  $m = 27$ , а  $до_{про} = 1,2,3,4$  - порядкові номери осей.

Точка А розташована в 27 кроках (вісь 1-1 - поздовжня) від центру S , а кількість рядків, що відраховуються від умовного центру до точок , З , і D , склало 54, 81 і 108 рядків відповідно.

Всього для вимірів було вибрано 72 коренеплоди, по 3 з кожної з 3-х рядків у кожній з 8 областей.

Можливість побудови емпіричних кривих, що характеризують контури коренеплодів кормових буряків вибраних сортів, забезпечувалося набором з 8-ми окреслених на папері контурів розрізаних уздовж поздовжньої осі коренеплодів. Коренеплоди вибиралися по одному з кожної області та відповідали усередненим значенням діаметра  $d_{max}$  та довжини  $l_m$  коренеплоду для даної галузі.

При аналізі механіки руху коренеплоду, що взаємодіє з робочими органами, що викопують , точками, розташованими на його контурі, необхідно розташовувати математичним виразом кривої, що описує цей контур. При цьому передбачається, що контур коренеплоду симетричний у площині перерізу, що проходить через поздовжню вісь коренеплоду. Система координат  $z'_n O y'_n$  коренеплоду відповідає

позначенню математичної моделі.

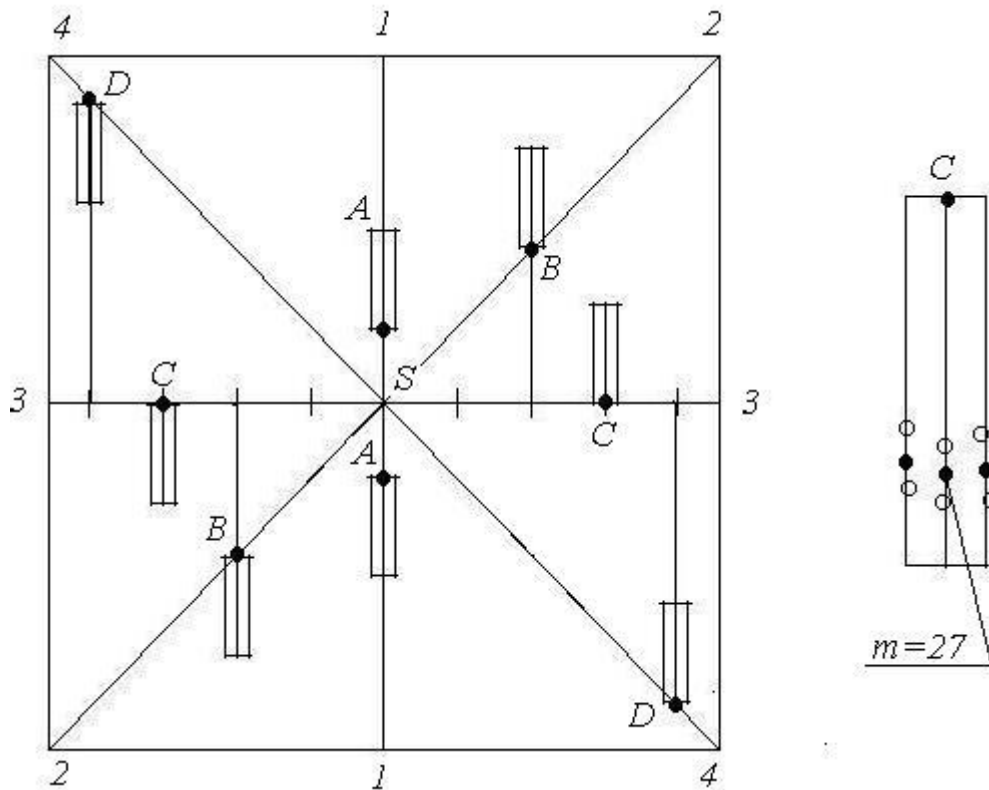


Рисунок 3.1 - Схема розташування 3-х рядкових областей на осях поля:  
 а-точки А, В, С, D відліку областей, б - положення опорного коренеплоду  
 на рядку області 3 середньої лінії 3-3

При підборі полінома кривої контуру  $y'_{n3} = F(z'_n, a, b, c, d)$  використовувався відомий спосіб найменших квадратів [67, 83] нев'язок  $\mu$  ординат контуру досвідченого  $y'_{no}$  коренеплоду і ординат емпіричної  $y'$

$$\mu = \int_0^L (y'_{no} - y'_{n3})^2 dz'_n \longrightarrow \mu_{min}, \quad (3.1)$$

де L – довжина коренеплоду;

$dz'_n$  - збільшення довжини коренеплоду щодо осі  $Oz'$ .

Методика визначення функціональних залежностей кривих контурів

розглянутих сортів “Еккендорфська жовта” та “Переможець” наведено у додатку В.

У ряді об'ємно-масових характеристик, що входять до математичної моделі, знаходиться маса  $m_{до}$  коренеплодів, яка в нашому випадку визначалася як прямим зважуванням, так і за допомогою емпіричного виразу.

При прямому зважуванні маса очищеного від землі та бадилля коренеплоду кормового буряка визначалася на терезах ВНЦ-10 з ціною розподілу шкали 5г та набором гирь КГ-5-5-0,5 ГОСТ 7328 73.

З метою отримання даних про масу коренеплодів при його довільних розмірах, що необхідно при теоретичних дослідженнях, було виконано визначення маси з використанням даних апроксимації профілю та функції  $j = \Phi(\kappa)$  “одиничного коренеплоду” з виразу:

$$m_{\kappa} = \frac{V_{\varepsilon}}{\rho} = \frac{\pi \cdot \bar{d}_{max} \int_0^l (j)^2 dz'_n}{\rho}, \quad (3.2)$$

де  $V_{\varepsilon}$  -обсяг коренеплоду, отриманий за допомогою емпіричної залежності за умови, що поверхня коренеплоду поверхня тіла обертання;

$\rho$  -щільність коренеплоду;

$d'_{max}$  -середній максимальний діаметр кола, довжина  $l_{окр}$ , Якою замірялася в місці максимальної товщини коренеплоду;

$j = \Phi(\kappa)$  -функція описаного контуру “одиничного коренеплоду”;

$l$  -довжина коренеплоду.

Один з існуючих способів визначення обсягів коренеплодів методом виміру витісненої рідини досить трудомісткий, а метод розрахунку обсягу коренеплоду за допомогою вписаних або описаних простих фігур досить умовний. Похибка у своїй може перевищувати 5% рівень значимості.

Надається доцільним використання виразів емпіричних кривих для отримання необхідних параметрів з їх подальшою перевіркою існуючими способами.

Визначення обсягу здійснювалося за допомогою розрахункової схеми та

приладу, зображених на рис.3.2 а, б. Прилад є двоплечими вагами, підвішеними на штативі і заміряють плавучість коренеплоду, зануреного в посудину з водою, з точністю до 0,5г. Фіксований міткою ( $У$ ) рівень води після вилучення коренеплоду відновлювався з мірної лабораторної склянки з ціною розподілу 20 мл.

Оцінка координати центру тяжкості  $z'_{п.ц.м} = H_0 C = \frac{m_0 \cdot l_{\kappa}}{m_{\kappa}}$  коренеплоду

масою  $m_0$  та довгою  $l_{\kappa}$  здійснювалася приладом, представленим на малюнку 3.3. В основі виміру характеристик використовувався принцип рівності моментів щодо точки підвісу для маси  $m_0$  в опорній точці.

Кількість замірюваних коренеплодів кормових буряків сорту "Переможець" становила 10шт. Ваги для визначення значення маси  $m_0$  забезпечували точність  $\pm 10$ г. Для виміру величини  $l_{\kappa}$  одночасно з довжиною коренеплоду, що визначає відстань між точками підвісу і опорною точкою, використовувалася лінійка 300мм за ГОСТ 17435-72 з похибкою вимірювання -  $\pm 1$ мм.

Характеристики координат центрів тяжкості, отримані досвідченим та емпіричним шляхами, зіставлялися з визначенням похибки за критерієм 5% рівня значущості.

Значення моментів інерції коренеплодів визначалися з використанням як бі-, так і трифілярного, з ложементом, підвісів (рис. 3.4, 3.5). Використання останнього спрощує процес підготовки до досліджень, а також унеможливорює неминучі похибки процесу закріплення коренеплодів, що призводить до різних довжин ниток підвіски та їх непаралельності, а також відмінності відстаней від вузлів кріплення коренеплоду до центру мас. Використання різних приладів передбачає порівняльний аналіз значень  $I_z$  та  $I_y$  моментів інерції щодо поздовжньої осі коренеплоду  $z'$  та перпендикулярної осі  $y'$  у прийнятій системі  $x'y'z'$  для математичної моделі розділу 2.

Виміри проводилися з 5-кратною повторністю для всіх коренеплодів. За

потреби задана точність досвіду на 5% рівні передбачала збільшення кількості вимірів. Визначення значень як моментів інерції  $I_z, I_y$ , так і радіусів інерції  $r_u$  передбачає використання виразу для біфілярного підвісу:

$$I = m_{\kappa} r_u^2 = \frac{T^2 m_{\kappa} g e_1 e_2}{16\pi^2 [l^2 - (e_1 - e_2)^2]^{0.5}}, \quad (3.3)$$

де  $T$  - період коливань ;

$m_{\text{до}g}$  - вага досліджуваного коренеплоду;

$e_1$  і  $e_2$  - відстані між верхніми та нижніми точками кріплень;

$l$  – довжина нитки підвіски.

Результати обмірів мультифілярним підвісом (у нашому випадку трифілярним підвісом з ложементом) використовувалися у формулі визначення моментів інерції для багатониткових підвісок:

$$I = \frac{T^2}{4\pi^2} \left( \frac{m_{\kappa} g}{l_y} a^2 + n \frac{GI_p}{l} \right), \quad (3.4)$$

де  $T$  – період коливань;

$m_{\text{до}g}$  - вага досліджуваного коренеплоду;

Довжина умовної нитки пов'язана з довжиною реальної нитки підвіски, поздовжнім модулем пружності  $E$ , моментом інерції  $I_{\text{виг}}$  перерізу нитки при згині та поздовжньою силою  $V$ , приблизно рівної ваги коренеплоду  $m_{\text{до}g}$ , поділеному на число ниток підвісу виразом:

$$l_y = l - 2\sqrt{\frac{EI_{\text{виг}}}{V}} = l - 2\sqrt{\frac{EI_{\text{виг}}}{\frac{m_{\kappa} g}{n}}}. \quad (3.5)$$

Вимірювання лінійних розмірів  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $l$ ,  $a$  проводилося мірними лінійками, 300 і 1000 ДЕРЖСТАНДАРТ 17435-72, з похибкою вимірювання  $\pm 1$ мм, час періоду коливань замірялося з використанням механічного секундоміра (ГОСТ 5072-79Е).

Результати вимірювання моментів і радіусів інерції апроксимувалися

рівняннями регресії, точність отриманих результатів відповідала 5% рівню значущості.

Метою розділу було визначення значень агробіологічних характеристик просторового розташування кормових буряків у рядках і подальше узагальнення результатів умовною фігурою - "конусом зростання", що дозволяє в довірчому інтервалі, що задається, розглядати весь масив коренеплодів на полі.

Вимір характеристик здійснювався кілька етапів. На першому етапі замірялися відхилення верхніх точок, очищених від бадилля, головок коренеплодів . від поздовжньо-вертикальної площини, кут  $\nu$  (кут нутації), утворений поздовжньою віссю коренеплоду та вертикаллю, а також кутова (квадрантна) характеристика  $\psi$  (кут прецесії) горизонтальної проєкції поздовжньої осі коренеплоду щодо осі рядка. Квадрант відраховувався всередині кола, центр якого був орієнтований щодо центру перерізу коренеплоду на рівні ґрунту. Напрямок відліку під час досліджень для першої чверті (першого квадранта) приймався проти ходу годинникової стрілки з початком відліку, розташованого на поздовжній осі рядка, напрямок якого було прийнято з орієнтацією на південний схід.

Для отримання чисельних значень відхилень  $z$  по обидва боки меж 10-ти метрових відрізків (методика вибору яких описано вище) коренеплоди зрізалися лише на рівні ґрунту, й у центри перерізів вставлялися металеві вішки з натягнутим гумовим шнуром, якого робився відлік.

Вимірювання кутів  $\nu$  і  $\psi$  провадилося з використанням приладу, зображеного на малюнку 3.6. Прилад складається з 4-х пружних профільних захватів, що повертаються на осях 4-х виделок, вкручених у бічну поверхню нижнього фланця основи. Вгорі захоплення кріпляться за допомогою важелів, що гойдаються, до кільця, вільно повертається в кільцевій проточці верхнього фланця, з'єднаного з основою за допомогою різьблення.

Переміщення верхнього фланця вздовж основи забезпечує грубе регулювання захоплення коренеплоду в діапазоні 70-140 мм. Фіксація приладу на

коренеплоді забезпечується пружинами, одним кінцем закріпленими в отворах захватів, а другим приєднаних до диска, який спирається на верхівку коренеплоду. Опорний диск з'єднаний різьбленням зі штоком, що ковзає всередині наскрізного отвору основи. Вісь штока орієнтується на одній лінії з віссю коренеплоду.

У верхній частині штока були змонтовані два кутоміри, перпендикулярно один щодо іншого, причому вісь штока утворює з площиною кріплення нижнього кільцевого кутоміра кут рівний  $90^{\circ}$ . Крім кріплення кутоміра, розташованого у вертикальній площині і перпендикулярного нижньому кільцевому, вгорі на кронштейні закріплений схил, за допомогою якого проводиться вимірювання параметрів  $i$  і  $\psi$ . Діапазони вимірювання кутомірів: для кута нутації  $\nu$  - відхилення у вертикальній площині –  $0-90^{\circ}$ , а для кута прецесії квадрантної характеристики проєкції поздовжньої осі коренеплоду –  $0-360^{\circ}$ .

На другому етапі проводився замір вивіщення коренеплоду  $h$  щодо поверхні поля. Технологія виміру кутових параметрів коренеплоду проводилася згідно з ОСТ 70.8.6-83.

Для визначення значень поперечного зміщення  $e$  центру перерізу коренеплоду на рівні ґрунту щодо поздовжньої осі рядка  $i$ , отже, зсуву поздовжньої осі коренеплоду, що проходить через цей центр, а також відстані  $b_1$  між центрами перерізів на рівні ґрунту вздовж осьової лінії рядка, коренеплоди зрізалися в горизонтальній площині на всій довжині мірних 10-метрових відрізків у зоні переходу коренеплоду на денну поверхню. Зсув вимірювався між центром перерізу і натягнутим гумовим шнуром, який після зрізу коренеплодів опускали до поля. Поздовжня відстань між центрами перерізів замірялася вздовж натягнутого шнура. Виміри проводилися з використанням лінійок (300 та 1000 ГОСТ 17435-72), що забезпечують точність  $\pm 1$  мм.

Заглиблення коренеплоду кормового буряка  $h_3$  визначалося за допомогою двох лінійок після вилучення обрізаної хвостової частини з ґрунту відповідно до вимог ОСТ 70.8.6-83.

Статистичний метод обробки даних випробувань передбачав обробку даних за СТ СЕВ 545-77 та СТ СЕВ 876-78 з оцінкою точності середніх значень.

### **3.2 Визначення критеріїв ефективності технологічного процесу експлуатації пристрою машини**

Вибір якісних показників оцінки критеріїв роботи комбайна на базі копача коренеплодів ККГ-1,4 обґрунтовувався необхідністю оцінки розробленого викопно -забірною пристрою та оцінки результатів роботи очищувача, відповідно до агротехнічних вимог та вимог відповідності нормативним значенням для створюваної коренезбиральної техніки.

Критеріями ефективності технологічного процесу, що здійснюється викопним пристроєм, змонтованому на базовій машині ККГ-1,4 для збирання кормових коренеплодів є наступна сукупність.

*III* – втрати. Критерій є відношенням маси коренеплодів, які знаходяться на поверхні поля після проходження машини, з сумарною масою прибраних коренеплодів. Втраченими коренеплодами не вважаються коренеплоди з діаметром менше 50мм та вагою менше 200гр. Відповідно до агротехнічних вимог втрати не повинні перевищувати 1,5%.

*СП<sub>вр</sub>* – сильні ушкодження є відношення маси сильно пошкоджених коренеплодів до сумарної прибраної маси. Сильними ушкодженнями вважають сколи та тріщини понад 50мм, обламана хвостова частина з діаметром понад 10 мм, обдерта поверхня коренеплодів понад 20%. Вимоги до сильних ушкоджень: їхня кількість не повинна перевищувати 8%.

*ОбП<sub>вр</sub>* – загальні ушкодження, що включають як сильні, так і слабкі ушкодження, які не повинні перевищувати, згідно з агровимогами 15% від маси прибраних коренеплодів .

*ВзП* – пов'язана ґрунт . Критерій , що визначає кількість пов'язаною ґрунту після очищення від неї коренеплодів та віднесеної до маси очищених

коренеплодів . Згідно агровиимог  $C_{взП} \leq 4\%$ .

$C_{вбП}$  – вільна грунт - це грунт за конвеєром-очисником , кількісно визначається після її виділення з вороха . Гранично допустиме значення вільною ґрунти визначається ставленням її маси до маси коренеплодів і обмежується агровиимогами які складають  $\leq 3\%$ .

Організація, проведення та оцінка точності даних польових випробувань проводилися на підставі встановлених методів ГОСТ 24055-88 (СТ РЕВ 5628-86) та ГОСТ 24056-88.

При кількісній оцінці критеріїв визначатимемо залежності їх від двох основних регулювальних параметрів . Глибина ходу  $\Gamma$  копачів та робітників швидкості  $V$  машини . Залежно шукатимемо у вигляді поліномів другого порядку наступного виду:

$$K = a_0 + a_1V + a_2\Gamma + a_{11}V^2 + a_{12}V\Gamma + a_{22}\Gamma^2 . \quad (3.6)$$

Застосування поліномів такого виду дозволяє визначати екстремум не тільки на межах області визначення параметрів, а й усередині цієї області. У зв'язку з багатокритеріальністю оцінки ефективності технологічного процесу приймемо процедуру, за якої шукаються параметри, що призводять до екстремуму критерію, прийнятого головним. Інші критерії вважаються обмеженнями. Головним приймемо критерій рівня втрат, інші критерії вважатимемо обмеженнями.

При призначенні рівня обмеження, яким у нашому випадку є рівень агровиимоги, область параметрів, в якій слід здійснювати пошук екстремуму, обмежується кривими рівнів критеріїв обмеження. Будемо здійснювати пошук оптимальних параметрів для двох значень вологостей - для типових умов збирання (15-16%) та для екстремальних щодо вологості (23-25%). За агровиимогами граничним значенням вологості при збиранні коренеплодів кормових буряків є 30%. Однак для чорноземів України граничне значення агровиимог неприйнятне.

Діапазон значень глибини ходу  $\Gamma$  копачів був прийнятий наступний: 35-

95мм ; він був встановлений при оцінці ефективності технологічного процесу викопно -забірною пристрою на якісному рівні.

Під час проведення експерименту значення глибини  $P$  приймалися трьох рівнях: 35, 65 і 95мм. Діапазон зміни швидкості машини було прийнято 0,40-1,65м/с. За виконання експериментів застосовувалися відповідні значення швидкості: 0,41; 0,82; 1,13; 1,42 та 1,63м/с. Зазначені значення визначалися передатними числами трактора, яким агрегувався збиральний комбайн.

Методика побудови процесу вимірів містила 3 основних блоки триразової повторності, кожен із яких включав проведення експерименту на 5 швидкісних режимах. Кількість блоків відповідала кількості значень глибини підкопування коренеплодів, у яких проводилися дослідження. Заглиблення копачів передбачало значення, що становлять 35, 65 і 95мм. Для проведення польового експерименту було складено схеми, представлені на малюнках 3.7 та 3.8, послідовності проведення вимірів на підготовлених ділянках поля. Глибина ходу копачів, що відповідає даному блоку, виставлялася на технологічній ділянці  $У_T$  з трьома проміжними вимірами.

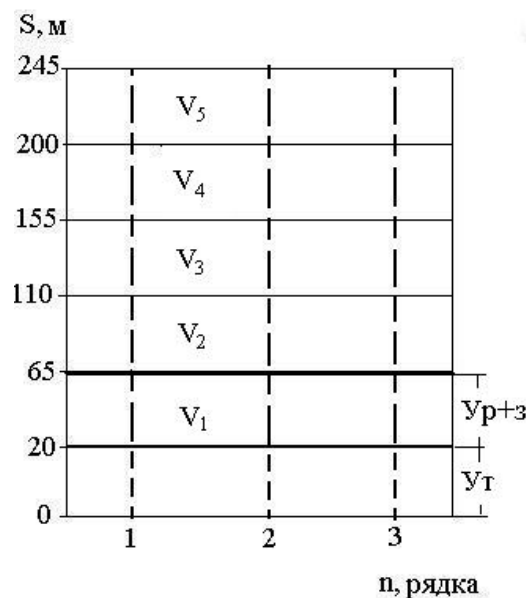


Рисунок 3.3 - Схема блока проведення випробувань для певної глибини підкопування при п'яти заданих швидкісних режимах

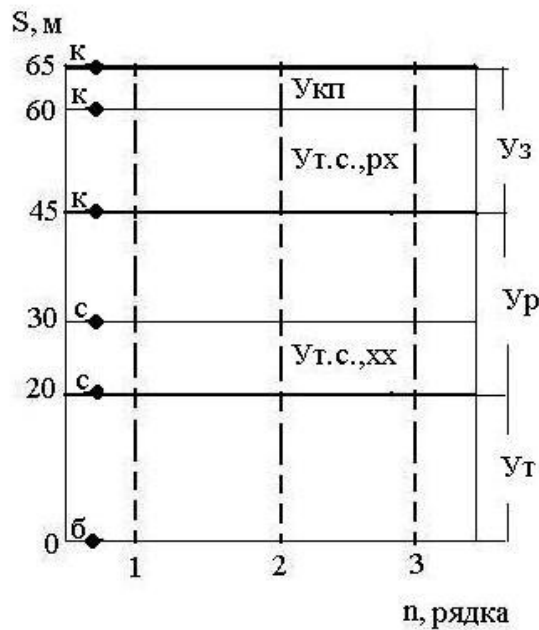


Рисунок 3.4 - Схема послідовності замірів тягових опорів і взяття контрольної проби вороху

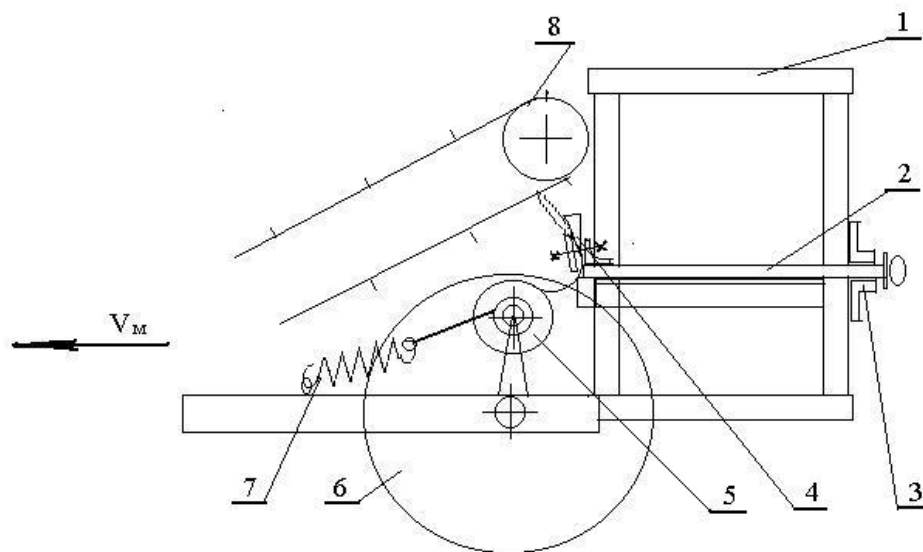


Рисунок 3.5 – Пристосування для визначення якісних показників вороху

Загальну довжину гону, рівну 245м, становили один початковий технологічний Ут ділянку довжиною 20м і п'ять ділянок довжиною 45м, що складаються з розгінної та залікової частин  $U_{p+z}$ . Довжини розгінної та залікових

частин приймалися рівними 25м та 20м відповідно.

На 10м розгінної частини, на відрізку  $U_{т.с.хх}$ , вимірювався тяговий опір холостого ходу без заглиблення копачів у режимі плавного набору швидкості, що відповідає зазначеній ділянці. На другому відрізку розгінної частини проводилося заглиблення робочих органів, що викопують, закріплених на рухомій рамі. Підйом та опускання рухомої рами, що містить змонтовані на ній копачі, блок очищення та поздовжній транспортер, здійснювався за допомогою гідроциліндрів комбайна.

Вимір тягового опору робочого ходу проводилося на відрізку  $U_{т.с.рх}$  довжиною 30м.

Орієнтацією послідовності та тривалості виконання операцій експерименту служили вішки з кольоровими насадками. Початок технологічної  $U_{т}$  ділянки та розгінної частини  $U_{р}$  відзначалося вішками з білою та синьою насадками. Вішка з червоною насадкою визначала початок залікової частини  $U_{з}$ . Початок вимірів тягового опору робочого ходу та взяття контрольної маси вороха позначалися вішками з кольоровими насадками, що відповідають частинам ділянки.

Вимірювання тягового опору проводилося пружинним динамометром розтягування ДПУ-2 з межею вимірюваних зусиль 2-20кН і ціною розподілу шкали 200Н. Похибка показань пристрою  $\pm 2\%$ .

## **Висновки**

Враховуючи рекомендації щодо використання пружинних динамометрів плавність навантаження забезпечувалася подовженням розгінної частини до 25м. Це дозволило зробити замір тягового опору холостого ходу в режимі заданої швидкості на перших 10 м розгінної частини (на технологічній ділянці поля динамометр відключений за рахунок використання технологічних тяг з відстанню між вузлами їх кріплення меншим, ніж між вузлами кріплення

динамометра) з наступним заглибленням.

Взяття контрольної проби вороха передбачалося на п'яти метрах залікової частини, обумовлене конструкцією пристосування, встановленого на експериментальному комбайні.

Пристрій змонтований на поворотній рамі вивантажувального транспортера задньої частини комбайна. Для взяття проби рамка зміщується назад у напрямних витягує розклинену у вузлі поліетиленову плівку, потім фіксується спеціальною клямкою.

Вільному розмотування рулон з плівкою перешкоджає трос, одним кінцем закріплений у струмку шківів осі рулону, а іншим за допомогою пружини приєднаним до рами комбайна, що спирається на задні ходові колеса б.

Ширина ділянки визначалася з умови трирядного збирання коренеплодів кормового буряка та становила 1,35м.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕНЕПЛОДІВ

Результуючі значення досліджень оброблялися ймовірнісно-статистическими методами прийнятому 5% рівні значимості при встановленому числі ступенів свободи (вимірів) з допомогою правила трьох сигм щодо довірчих інтервалів масивів значень. Вибір типу кривих розподілу здійснювався з використанням критерію К. Пірсона, а адекватність кривих теоретичних та емпіричних кривих розподілів перевірялася з використанням спрощеного варіанта  $\chi^2$ , критерію згоди Колмогорова  $n$  та критерії Колмогорова-Смирнова.

Відтворення вимірів перевірялося з використанням критерію Кохрена .

### 4.1 Механіко-технологічні характеристики коренеплодів

Вихідні дані, отримані в результаті досліджень, передбачають визначення поведінки коренеплоду при контактах з робочими органами комбайна і, як наслідок, зумовлюють конструктивні рішення.

Для вивчення агротехнічних характеристик кормових буряків , з урахуванням їх відмінностей в залежності від сорту, а також визначення закономірних зв'язків між параметрами геометрії коренеплодів та їх формою, було обрано два характерні сорти " Еккендорфська жовта" та "Переможець".

Вибір цих сортів за попередніми дослідженнями та роботами, опублікованими іншими авторами, обумовлений насамперед високою врожайністю, а значить, масою  $m_{\infty}$  та різною формою коренеплоду. " Еккендорфська жовта" має циліндричну мішкоподібну форму з характерним перехопленням посередині, на відміну від "Переможця", форма якого овально-циліндрична, іноді подовжено-циліндрична з гладкою поверхнею.

Чисельні значення варіаційних рядів вибірок, що складаються з 72 вимірів аналізованих геометричних характеристик, були розбиті на класи. Кількість

класів варіюваних даних варіаційних рядів , для аналізованих характеристик , приймалося рівним від 6 до 11 залежно від сорту.

Використовуючи метод моментів, метод прирівнювання перших кількох вибіркового моментів до моментів генеральної сукупності, отримані теоретичні закони розподілу ознак , узагальнили емпіричні розподіли.

Криві розподілів, що описують характер мінливості ознак за сортами і пов'язані з певним типом системи пірсонівських кривих, представлені рівняннями.

Рівняння розподілу максимального  $d_m$  діаметра (рис. 4.1):

$$f(d_{max})_{\text{Эк.}} = 0,192 \left( 1 - \frac{(d_{max} - 9,134)^2}{118,353} \right)^{12,885}, \quad (4.1)$$

$$f(d_{max})_{\text{Пб}} = e^{-17,3} e^{39,95 \arctg\left(\frac{d_{max}-1,21}{11,575}\right)} \left[ 1 + \left( \frac{d_{max} - 1,21}{11,575} \right)^2 \right]^{-23,01}. \quad (4.2)$$

Рівняння представляють II і IV типи розподілу Пірсона з мірою асиметрії  $l$  рівною 0,141 та 0,031, та індикатором ексцесу  $y_2 - 2,805$  та 3,166 відповідно.

Для розподілу довжини  $l$  коренеплодів сортів, що розглядаються , відповідні рівняння кривих щільності ймовірності (рис. 4.2) представлені функціональними залежностями:

$$f(l)_{\text{Эк}} = 0,0873 \exp(-0,024(l - 22,9)^2), \quad (4.3)$$

$$f(l)_{\text{Пб}} = 0,08597 \left( 1 - \frac{(l - 26,11)^2}{674,825} \right)^{14,9115}. \quad (4.4)$$

Типи кривих розподілу відповідають X I (нормальному) та II типу. міра асиметрії кривих  $v_1 - 0,0062; 0,053$  індикатори ексцесу  $2 - 3,02513; 2,8277$ .

Варіаційні ряди, розглянуті у процесі побудови кривих, кількісно характеризуються важливими статистичними характеристиками, що включають: середнє арифметичне, середнє відхилення вибірки, коефіцієнтом варіації та показником точності досвіду. Ці характеристики статистичного аналізу основних вихідних геометричних (механіко-технологічних) ознак подано у таблиці 4.1.

Коефіцієнти варіації, що у межах 17-22% , свідчать про мінливості

агробіологічних показників кормових буряків.

Ступінь варіації багато в чому визначається суб'єктивними та об'єктивними факторами, до яких можна віднести як якість посівного матеріалу, агротехніку обробітку, культуру виконання технологічних операцій, так і рельєф, а також ґрунтово-кліматичні умови.

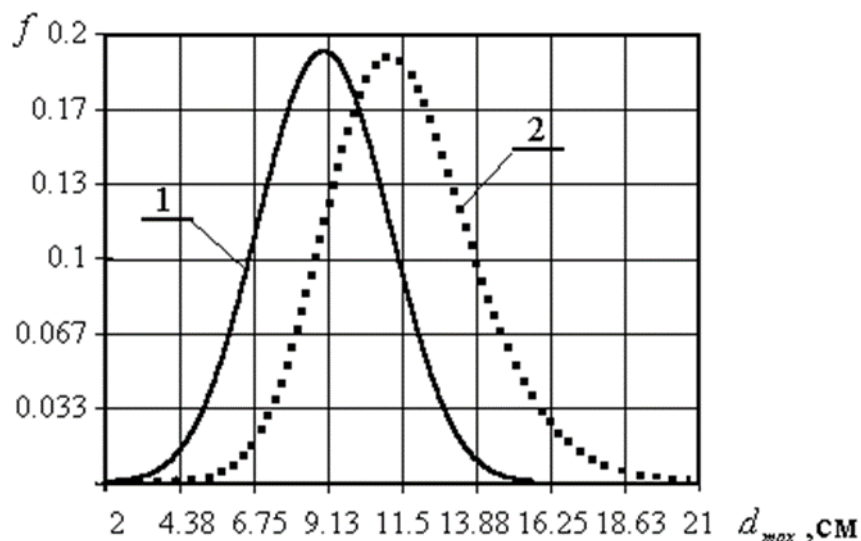


Рисунок 4.1 – Криві розподілення максимального діаметра коренеплодів

Однак численні спостереження за мінливістю ознак, залежно від сортів, дають підстави припускати, що варіації багатьох ознак значною мірою залежить від культури виконання технологічних операцій у процесі вирощування.

Вплив випадкових чинників знижується під час розгляду зв'язок між геометричними ознаками буряків. Зв'язок між довжиною коренеплоду та його максимальним діаметром характеризує його форму, специфічні особливості якої залишаються незмінними для кожного сорту кормового буряка. Цю обставину підтверджують

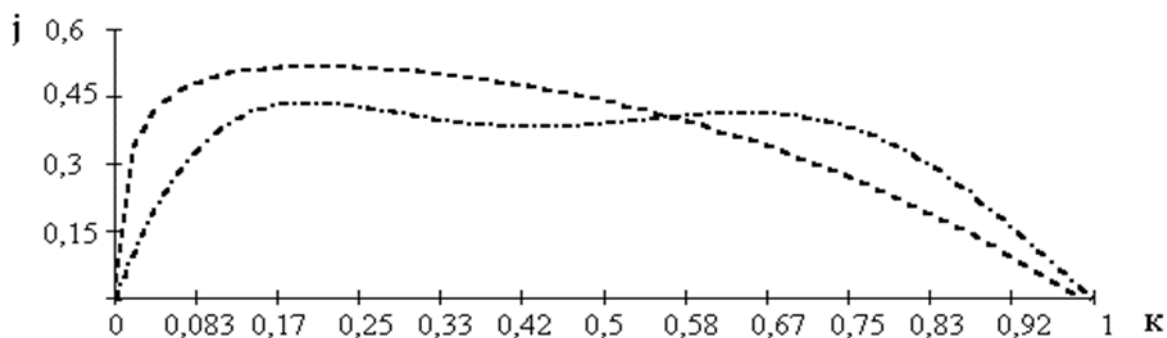


Рисунок 4.2 – Криві контуру поверхонь «одиничних коренеплодів»

Особливості форми кормових буряків, для вибраних сортів, характеризують поліноміальні залежності, що описують "поодинокий коренеплід" з відносними значеннями координат  $j$  і значеннями довжини  $l$  і діаметра  $d_{max}$  коренеплоду рівними одиниці.

Для характеристики " одиничного коренеплоду " (рис. 4.2.) використовується коефіцієнти пропорційності  $K_{сф} = \frac{l}{K_{иф}}$ , де:  $K_{иф}$  - коефіцієнт індексу форми для сортів кормових буряків.

Результатом методики розділу 3 і додатка служить емпіричний поліном загального виду , що пов'язує функціональною залежністю відносні координати  $j_i$  і  $\kappa_{im}$ :

$$j_i^{cm} = A \cdot \kappa_{im}^{\lambda_{i1}} + B \cdot \kappa_{im}^{\lambda_{i2}} + C \cdot \kappa_{im}^{\lambda_{i3}} + D \cdot \kappa_{im}^{\lambda_{i4}} + E \cdot \kappa_{im}^{\lambda_{i5}}. \quad (4.5)$$

Використовуючи метод найменших квадратів [67] та подальші перетворення викладені в розділі 3 та додатки для сорту "Переможець", отримаємо вираз:

$$j_{im}^{П6} = 3,2932308 \left( \frac{z'_n}{l} \right)^{0,5} - 8,5955584 \left( \frac{z'_n}{l} \right) + 11,1028860 \left( \frac{z'_n}{l} \right)^{1,5} - 6,9754736 \left( \frac{z'_n}{l} \right)^2 + 1,1233035 \left( \frac{z'_n}{l} \right)^{2,5} \quad (4.6)$$

і відповідно у кінцевому вигляді:

$$y'_{ni \text{ зП6}} = d_{m,max} \left( 3,2932308 \left( \frac{z'_n}{l} \right)^{0,5} - 8,5955584 \left( \frac{z'_n}{l} \right) + 11,1028860 \left( \frac{z'_n}{l} \right)^{1,5} - \right.$$

$$-6,9754736 \left( \frac{z'_n}{\bar{l}} \right)^2 + 1,1233035 \left( \frac{z'_n}{\bar{l}} \right)^{2,5} ). \quad (4.7)$$

Для сорту "Еккендорфська жовта" ці залежності такі:

$$j_{mi\ominus\kappa} = 6,8640322 \left( \frac{z'_n}{\bar{l}} \right) - 33,942482 \left( \frac{z'_n}{\bar{l}} \right)^2 + 72,441012 \left( \frac{z'_n}{\bar{l}} \right)^3 -$$

Зіставляючи результати запропонованої методики з результатами методики, похибки вимірів імовірно склали  $\delta_F \leq 1,6\%$ ;  $\delta_V \leq 3,8\%$ .

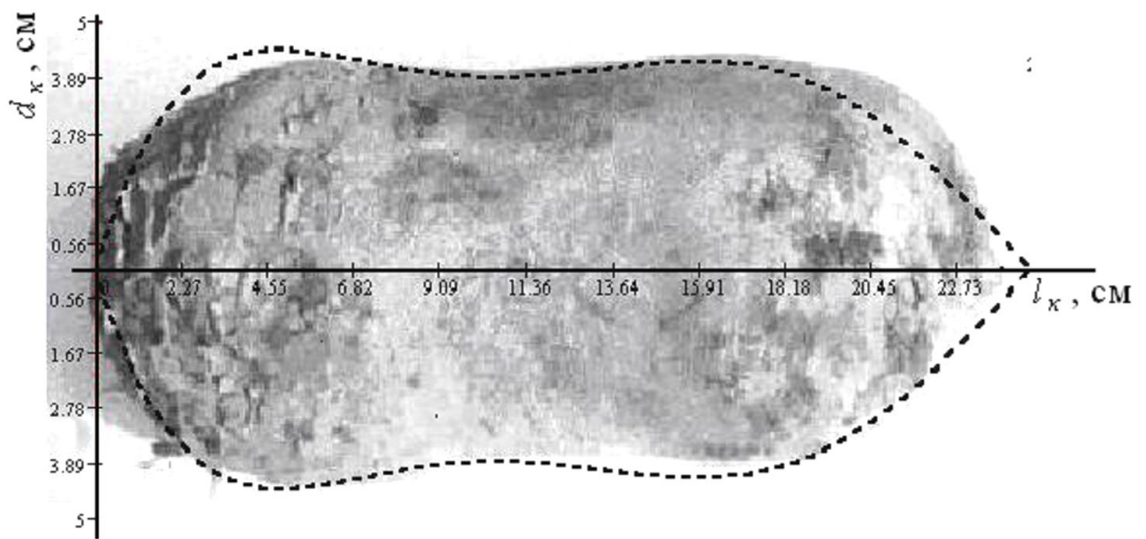


Рисунок 4.3 - Результат накладання теоретичної криві контура на коренеплід "Еккендорфская желтая" з характеристиками  $l_k = \bar{l}$  и  $d_k = \bar{d}_{max}$

Приймаючи умови симетричності контуру коренеплоду щодо поздовжньої осі  $Oz'_n$  та використовуючи відомі вирази для визначення координат центру тяжкості плоскої фігури (у нашому випадку поздовжня площа перерізу коренеплоду) отримаємо загальний вираз:

$$\bar{z}'_{nm} = \frac{\int z'_n dF}{\int dF} = \frac{S_{y'_n}}{F} \equiv \frac{S_{y'_{nm}}}{F_m}, \text{ за умови } \bar{y}'_{nm} = 0 \quad (4.8)$$

Отже, для сорту "Переможець":

$$\bar{z}'_{nm} = \frac{S_{Пб.}}{F'_m} = 0,388777 l_m. \quad (4.9)$$

Для сорту " Еккендорфська жовта":

$$\bar{z}'_{nm} = \frac{S_{Эк.}}{F'_m} = 0,478804 l_m. \quad (4.10)$$

## 4.2 Масові та інерційні характеристики коренеплодів

Планом робіт, поданим у третій главі, передбачалися визначення масових та інерційних характеристик коренеплодів як у польових, так і в лабораторних умовах.

Вимірювання маси коренеплодів  $m_{до}$  здійснювалося на полі в контексті визначення агротехнологічних показників буряків.

Статистична обробка проводилася згідно з вимогами, описаними в першому розділі з використанням кривих Пірсона для відповідного типу розподілу.

Для маси  $m_{до}$  коренеплодів вибраних сортів характерне підпорядкування першому типу кривих К.Пірсона (рис.4.6), рівняння яких:

$$f(m_k)_{Эк} = 0,874 \left( 1 + \frac{m_k - 1,125}{0,848} \right)^{2,295} \left( 1 - \frac{m_k - 1,125}{3,019} \right)^{8,173}, \quad (4.11)$$

$$f(m_k)_{Пб} = 0,677736 \left( 1 + \frac{m_k - 1,309}{1,05511} \right)^{2,22296} \left( 1 - \frac{m_k - 1,309}{4,25397} \right)^{8,96246}. \quad (4.12)$$

Відповідний їм захід  $b_1$  асиметрії склала 0,2991 та 0,3481, а індикатор ексцесу  $b_2$  відповідно 3,02475 та 3,11916. Значення середнього арифметичного  $m_{до}$  для сорту " Еккендорфська жовта " становила 1,209 кг, а для " Переможець " 1,405 кг. Для середньоквадратичного відхилення , коефіцієнта варіації та показника точності досвіду , вказаних двох сортів , характерний наступний ряд значень 0,465 кг; 38%; 4,5% та відповідно 0,606кг; 43%; 5,1%.

Значність коефіцієнтів варіації свідчить про суттєве розкиданні значень

варіаційного ряду ознаки  $m_{\partial o}$ , що характеризують дані середньоквадратичних відхилень  $\sigma$ , що дозволяють визначити довірчий інтервал розкиду варіант  $m_{\partial o}$ , з урахуванням методу моментів і центральних моментів для нашого випадку.

Діапазон інтервалів при довірчій ймовірності 0,95 для " Еккендорфської жовтої " склав  $0,279 \text{ кг} \leq \bar{m}_k \leq 2,139 \text{ кг}$ , а для сорту обмірюваних коренеплодів кормовий буряків сорту " Переможець "  $0,195 \text{ кг} \leq \bar{m}_k \leq 2,617 \text{ кг}$ .

В результаті визначення обсягу  $V_{\partial o}$ , послідовність викладено у другому розділі третій глави і маси  $m_{\partial o}$  коренеплодів, методом витіснення рідини з використанням відомої формули  $m_k = V_k \rho$ , де  $m_{\partial o}$  – маса коренеплоду;  $V_{\partial o}$  – обсяг коренеплоду, рівний обсягу витісненої рідини;  $\rho$  – Визначається щільність коренеплоду, було визначено діапазон щільності коренеплодів сорту " Переможець ". Для сорту " Еккендорфська жовта " діапазон щільності був відомий за попередніми роботам Юхіна Г.П., Він становив  $1,01-1,07 \cdot 10^3 \text{ кг / м}^3$ . Для сорту " Переможець " його  $\rho_{нб}$  знаходиться в діапазоні  $1,025-1,05 \cdot 10^3 \text{ кг / м}^3$ .

Проведені дослідження щодо визначення моментів інерції коренеплодів методами бі- та трифілярних підвісів дозволили скласти експоненційні залежності зв'язку моментів інерції щодо поздовжньої осі коренеплодів.

При визначенні моментів інерції поправка на постійну жорсткість біфілярного підвісу не враховувалася, оскільки вона склала  $1024 \cdot 10^{-13} \text{ Нм}$ . Постійна трифілярного підвісу з ложементом дорівнювала  $0,5787 \cdot 10^{-4} \text{ кгм}^2$  і враховувалася щодо моментів інерції коренеплодів.

Вирази визначення моментів інерції щодо поздовжньої осі:

$$I_{z.\delta} = 1,6676 e^{xp} 1,5786 m_{\partial o}, \quad (4.13)$$

$$I_{z.m\phi} = 2,4013 e^{xp} 1,338 m_{\partial o}, \quad (4.14)$$

та поперечної осі

$$I_{x.\delta} = 4,8538 \cdot e^{xp} 1,6607 m_{\partial o}, \quad (4.15)$$

$$I_{x.m\phi} = 6,9308 \cdot x x 1,363 m_{\partial o}. \quad (4.16)$$

Характер кривих дозволяє зробити висновок, що значення моментів інерції,

визначені методом трифілярного підвісу, можна порівняти зі значеннями біфілярного методу, що підтверджують коефіцієнти кореляції  $r_{x.mp} = 0,982$  і  $r_{z.б} = 0,986$ . Це можна пояснити тим, що похибки точок підвісу нижніх вузлів не відіграють значної ролі у визначенні моментів інерції коренеплодів кормового буряка щодо поздовжньої осі  $z$ .

Однак визначення моментів інерції щодо поперечної осі  $x$  показує, що складність пов'язана з орієнтацією нижніх вузлів біфілярної підвіски щодо центру тяжіння буряків, викликає його розгойдування та значні похибки у значеннях моментів інерції щодо поперечної осі  $x$ . Коефіцієнти кореляції  $r_{x.mp} = 0,975$ ,  $r_{x.б} = 0,955$ .

В результаті досліджень можна зробити висновок про доцільність використання методу трифілярного підвісу для більш точного визначення моментів буріння інерції і особливо моментів інерції щодо поперечної осі  $x$ .

Для системи координат  $x'_n y'_n z'_n$  згідно з методикою визначення центру тяжкості  $z'_{nc.m}$  коренеплоду за допомогою приладу, описаного в підрозділі 3.2, нами було отримано ряд значень, представлених показовою регресією. Коефіцієнт кореляції  $r_{um}$  пов'язував параметр  $z'_{nc.m}$  довжини коренеплоду, що вимірюється у відсотках і відкладається від верхньої точки головки коренеплоду вздовж поздовжньої осі симетрії та коефіцієнт пропорційності форми  $K_{cf}$ .

Коефіцієнт  $K_{cf}$  пов'язані з відомим коефіцієнтом індексу форми  $K_{uf}$

співвідношенням  $K_{cf} = \frac{l}{K_{uf}} = \frac{d_{max}}{l}$ . Вибір цього співвідношення пояснюється

відносними значеннями координат точок контуру меншими одиниці, як " одиничного коренеплоду ", так реальних коренеплодів. Координати визначалися відношенням поточних значень радіусу та довжини для даних точок до максимальних значень радіусу та довжини коренеплоду.

Теоретичний коефіцієнт пропорційності форми  $K_{cf}$  для сорту " Еккендорфська жовта " дорівнює 0,3750, а для сорту " Переможець "  $K_{cf} = 0,4142$ .

Для параметра  $z'_{ny.m}$  характеризує положення центру тяжкості коренеплідів кормового буряка сорту "Переможець", показова регресія має вигляд:

$$z'_{ny.m} = 35,659 \cdot K_{z\phi i}^{-0,1036}. \quad (4.17)$$

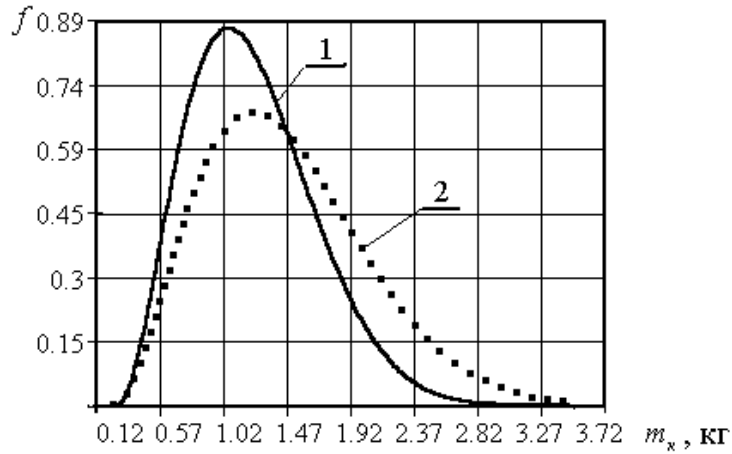


Рисунок 4.4 – Криві розподілення маси коренеплідів

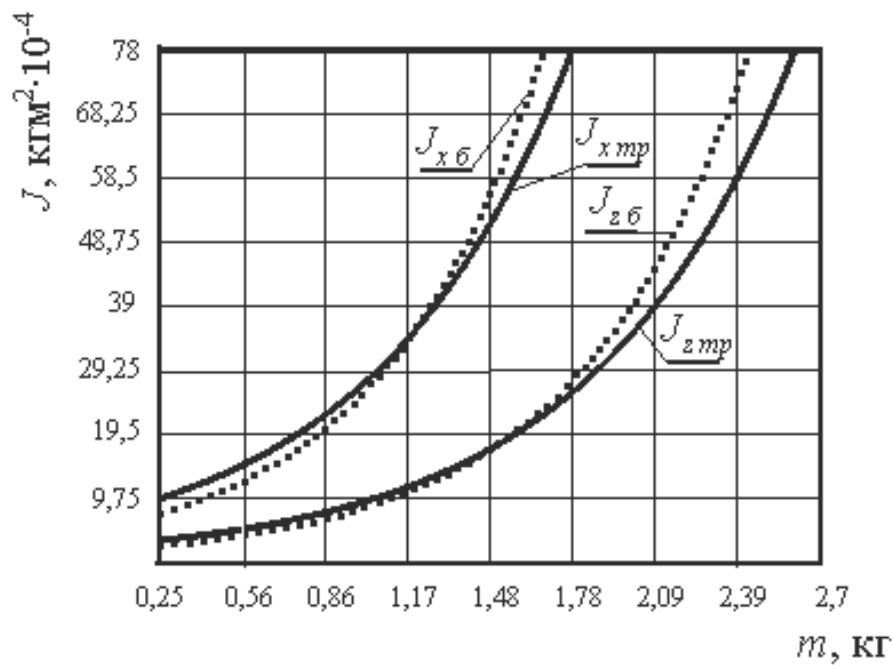


Рисунок 4.5 – криві регресивних залежностей моментів інерції коренеплодів

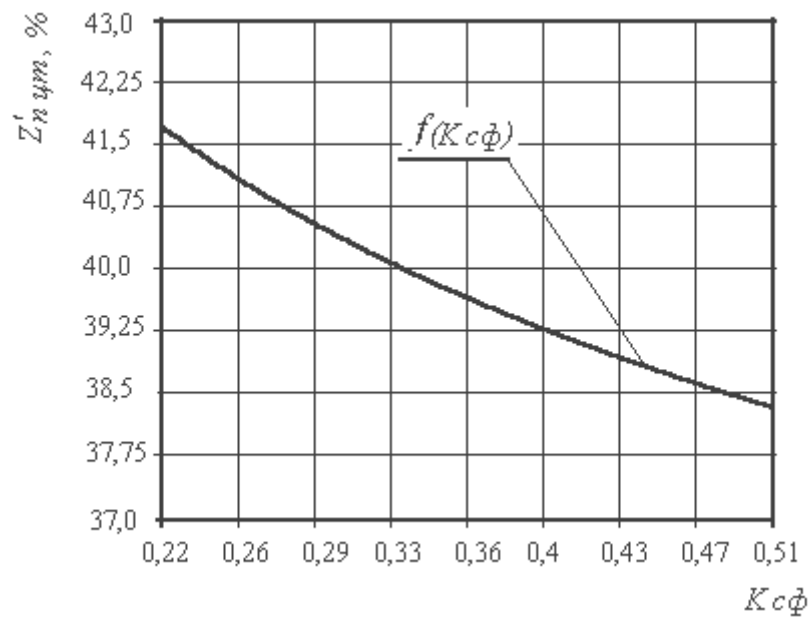


Рисунок 4.6 – залежність координати центра ваги  $z'_{н.ц.м}$  від коефіцієнта  $K_{сф}$  співрозмірності форми

Проведений аналіз результату для коефіцієнта кореляції  $r = -0,3416$  вказує на зворотний кореляційний зв'язок, що характеризує усунення центру тяжіння вздовж поздовжньої осі до головки коренеплоду. Це пов'язується зі зміною коефіцієнта пропорційності форми для коренеплодів кормового буряка, внаслідок зменшення довжини коренеплоду  $l$  або збільшення його діаметра  $d_{max}$ .

### 4.3 Об'ємно-просторова характеристика розміщення коренеплодів на полі

Однією з умов ефективної роботи розробленого викопно-забірною пристрою є попадання коренеплоду кормових буряків у робочу зону пристрою. Ця необхідна і достатня умова буде виконана за наявності зазору між поверхнею коренеплоду і кромками дисків, що викопують, що обумовлено 1-м критерієм (2.60) оцінки взаємодії коренеплодів з робочими органами. Оцінка сприятливого контакту коренеплоду з робочими площинами лівого основного диска та диска

коренезабірника можлива за дотриманням критерію 2 (2.55). У цей момент при певному просторовому розташуванні , що характеризується кутовими та лінійними ознаками, можливий сприятливий результат взаємодії коренеплоду з кромкою диска коренезабірника , що оцінюється 3-м критерієм (2.57).

Для критеріальної оцінки необхідний аналіз параметрів як статистичний, так і об'ємно-просторовий, що зв'язує ознаки, що входять до математичної моделі, що розглядається, із запропонованою конструкцією викопно-забірною пристрою.

Початкове положення коренеплоду характеризується рядом просторових параметрів, що визначають початкові точки контакту поверхні коренеплоду з робочими органами. У цей ряд параметрів включені первинні ознаки, а саме: піднесення коренеплоду  $h_{над}$  рівнем ґрунту, зміщення центру перерізу  $e$  на рівні ґрунту щодо поздовжньої осі рядка, кут нутації або кут відхилення поздовжньої осі симетрії коренеплоду *від* вертикалі і кут прецесії  $\psi$ , характеризує положення про одному з чотирьох квадрантів кола , умовно проведеного з центру перерізу на рівні ґрунту.

Імовірно-статистична обробка ознак , що визначають просторове розташування коренеплодів , проводилося згідно з вимогами, викладеними на початку розділу.

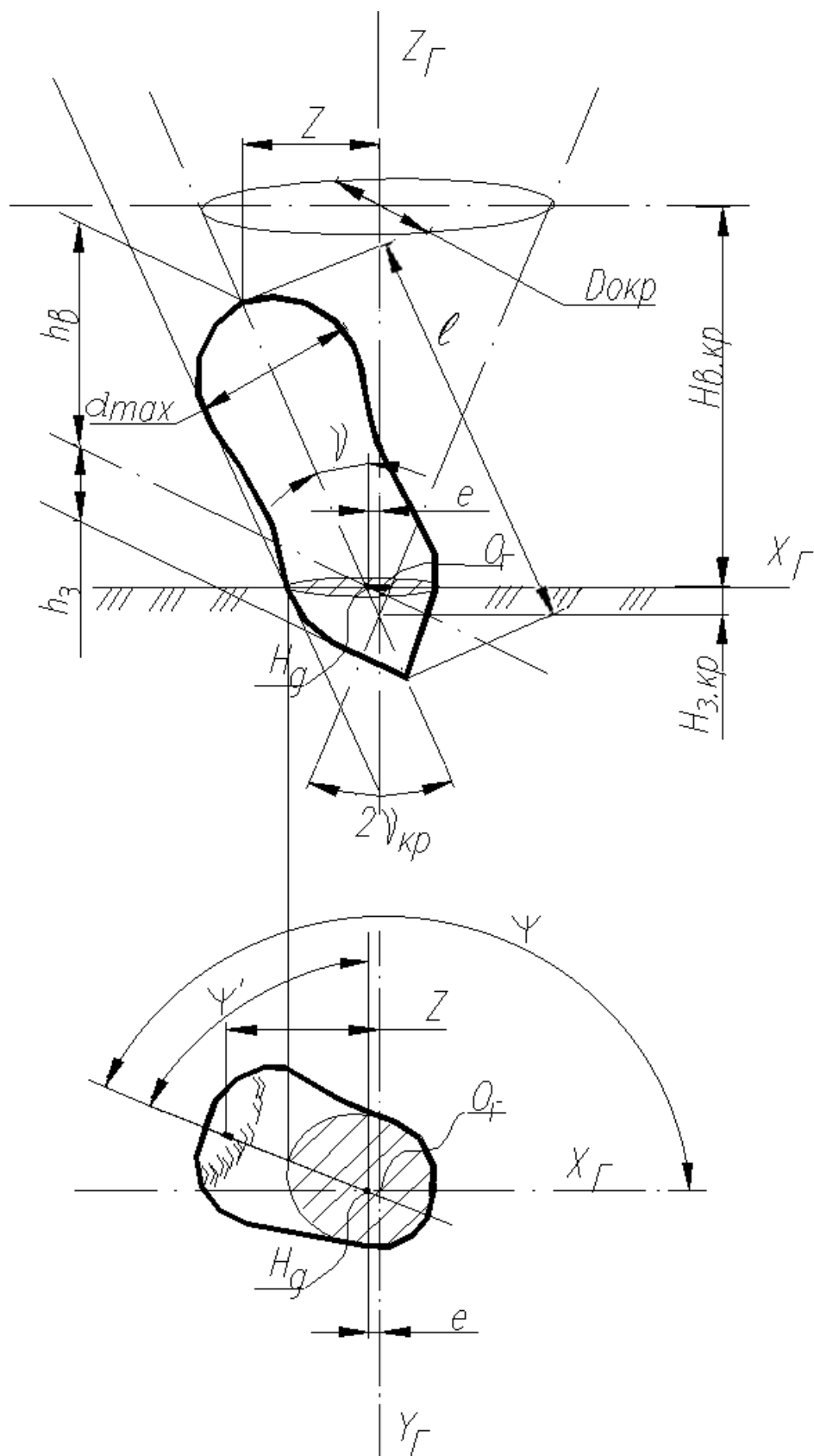


Рисунок 4.7 - Параметричні характеристики «Конуса росту»

Ознака заглиблення  $h_3$  коренеплоду в ґрунті хоча і є визначальним при встановленні глибини підкопування коренеплодів, проте його середнє може бути визначено за умови існування середньоарифметичних значень піднесення  $h_e$  коренеплоду для певного сорту, кутовий характеристики відхилення від вертикалі  $\nu$  у перерізі вертикальної площини,  $l$ . Зв'язок визначений виразом:

$$h_3 = \cos \nu \cdot l_k - h_e. \quad (4.18)$$

Значення  $z$ , що характеризують відхилення верхньої точки головки коренеплоду від поздовжньо-вертикальної площини рядка, також є залежними від лінійних параметрів, що включають відхилення центру перерізу коренеплоду на рівні ґрунту  $e$  і піднесення  $h_e$ , а також кутових параметрів - нутації  $\nu$  та прецесії  $\psi'$  ( $\psi$ ). Ця залежність має вигляд:

$$z = e + \sin \psi' \operatorname{tg} \nu h_e = e - \cos \psi \operatorname{tg} \nu h_e. \quad (4.19)$$

Підсумкові результати досліджень агрофізичних характеристик розміщення коренеплодів на полі для кормового буряка сортів, що розглядаються, наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – агрофізичні характеристики коренеплодів кормового буряку

Найменування	Середньо арифметична	Середньо квадратичн е відхилення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності досліду, %	Тип розподілень К.Пірсона
$h_e$ , м	$\frac{0,159}{0,143}$ *	$\frac{0,035}{0,029}$	$\frac{22}{21}$	$\frac{2,6}{2,4}$	$\frac{I}{II}$
	$\frac{0,075}{0,111}$	$\frac{0,020}{0,021}$	$\frac{27}{19}$	$\frac{3,2}{2,3}$	$\frac{XI}{I}$
$\nu$ , град	$\frac{18,2}{13,3}$	$\frac{10,8}{8,8}$	$\frac{59}{66}$	$\frac{6,9}{7,8}$	$\frac{I}{I}$
	$\frac{49,7}{46,2}$	$\frac{20,7}{23,2}$	$\frac{42}{50}$	$\frac{4,4}{5,3}$	$\frac{II}{II}$
$z$ , м	$\frac{0,067}{0,052}$	$\frac{0,030}{0,022}$	$\frac{45}{42}$	$\frac{5,3}{4,9}$	$\frac{I}{I}$
	$\frac{0,024}{0,029}$	$\frac{0,016}{0,021}$	$\frac{67}{73}$	$\frac{5,8}{6,3}$	$\frac{XI}{XI}$

$b$ , м	$\frac{0,372}{0,342}$	$\frac{0,119}{0,113}$	$\frac{32}{33}$	$\frac{4,6}{4,8}$	$\frac{I}{III}$
$l_k$ , м	$\frac{0,249}{0,262}$	$\frac{0,04}{0,045}$	$\frac{19}{17}$	$\frac{2,2}{2,0}$	$\frac{XI}{II}$
$d_{max}$ , м	$\frac{0,096}{0,102}$	$\frac{0,021}{0,018}$	$\frac{22}{18}$	$\frac{2,6}{2,1}$	$\frac{II}{IV}$
$m_k$ , кг	$\frac{1,20}{1,405}$	$\frac{0,465}{0,606}$	$\frac{38}{43}$	$\frac{4,5}{5,1}$	$\frac{I}{I}$

(\*) – Чисельник – сорт коренеплідів «Еккендорфський жовтий», знаменатель – сорт та «Переможець».

Критерій оцінки контакту точок поверхні коренеплоду з кромками дисків, що викопують, передбачає наявність області значень параметрів початкового положення коренеплоду на полі. Для оцінки можливості попадання коренеплоду в робочу зону необхідно визначити вид і координати точок контакту, а також опис поверхні коренеплоду.

Таким чином, положення утворює конуса (у нашому випадку є поздовжньою віссю коренеплоду), на якій будується контур відповідного сорту коренеплоду кормового буряка, дозволяє охарактеризувати початкове положення коренеплоду та координати його точок поверхні, а також кривизну для вирішення задачі математичного моделювання.

## Висновки

1. Виконаним аналізом показано, що основним стохастичним ознакам, визначальним розміщення коренеплідів кормових буряків у низці та її розмірно-масовим характеристикам властива варіабельність відповідно до критерію виду кривих Пірсона та нормальним законом розподілу.

2. На підставі статистичного аналізу запропоновані функціональні залежності зв'язуючі координати точок контурів коренеплідів кормових буряків для сортів “Еккендорфський жовтий” та “Переможець”.

3. Виконані дослідження за формою коренеплодів дозволили обґрунтувати криві контури коренеплодів, що мають вигляд поліномів, оцінка виконана з використанням параметра “одиничний коренеплід” з довжиною і максимальним діаметром коренеплоду рівним одиниці, що дозволило описати найбільш поширені до обробітку сорту кормового буряка.

4. Визначено коефіцієнти виразів для геометричних та масових характеристик кормових буряків сортів “Еккендорфський жовтий” та “Переможець”: пропорційності їх форми,  $K_{cf}$  -0,375 та 0,41416; обсягу,  $K_v$  - 0,17183 та 0,13558; поздовжньої площі перерізу коренеплодів,  $K_F$  - 0,398133 та 0,334674; статичного моменту площі щодо поперечної осі,  $K_S$  - 0,190628 та 0,130103 відповідно. Оцінив діапазон густини для сорту “Переможець”, що становив  $1,025 - 1,050 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3$ .

5. Проведений аналіз для визначення моментів інерції щодо поздовжньої та поперечної осей методом бі- та трифілярного підвісів дозволяє стверджувати про похибки, що перевищують 5% рівень значущості при визначенні моментів інерції коренеплодів щодо поперечної осі. Це з технологічної орієнтацією нижніх вузлів підвісу при кріпленні коренеплоду кормових буряків в лабораторних умовах.

6. Для визначення області значень точок поверхні коренеплоду, при його початковому положенні на полі, запропоновано просторову фігуру - "конус зростання", що поєднує масив агротехнологічних ознак, прив'язаних до поздовжньої осі коренеплоду, що становить утворює запропонованого конуса.

7. Визначено значення параметрів “конуса зростання” для сортів, що розглядаються, що використовувалися під час лабораторно-польових та господарських випробувань. Для "Еккендорфська жовта" радіус  $R_{кр}$  "конуса зростання" становив 0,071 м, висота -  $H_{кр}$  - 0,272 м, піднесення над рівнем ґрунту -  $H_{ст.кр}$  - 0,163 м і заглиблення -  $H_z$  0,320 м; 0,145 м та 0,176 м.

## **5 ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЗБИРАННІ КОРМОВИХ БУРЯКІВ**

Збирання кормових буряків є складним технологічним процесом, який виконується з використанням різноманітних машин і механізмів – гичкозрізувачів, бурякозбиральних комбайнів, навантажувачів і транспортних засобів. Тому організація безпечних умов праці є необхідною складовою виробничого процесу, що забезпечує збереження життя та здоров'я працівників, а також безперебійну роботу техніки.

### 1. Загальні вимоги безпеки

- До виконання робіт допускаються лише особи, які пройшли медичний огляд, навчання, інструктаж з охорони праці та перевірку знань правил безпечної експлуатації машин.

- Працівники повинні бути забезпечені справним спецодягом, спецвзуттям, рукавицями, головними уборами та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до умов роботи.

- Роботи необхідно проводити лише за сприятливих погодних умов, при достатньому освітленні, з дотриманням установлених технологічних режимів.

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

### 2. Підготовка техніки до роботи

- Перед початком збирання оператори мають перевірити технічний стан машин, справність ріжучих, копальних і очисних органів, гідросистем, гальм і освітлення.

- Не допускається робота із знятих або несправних захисних кожухів, запобіжних муфт чи огорожень.

- Регулювання, очищення або ремонт робочих органів машин здійснюються лише після повної зупинки двигуна і зняття напруги.

- Заправка техніки паливом проводиться у спеціально відведених місцях при вимкненому двигуні, із застосуванням вогнегасників.

### 3. Безпека під час виконання збиральних робіт

- Робота бурякозбиральних агрегатів повинна проводитися на ділянках, попередньо очищених від каміння, рослинних залишків і сторонніх предметів.

- Перед початком руху механізатор повинен переконатися у відсутності людей поблизу агрегату.

- Забороняється очищати робочі органи від ґрунту чи бруду під час роботи машини. Для цього використовують спеціальні дерев'яні або металеві шкребки.

- Очищення гички вручну проводиться із застосуванням ручного інструменту з міцними ручками та обмежувачами, що запобігають зісковзуванню рук.

- У разі роботи кількох агрегатів одночасно слід витримувати безпечну відстань між ними не менше 10–15 метрів.

4. Безпека при навантаженні, транспортуванні та зберіганні кормових буряків

- Навантаження коренеплодів здійснюється механізованим способом із дотриманням безпечної відстані між машинами.

- Забороняється стояти на кузові транспортних засобів під час навантаження буряків.

- Транспортні засоби мають бути технічно справними, забезпеченими сигнальними вогнями та пристроями для закріплення вантажу.

- Під час руху колони техніки в темну пору доби необхідно використовувати світлові сигнали, габаритні вогні та пробліскові маячки.

- Розвантаження буряків на кормових майданчиках або в кагатах здійснюється на рівній поверхні з дотриманням безпечної відстані від працюючих механізмів.

5. Протипожежна безпека

- Місця стоянки та заправки техніки повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння: вогнегасниками, ящиками з піском і

лопатами.

- Забороняється паління, використання відкритого вогню та проведення зварювальних робіт поблизу паливних баків або місць зберігання пального.

- Електрообладнання повинно бути справним, заземленим і відповідати технічним вимогам.

#### 6. Організаційні заходи

- Перед початком зміни керівник робіт зобов'язаний провести цільовий інструктаж з безпечних методів роботи.

- У кожній бригаді повинна бути наявна аптечка першої допомоги, а працівники – проінструктовані щодо дій у разі нещасного випадку.

- Усі роботи виконуються під керівництвом відповідальної особи, яка контролює

### **Висновки**

Дотримання вимог техніки безпеки та охорони праці під час збирання кормових буряків є необхідною передумовою безпечного, ефективного й безперебійного виконання технологічного процесу. Особливість цих робіт полягає у поєднанні механізованих і ручних операцій, що створює потенційно небезпечні ситуації при експлуатації техніки та контакті працівників із рухомими частинами машин.

Проведений аналіз свідчить, що головними напрямками забезпечення безпеки є належна підготовка персоналу, справний технічний стан машин, дотримання правил експлуатації та чітка організація робіт у полі. Забезпечення працівників спецодягом, засобами індивідуального захисту та проведення систематичних інструктажів дозволяють суттєво знизити ризик травматизму та професійних захворювань.

Важливим аспектом є своєчасне технічне обслуговування збиральних

агрегатів, перевірка наявності огорожень на робочих органах, правильне регулювання копальних елементів та гідросистем. Під час навантаження і транспортування буряків необхідно суворо дотримуватись вимог щодо безпечних відстаней, швидкісних режимів і стійкості транспортних засобів.

Значну увагу слід приділяти протипожежним заходам, особливо під час зберігання пального та роботи двигунів внутрішнього згорання. Наявність справних вогнегасників, аптечок та засобів зв'язку на кожному агрегаті є обов'язковою умовою безпечної експлуатації.

Отже, ефективна система охорони праці під час збирання кормових буряків має комплексний характер і включає технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та профілактичні заходи. Її реалізація сприяє не лише зниженню рівня виробничого травматизму, а й підвищенню продуктивності праці, поліпшенню якості збирання врожаю та створенню безпечного виробничого середовища для працівників аграрного сектору.

## **6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ**

В умовах господарських випробувань режим прибирання в типових умовах визначався механізатором через обмеження погодними умовами та необхідність якнайшвидшого прибирання виділеної йому площі (як денної норми). Тому значення робочої швидкості та глибини підкопування коренеплодів під час господарських випробувань дещо перевищували оптимальні значення, рівні 1,04м/с та 64мм, та становили 1,13м/с та 78мм.

Результати порівняння випробувань комбайна з дослідними робочими органами в господарських умовах для сорту коренеплодів кормового буряка “Переможець”, урожайність якого становила 72,6 та 85,2 т/га відповідно, наведено у таблиці.

Як базові (порівнювані) копачі для різних вологостей були прийняті копачі серійної машини МКК-6 і приставки РКС6.6500, які найбільш широко використовуються на збиранні кормових буряків.

При збиранні кормового буряка в типових умовах, відповідних середньої вологості ґрунту 12-16% і твердості ґрунту 1,2-1,8 МПа в шарі 0-15см і при робочих швидкостях технологічного процесу 1,12-1,14м/с, втрати при використанні дослідних копалень і К1, 2,5% ( агровимоги  $A_T \leq 1,5\%$  за масою убраних коренеплодів).

Кількість сильних пошкоджень коренеплодів і загальна забрудненість вороху для порівнюваних копалень за умов збирання, зазначених вище, склали 1,48 і 3,3% ( $A_T \leq 8,0\%$  маси прибраних коренеплодів кормового буряка), а також 3,27 і 8,0% ( $A_T \leq 1$ )

Аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що дослідний пристрій має більш високі експлуатаційно-технологічні характеристики ніж копачі машини МКК-6 при роботі в типових умовах.

При роботі в умовах підвищеної вологості ґрунту, що становить 24-26%, втрати коренеплодів дослідним викопно -забірним пристроєм у порівнянні з копачами приставки РКС6.6500 склали 1,38 та 1,2%. Сильні пошкодження кормових буряків відповідали величинам 6,7 та 1,7%. Загальні ушкодження

коренеплодів при підвищеній вологості становлять для порівнюваних копачів 9,2 і 28,9% ( $AT_{\leq 15} \%$  за масою коренеплодів).

Більш високі показники втрат і сильних пошкоджень коренеплодів для дослідного пристрою в порівнянні з базовим, імовірно, обумовлюються відмінністю в урожайності кормових буряків (85,2 і 67,0 т/га), а також більшою робочою швидкістю збирання: 1,44 і 0,62м/. При підвищеній вологості та значній колійній швидкості поздовжня стійкість прибираючого агрегату знижується, що призводить до поперечного нищпорення, а отже, погіршення показників якості прибирання, а саме пошкоджень (включаючи сильні) та втрат.

Характер показників якості очищення, а саме загальної забрудненості вороху, що відповідає 6,9 та 8,8%, дозволяє говорити про сумісність результатів роботи очисників у вологих умовах.

На підставі розрахунку економічного ефекту можна припустити, що річний економічний ефект від впровадження трирядного пристрою для збирання коренеплодів кормового буряка, в порівнянні з результатами роботи машини МКК-6, складе 29495 грн на одну бурякозбиральну машину, при нормі забирається буряків з площі 58 га.

## **Висновки**

1. Розроблений пристрій для збирання коренеплодів кормового буряка, що включає основний плоский і сферичний різноманітні пасивні викопні диски і додатковий пристрій, що транспортує у вигляді еластичного пальчастого диска, забезпечує ефективне виконання технологічного процесу збирання коренеплодів. Втрати і сильні пошкодження коренеплодів, що убираються, в типових умовах при раціональній швидкості комбайна 1,13м/с і глибині підкопування 7,8см не перевищують 1,17% і 1,48%.

2. Визначено оптимальні значення глибини підкопування та швидкості переміщення для характерних вологостей ґрунту 16,3 та 24,2%, які склали 6,4 та

6,8 см для глибини, а також 1,04 та 1,32 м/с для швидкості.

3. Реконструйований очищувач раніше відомої конструкції, з пружними кулачками третьої секції і жорстко кулачками, що зустрічно обертаються, зміщеною вниз четвертої секції, забезпечує для типових умов збирання показник загальної забрудненості вороху, відповідний 3,27%.

4. У новій конструкції конвеєра-очисника кулачкового типу значення кутової швидкості рекомендовано приймати 14,2 рад/с.

5. Дослідженнями показано, що сумарна потужність для копача викопно-забірною пристрою, в умовах господарських випробувань при врожайності коренеплодів кормового буряка 90-100т/га, в області значень вологості ґрунту 24%, глибині підкопування коренеплодів 6,5-1,5 см м/с, становить 2,74-4,12 кВт.

6. Річний економічний ефект від впровадження трирядного пристрою на базі копача ККГ-1,4 для збирання коренеплодів кормового буряка, порівняно з результатами роботи машини МКК-6, становить 29495 грн на одну машину, при нормі площі, що забирається 50га, або 590 грн на одному прибраному гектарі.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

1. Порівняльний аналіз даних літературних джерел, випробувань та експериментальних досліджень різноманітних типів робочих органів для викопування кормових буряків і сепарації їх вороху свідчить про те, що доцільною комбінацією робочих органів (викопного пристрою) для збирання коренеплодів кормових буряків середніх і великих розмірів є така, яка підкопують дисків та транспортує пристрою у вигляді пружного пальчастого диска; в якості сепаруючого пристрою доцільним є використання кулачкових секцій-очисників, що складаються з еластичних і жорстких кулачків спеціального профілю, що протилежно обертаються.

2. Розроблено математичну модель просторового руху у викопно - забірному пристрої, що дозволяє оцінити можливість попадання коренеплоду в робочу зону пристрою, сприятливого контакту із забірним та основним дисками пристрою, умови пошкодження та втрати коренеплоду, а також умови контакту з бітером та відсутності при звантаженні розміщення коренеплодів на полі щодо рядка, їх глибини, коефіцієнта тертя, сорту, розмірів та параметрів пристрою.

3. З використанням математичної моделі та результатів вивчення механіко-технологічних характеристик коренеплодів отримано результати, що стосуються механіки поведінки коренеплоду у пристрої, характеристик руху коренеплоду при зміні параметрів його положення на полі. Доцільними є наступні параметри розташування координат осі обертання бітера та забірної диска:

-значення поздовжньої координати розташування осі обертання бітера від центру основного (лівого) диска становить (- 115мм);

-кут атаки забірної диска становить  $12^{\circ}$ , кут найбільшого ската робочої площини диска до горизонту знаходиться в діапазоні  $16^{\circ}$  - $19^{\circ}$  координата поперечного розташування осі центру обертання диска - 110мм.

4. При збиранні кормових буряків доцільною комбінацією сепаруючого робочого органу є послідовна установка секцій з металевими трилопатевиими кулачками на перших двох валах; на третьому валу – гумові кулачки спеціального профілю; четвертий вал має кулачки з профілем, що дзеркально відображає

профіль кулачків третього валу. Вісь обертання валу четвертої кулачкової секції зміщена по нормалі щодо площини осей перших трьох валів на 130мм, а діаметр зменшено до 150мм у порівнянні з кулачками 3-го валу, діаметр яких становить 260мм. Четверта кулачкова секція обертається у напрямі, протилежному напрямку обертання інших кулачкових секцій. Застосування зазначеної комбінації робочих органів дозволяє суттєво зменшити кількість вільного ґрунту та рослинних залишків у прибраній купі та знизити пошкодження коренеплодів у порівнянні з конструкцією кулачкового очищувача, що застосовувався для очищення вороху кормового буряка. Для типових умов збирання показник загального забруднення вороху відповідає 3,27%. Доцільне значення кутової швидкості для кулачкового конвеєра- очисника дорівнює 14,2 рад/с.

5. При лабораторно-польових дослідженнях було отримано агротехнологічні показники процесу збирання коренеплодів для машини з рекомендованими параметрами робочих органів, двох факторів: швидкості та заглиблення копачів при двох значеннях вологості – типової та близької до екстремальної.

За типових умов із середньою вологістю (16,3%) та твердістю ґрунту (1,77МПа) оптимальні значення агротехнологічних показників досягаються при швидкості руху 1,04м/с та заглибленні копачів 6,4см. При цьому втрати становлять – 0,92%, сильні ушкодження –1,79%, загальні ушкодження – 5,46%, пов'язаного ґрунту у купі – 1,72%, вільного ґрунту – 1,22%. Для середньої вологості ґрунту (24,4%) та твердості 0,8МПа можливе досягнення значень сильних ушкоджень – 6,24%, загальних ушкоджень – 8,33%, втрат – 1,5%, пов'язаного ґрунту – 4,61%, вільного ґрунту у купі – 2,59% при роботі підкопування 6,8см.

6. Сумарна тягова потужність, при врожайності коренеплодів 90-100т/га, середніх значеннях вологості та твердості ґрунту, що становлять 24 % і 0,8МПа, глибині підкопування 65-70мм, в діапазоні робочих швидкостей комбайна 1,13-1,25м / 2,74-4,13 кВт. Ці показники кращі, ніж показники вібраційних копачів, і

порівняно рівноцінні показникам копачів типу сферичні диски+бичі (МКК-6), приводних дисків (КС-6В) та копачів з активними вилками (РКМ-6).

7. Річний економічний ефект від впровадження трирядного пристрою для збирання коренеплодів кормового буряка, в порівнянні з результатами роботи машини МКК-6, становить 29495 грн на одну машину, при нормі площі, що забирається 50га, або 590 грн на одному прибраному гектарі.

## **СПИСОК ДЖЕРЕЛ**

1. Булгаков В.М. Бурякозбиральні машини. – Київ: Аграрна наука, 2011. – 351 с.
2. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Рогатинський Р.М., Синій С.В. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні: монографія. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – 186 с.
3. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин. – Тернопіль: ТДТУ, 1997. – 144 с.
4. Белашова Л.П., Гордієнко І.М., Щербина С.О. Збереженість коренеплодів буряка столового залежно від зрошення та внесення добрив // Овочівництво і баштанництво. – 2010. – Вип. 56. – С. 388–392.
5. Цокало Т.І. Підвищення ефективності збирання цукрових буряків // Наукові праці НУБіП. – 2023. – №4. – С. 45–56.
6. Матус Р.Р. Агротехнологічні передумови вибору процесу викопування коренеплодів кормового буряка // Агроінженерія. – 2024. – №2. – С. 22–31.
7. Рощук М.О. Буряк столовий. – Київ: Освіта України, 2021. – 60 с.
8. Nowicki R., et al. The Timing of Sugar Beet Harvesting Significantly Affects Root Yield and Quality // Agronomy. – 2025. – Vol. 15(3). – P. 451–460.
9. Machinery for Harvesting Root Crops. – Cambridge: Academic Press, 2020. – 228 p.
10. R. Nowicki. Effects of harvest timing on sugar beet root quality // Agricultural Engineering. – 2024. – №6. – P. 33–39.
11. Іллевич С.В. Розмірно-масові показники коренеплодів буряка // Вісник аграрної науки. – 2022. – №7. – С. 77–81.
12. Петриченко І.Б. Втрати бурякомаси при прийманні і транспортуванні // Техніка і технології АПК. – 2013. – №1. – С. 15–18.
13. Олійник О.В., Макогон В.В., Брік С.В. Технологічні аспекти збирання буряка // Вісник НТУ ХП. – 2010. – №62. – С. 73–75.

14. Рудманський І.О. Лежкість і якість коренеплодів буряків столових залежно від елементів технології вирощування: кваліфікаційна робота. – Вінниця, 2022. – 67 с.
15. Попок В.І. Оптимізація системи машин для збирання цукрових буряків: кваліфікаційна робота. – Київ: НУБіП, 2022. – 85 с.
16. Ястюнічев Ю.Ю. Обґрунтування параметрів ведучого моста бурякозбирального комбайна: дипломна робота. – Харків: ХНТУСГ, 2022. – 94 с.
17. Павленко С., Волик Б., Друздь С. Дослідження процесу вібраційного підкопування столових коренеплодів // Механізація сільського господарства. – 2008. – №5. – С. 19–24.
18. Барановський В.М., Паньків М.Р., Рамш В.Ю. Аналіз конструктивно-технологічних аспектів робочих органів копачів коренеплодів // Агроінженерія. – 2015. – №3. – С. 12–21.
19. Тонкий М.О. Дослідження параметрів бурякозбиральних машин. – Київ: НУБіП, 2023. – 48 с.
20. Барановський В.М., Рамш В.Ю. Аналіз функціонування копачів коренеплодів // Техніка АПК. – 2017. – №4. – С. 37–41.
21. Швейко П.А. Механізація вирощування цукрових буряків в умовах господарства. – Харків: ХНАУ, 2019. – 56 с.
22. Свистун Р.М. Обґрунтування параметрів і режимів роботи копачів коренеплодів: магістерська робота. – Львів: НЛТУ, 2021. – 78 с.
23. Волоха М., Юрчук В.П. Робочий орган для викопування коренеплодів // Патент України №101234. – 2012.
24. Цизь І.Є. Дослідження процесу зрізування гички буряків // Сільськогосподарська техніка сьогодні. – 2021. – №2. – С. 41–46.
25. Полянський Є.Г. Удосконалення комплексу машин для вирощування столових коренеплодів: кваліфікаційна робота. – Київ, 2023. – 72 с.

26. ДСТУ 2258-93. Машины бурякозбиральні. Загальні технічні умови. – Київ: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
27. Гевко Р.Б. Напрями вдосконалення бурякозбиральної техніки // Вісник ЛДТУ. – 1999. – №4. – С. 22–27.
28. Василенко А.А. Бурякозбиральні машини. – Москва: Сельхозгиз, 1937. – 212 с.
29. Sugar Beet Processing to Sugars // Food Technology Journal. – 2020. – Vol. 44(2). – P. 101–112.
30. Практичні посібники і дипломні роботи з репозитаріїв DSpace, ELARTU, SOCRATES (2013–2024) – розділи «Викопування коренеплодів», 45–62 с.
31. Барабашук В.И., Креденцер В.И., Мирошниченко Б.П. Планирование эксперимента в технике. – К.: Техніка, 1984. – 199 с.
32. Волик А.Ф. Обоснование основных геометрических параметров заборников корней для корнеуборочной машины РКС-6 // Комплексная механизация и электрификация с.-х. пр-ва. – Днепропетровск: Сб. науч. тр. СХИ. – 1997. – С. 23-26.
33. Волик А.Ф. и др. К обоснованию допустимой угловой скорости лопастного выталкивателя корней из дискового заборника корнеуборочной машины РКС-6 // Комплексная механизация и электрификация с.-х. пр-ва. – Днепропетровск: Сб. науч. тр. СХИ. – 1997. – С. 26-27.
34. Виробництво і собівартість продукції рослинництва. Звіт бухгалтерський сільськогосподарського підприємства. Досл. госп. “Кутузівка” НВО “Племеліта” ІТ УААН. ЄДРПОУ. 05460437. – Харків, 1998...2000 р.р.
35. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин. – Тернопіль: Поліграфіст, 1997. - 120 с.
36. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Синій С.Р., Булгаков В.М. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки. – Луцьк: Видавництво ЛДТУ, 1999. –

168 с.

37. Дзюба А.И. Разработка и создание устройства для извлечения корнеплодов кормовой свеклы из почвы: Дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – Харьков, 1988. – 233 с.

38. Изыскание метода и разработка механизированных средств уборки корнеплодов кормовой свеклы: Отчет о НИР (заключительн.) / Харьк. ин-т мех. и электр. сель. х-ва; № ГР 032091; Инв. № 070014. – Харьков, 1989. – 29 с.

39. Мазуренко А.М., Савич П.В., Сарапулов А.К. Исследование процесса извлечения корней из почвы дисковыми рабочими органами // Вопросы механизации в свекловодстве.. – К.: ВНИИ сах. св. – 1969. – С. 196-211.

40. Манчинский Ю.А., Полупанов В.Н., Лузан П.Г. Поведение корнеплодов в заборном устройстве машины для уборки кормовой свеклы // Зб. наук. пр. Кіровоградського державного технічного університету “Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація” Вип. 10. - Кіровоград: КДТУ. - 2001. -С.124-129.

41. Манчинский Ю.А., Полупанов В.Н. Влияние характеристик начального положения корнеплодов на эффективность технологического процесса уборки корнеплодов кормовой свеклы // Механізація сільськогосподарського виробництва. Зб. наук. пр. Вип.7 - Харків: ХДТУСГ. - 2001. - С. 216-221.

42. Манчинский Ю.А., Полупанов В.Н. Критерии эффективности функционирования выкапывающе-заборного устройства машины для уборки кормовой свеклы // Зб. наук.пр. Вип.8, т.1 - Харків: ХДТУСГ. - 2001. - С. 189-193.

43. Погорілий Л.В., Волянський М.С., Фомічов А.М. Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки механізованого процесу збирання // Вісник сільськогосподарської науки. – 1988. - № 1. – С. 64-70.

44. Погорельый Л.В., Татьянко Н.В., Брей В.В. и др. Свеклоуборочные

машины. – Киев: Техника, 1983. – 168 с.

45. Полупанов В.М. Агрофізична характеристика кормових буряків // Механіка. Машиностроение: Сб. науч. тр. – Харьков: ХГПУ. – 1997. Вып.7, -ч.2, - С. 82-85.

46. Полупанов В.Н. Математическая модель движения корнеплодов в выкапывающем устройстве корнеуборочной машины // Повышение надежности восстанавливаемых деталей: Сб. науч. тр. – Харьков: ХГТУСХ. – 1999. – С. 158-162.

47. Семенов А.М. Расчет угла атаки дисковых орудий // Механизация сельского хозяйства. – Кишинев: Картя молдовеняскэ. – 1966. – С. 29-32.

48. Справочник по кормам и кормовым добавкам / Г.А. Богданов, А.И. Зверев, Л.С. Прокопенко, О.Е.Привало / Под ред. Г.А. Богданова –К.: Урожай, 1984. – 247 с.

49. Статистичний щорічник. Україна 1998. – К.: Техніка, 1999. – С. 169

50. Фоменко В.Н., Михайлецкий М.И., Пятничко Г.П. Механизация уборки кормовой свеклы. Изд-во Львовского ЦНТИ и пропаганды, 1987, № 87-126, - 4 с.

51. Фомичов А.М. Кормові коренеплоди /2-е вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1987, - 288 с.

52. Фомичов А.М. Прогресивна технологія виробництва кормових коренеплодів // Земля і люди. – К.: Т-во “Знання” УРСР. – 1990. – №5. – С. 11-12.

53. Шабельник Б.П., Полупанов В.Н., Бандура А.И. Усовершенствованная машина для уборки кормовой свеклы // Изд-во Харьковского ЦНТИ и пропаганды. – 1984. - № 82. – 6с.

54. Шабельник Б.П., Полупанов В.Н., Завгородний А.Ф. и др. Особенности развития и формирования кормовой свеклы к моменту уборки // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: – 1985. – С. 8-11.

55. Шабельник Б.П., Полупанов В.Н., Мартынов В.М. Выкапывающее

устройство корнеплодов кормовой свеклы с равнопрочным упругим диском // Конструирование и технология производства с. х. машин. – К.: Техніка – 1990. - № 20. – С. 56-59.

56. Шабельник Б.П. Конвейеры очистители корнеуборочных машин: Теория и расчет. – К.: Міносвіта, 1998. – 243 с.

57. Шевцов И. А., Фомичов А. П. Биология и агротехника кормовой свеклы. – К.: Наукова думка, 1980. – 252 с.

58. Юхин Г.П. Исследование процесса очистки кормовой свеклы от почвы двухъярусным кулачковым очистителем : Дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – Харьков, 1978. – 209 с.

59. Clemens P. Futterrubenerte einmal anders // Lohnunternehmen in Land und Forstwirtschaft. – 1976. – Bd. 31, №9. – S. 358-360.

60. Hvirvelker E. Undersqgels Vedrqrrende Grontnqsteres // Arbejdamede. – Copenhagen. – 1962. – 47 s.

61. Pirkelmann H. Futterrubenerte: Technik in Feld und Stall. – Bonn; Bad Godesberg, – 1980. – 32 s.

62. Pirkelmann H. Futterrubenerte: Deutsche oder danische Technik. Landmasch. – Fachbetrieb. – 1979. – Bd. 31, №10 – S. 342-345.

63. Skřivánek V. Porovnání strojů pro sklizeň krmné řepy // Mechanizace zemědělství. – 1984, № 12. – S. 531-534.

64. Stafford J., Geikie A. an Implement Configuration to Zoosen Soilby Inducing Tensile Failure// soil & Tillage. Res. – 1987, №9. – S. 23-27.

## ДОДАТКИ