

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

Кафедра будівництва

УДК 631.356.2

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри  
будівництва

Бакулін Є.А.

“ ” 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ  
ОРГАНІВ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ КЩФ-1,5»

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма: «Машини та обладнання сільськогосподарського  
виробництва»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

«підпис»

Ромасевич Ю.О.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

«підпис»

Березовий М.Г.

Виконав

«підпис»

Кузовлев Ю.В.

Київ – 2023

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри будівництва

к.т.н., доц.

Бакулін Є.А.

2023 р.

## ЗАВДАННЯ

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Кузовлеву Юрію Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма: «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження конструкційних та технологічних параметрів робочих органів гичкозбиральної машини КІФ-1,5»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «28» березня 2023 року №464«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 9.11.2023 р.

**Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:**

1. Науково-технічна література, конструкції машин для збирання гички, агротехнічні вимоги до техпроцесу збирання.
2. Результати експериментальних і теоретичних досліджень конструкцій робочих органів машин для збирання гички, макетів їх роботи.
3. Маркетинговий аналіз ринку техніки та продукції аграрного виробництва.

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Аналіз технологій та робочих органів машин для збирання гички цукрових буряків
2. Теоретичне дослідження процесу вивантаження гички робочими органами гичкозбиральної машини з обґрунтуванням їх удосконалених конструкційних та технологічних параметрів
3. Аналіз показників якості вивантаження гички машиною для збирання гички
4. Оцінка економічної ефективності результатів

Дата видачі завдання 30.03.2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Березовий М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Кузовлев Ю.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

# НУБІП України

Магістерська робота містить 86 сторінок друкованого тексту, список 38 використаних джерел, додатки, проілюстровано 44 рисунки і 5 таблиць.

Ключові слова: гичка, ботвиння, збирання, транспортер, лопатева кидалка, частинка, конструкційні параметри, технологічні параметри, машина, робочий орган.

# НУБІП України

Проведено аналіз технологій збирання цукрових буряків та досліджень конструкцій машин для збирання гички та їх робочих органів, що взаємодіють з гичкою в процесі її зрізування, транспортування та вивантаження.

# НУБІП України

Визначено конструкцію робочих органів, застосування яких є доцільним для транспортування та вивантаження гички, яку було зрізано.

# НУБІП України

Проведено теоретичне моделювання руху частинки гички по поверхнях робочих органів вивантажувального механізму та за допомогою чисельного моделювання встановлено раціональні конструкційні та технологічні їх параметри, зокрема довжину та ширину лопаті кидалки, кутову швидкість валу кидалки, кут нахилу площини робочої поверхні лопаті кидалки до її радіусу.

# НУБІП України

Встановлено за результатами обробки даних експериментальних досліджень з транспортування і вивантаження гички залежності пошкодження зрізаної маси гички від частоти обертання лопатевої кидалки, форми та площі її лопатей. Запропоновано удосконалену конструкцію робочих органів для вивантаження зрізаної гички.

# НУБІП України

Наведено можливі заходи щодо забезпечення екологічної безпеки довкілля та дотримання норм охорони праці під час виконання технологічного процесу збирання гички цукрових буряків.

# НУБІП України

Застосування машини трирядної гичкозбиральної з робочими органами вдосконаленої конструкції надає можливість досягти розрахунковий річний економічний ефект до 41 тис. грн.

# НУБІП України

ВСТУП

ЗМІСТ

## РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАШИНИ ДЛЯ ЗБИРАННЯ

ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ..... 12

1.1. Фізико-механічні та агробіологічні та властивості гички ..... 12

1.2. Аналіз технологій збирання цукрових буряків ..... 18

1.3. Конструкції машин для збирання гички та їх робочі органи ..... 20

1.4. Особливості використання машини КПФ-1,5 ..... 38

1.5. Вибір робочих органів для вивантаження гички ..... 42

## РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЙНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ

РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ ВИВАНТАЖЕННЯ ГИЧКИ ..... 43

2.1. Моделювання руху частинки гички по поверхням ..... 43

2.2. Рух частинки гички по лопаті ..... 43

2.3. Рух частинки гички по внутрішній поверхні циліндричної частини кожуха ..... 53

2.4. Рух частинки гички вздовж прямолінійної частини кожуха ..... 54

2.5. Обґрунтування раціональних конструкційних та технологічних

параметрів кидатки ..... 55

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЇХ РОБОТИ ..... 58

3.1. Задачі та фактори експериментальних вимірювань ..... 58

3.2. Конструкція робочих органів та лабораторної установки ..... 59

3.3. Аналіз результатів лабораторних вимірювань транспортування і вивантаження гички ..... 67

## РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ..... 78

4.1. Небезпечні та шкідливі фактори ..... 78

4.2. Вимоги до процесу збирання та технічного стану агрегатів ..... 78

4.3. Аналіз шкідливих факторів ..... 79

4.4. Аналіз виробничих небезпек при збиранні цукрових буряків ..... 79

4.5. Заходи з безпеки праці .....	80
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ .....	82
ВИСНОВКИ .....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	87
ДОДАТКИ .....	93

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВСТУП

НУБІП України

До початку загарбницької війни, яку розв'язала проти нашої країни російська федерація, вітчизняне аграрне виробництво давало Україні 20% ВВП і 40% експорту. Водночас у всьому світі Україна одноосібно покривала практично

половину потреб, що має Світова харчова програма ООН [56].

Після перемоги України у війні подальший розвиток галузі рослинництва буде істотно залежати від рівня її матеріально-технічного забезпечення, а отже,

від рівня розвитку вітчизняного машинобудування. Сільськогосподарське

машинобудування України має бути спрямоване на більш повне задоволення

потреб вітчизняного агропромислового виробництва. Ресурсозбереження в наш

час є одним з головних понять, що характеризують тенденції синтезу технологій

і засобів механізації виробництва рослинницької продукції. Воно обумовлює

необхідність глибокої диференціації техніки для аграрного виробництва залежно

від ґрунтово-кліматичних умов і потреб культур, що вирощують і є саме собою

складною комплексною проблемою.

Подальше збільшення виробництва коренеплодів цукрових буряків

неможливе без вдосконалення технологічних процесів їх збирання, серед яких

збирання гички є одним з найбільш ресурсномістких (до 30% усіх затрат).

Враховуючи, що збирання гички визначає якісні показники коренеплодів буряків,

а також її поживні властивості, до зазначеного технологічного процесу

висуваються підвищені вимоги.

Самохідні бурякозбиральні комбайни внаслідок високої вартості та

значних експлуатаційних затрат є малодоступними для значної частини

бурякозбиральних господарств України. Отже, актуальним є розвиток моделей та

конструктивне удосконалення вітчизняної начіпної і причіпної бурякозбиральної

техніки, яка була б відносно проста в експлуатації та забезпечувала б необхідні

показники продуктивності. При цьому необхідно досягти підвищення якості

роботи збиральних машин, зокрема зменшення пошкоджень коренеплодів та

гички, а також зниження енергоємності їх робочих процесів [7, 8, 15, 46].

За даними Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO) площа посівів цукрових буряків в світі зараз становить близько 9 млн. га. З нього виробляють до 40% загального обсягу виробництва цукру. Понад 80% виробництва цукрового буряку зосереджено в Європі.

Для України цукор є одним з її стратегічних продуктів. Однак за період після 1991 року виробництво скоротилося в декілька разів. Якщо до 1991 року Україна виробляла понад 5 млн т цукру, то станом на минулий рік – 1416,2 тис. т.

Попри це, за даними Інституту аграрної економіки, Україна входить в ТОП-10 за обсягами вирощування цукрових буряків і виробництва цукру. Усього ж найбільші посівні площі цукрових буряків зосереджені в Росії, Франції, Польщі, Німеччині, Італії, Румунії, Чехії, Словаччині, Англії, Бельгії та Україні [50, 54].

Динаміку основних показників виробництва цукрового буряку в Україні (для порівняння, з 1990 роком) наведено на рис. 1-3.

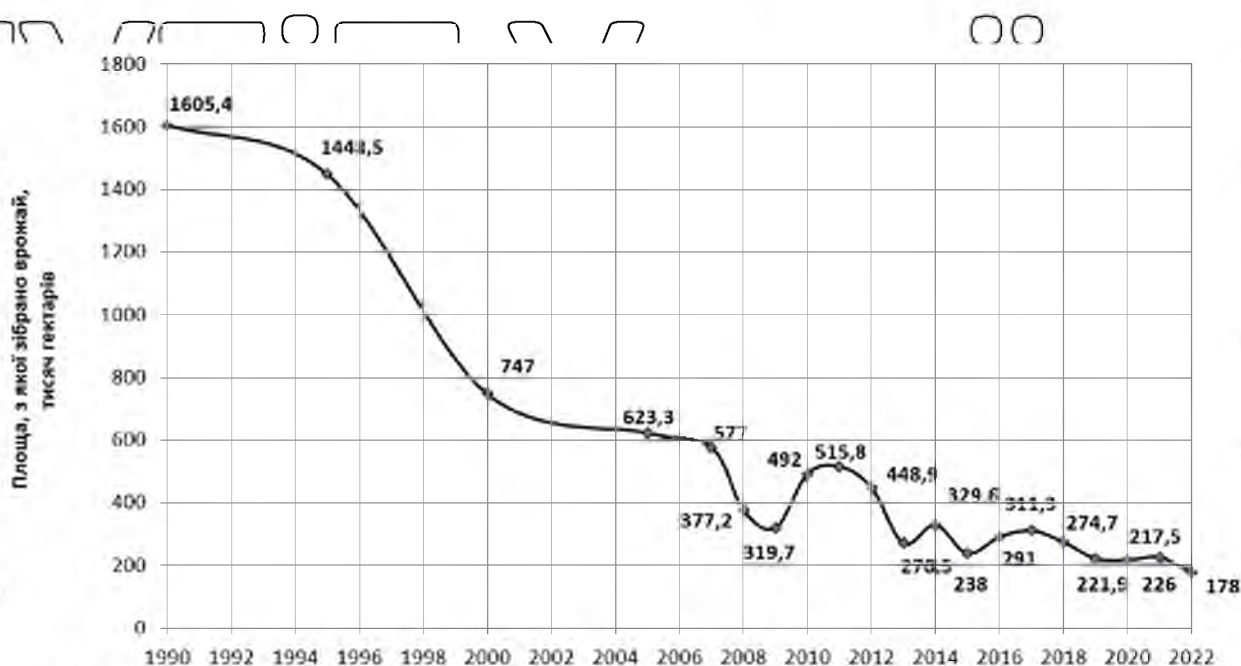


Рис. 1. – Площі, з яких зібрано врожай цукрових буряків, тис. га

На думку міжнародних експертів галузі, за умови досягнення міцної інтеграції економіки України з Європейським Союзом після перемоги у війні, український бурякоцукровий комплекс має гарні перспективи розвитку, адже Україна znana своїми родючими ґрунтами. Окрім того, в країні сприятливий

клімат, достатньо вологи, тобто є всі передумови для подальшого розвитку цукрової галузі.

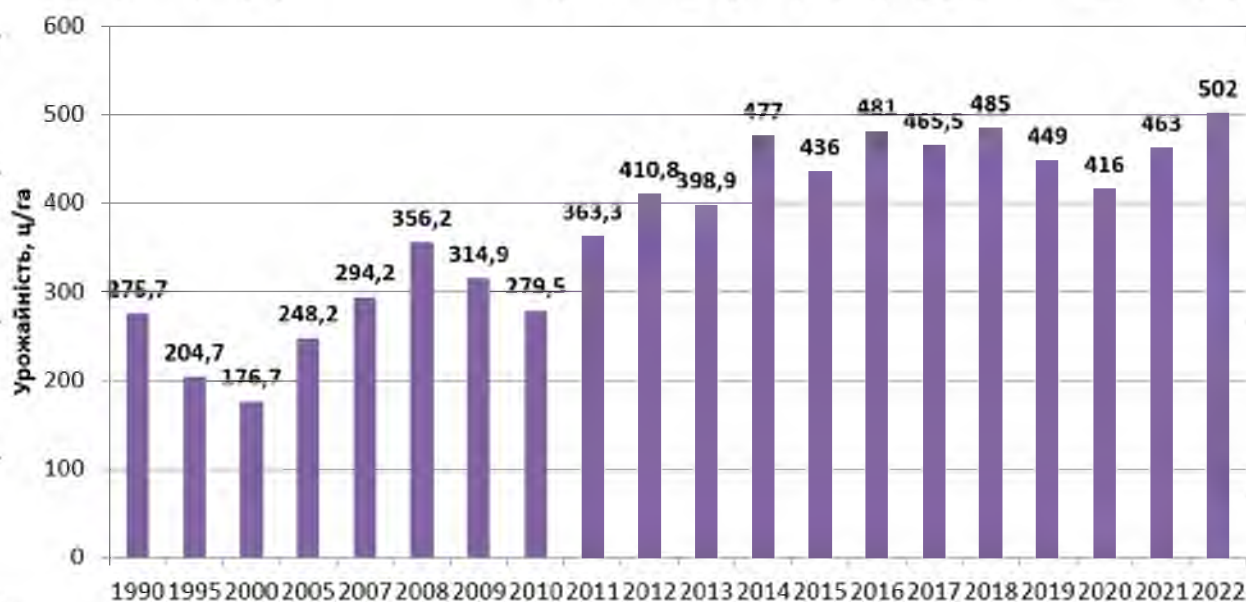


Рис. 2. – Зміни урожайності цукрових буряків, ц/Га

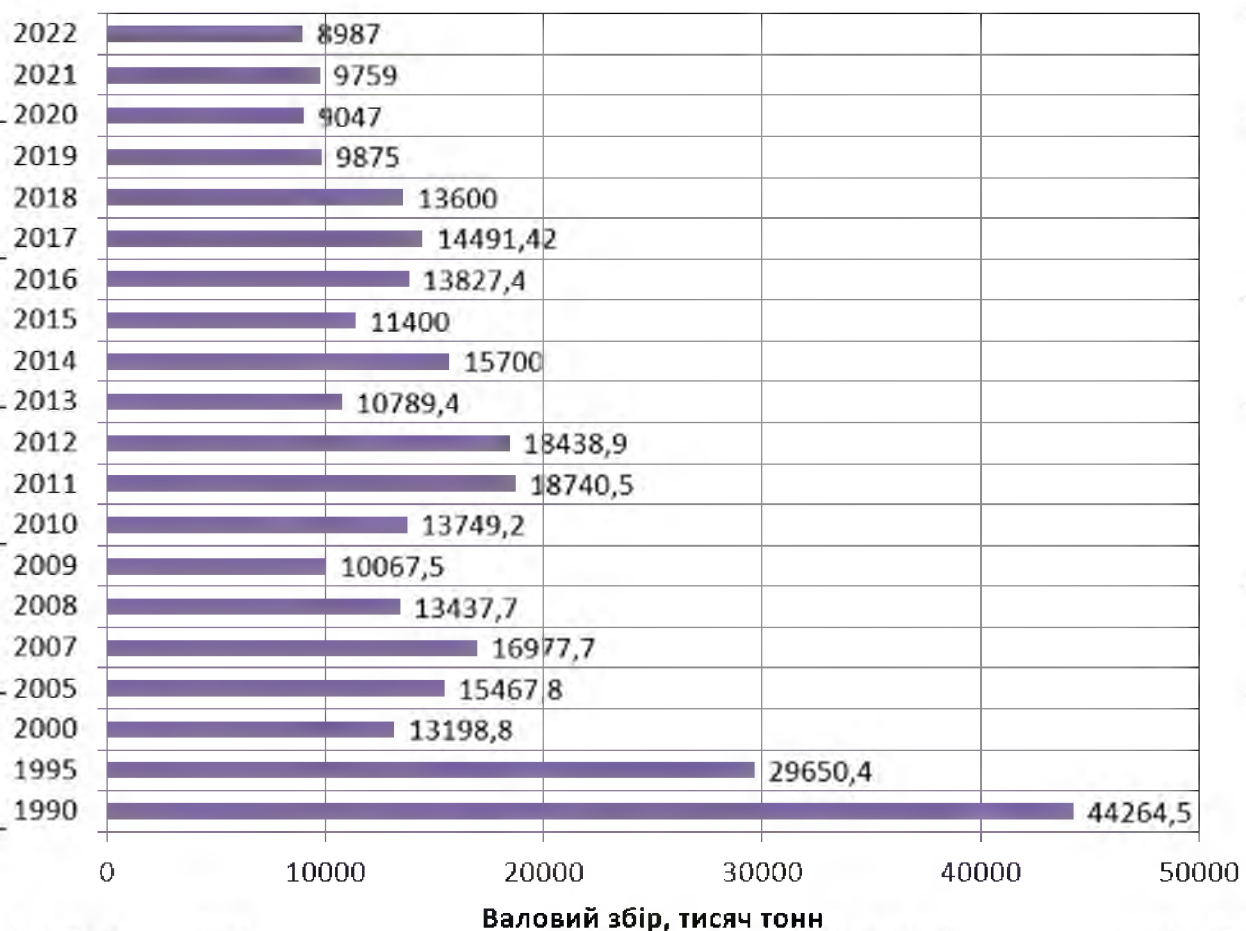


Рис. 3. – Валовий збір цукрових буряків в динаміці, тис. т.



У сезоні 2022 року вітчизняні виробники цукрових буряків зіткнулися зі значними викликами, серед яких зростання витрат на 1 га вирощування, несприятлива дощова погода, яка ускладнила збирання врожаю, а ранні приморозки та сніг призвели до погіршення якості сировини, яку одержували цукрові заводи. І все це – під час жахливої війни в нашій країні.

Тим не менш, 23 заводи все ж переробляли цукрові буряки (2020-2021 рр. було 33 заводи). У сезоні ж 2023 р. планують переробляти буряки понад 30 підприємств.

За підсумками 2022 року бачимо, що цукрові буряки у промислових масштабах вирощувались в чотирнадцяти областях. При цьому головні площі посівів було зосереджено у шести областях (становили понад 70% всіх посівів). Найбільші площі: Вінницька 44 тис. га (тобто мінус 5,0 тис. га до 2021 р.), Хмельницька, Полтавська та Тернопільська.

Всього посівні площі під цукрові буряки у 2022 році становили 178 тис. га., що було на 48 тис. га менше ніж у 2021 року (226 тис. га). За попередніми даними операторів ринку в 2023 р. посівна площа становитиме понад 220 тис. га.

Середня по Україні урожайність цукрових буряків у 2022 р. становила 50,2 т/га, що на 3,9 т/га більше ніж у 2021 р. (46,3 т/га). При цьому вище середнього по країні урожайність була у таких областях: Львівській (64,5 т/га), Тернопільській (56,3 т/га), Хмельницькій (51 т/га).

За 2022 рік підприємствами в Україні було перероблено майже 9 млн т цукрових буряків (це більш ніж на 1 млн т менше у порівнянні з 2021 роком – було 10,15 млн т, а раніше у 2020 р. – 8,7 млн т, 2019 р. – 9,84 млн т).

Виробництво цукру за 2022/23 маркетинговий рік склало 1,33 млн т, що є на 120 тис. т менше ніж у 2021/22 маркетинговому році – було 1,45 млн т; (2020/21 МР – 1,17 млн т, 19/20 МР – 1,48 млн т). [50, 53, 54].

Внаслідок розв'язаної росією війни відбулася тимчасова зупинка деяких масштабних інвестиційних проектів в галузі, хоча певні підприємства все ж змогли завершити суттєві процеси модернізації і впровадили проекти з енергозбереження щоб досягти підвищення енергоефективності виробництва.

Ботвиння цукрових буряків традиційно є важливим компонентом кормового раціону сільськогосподарських тварин. Вона містить до 40% поживних речовин, на високому рівні засвоюється тваринами (засвоєння енергії досягає 78%). Значну частину урожаю гички (до 90% можна силосувати, а залишки використовувати для годівлі у свіжому вигляді під час збирання (40-55 днів). Також є можливість використовувати ботвиння цукрових буряків як сировину для установок з виробництва біогазову або ж у якості органічного добрива у разі розкидання по поверхні поля під час збирання урожаю коренеплодів.

Літературні джерела свідчать, що найпоширеніші машини для збирання гички вітчизняного виробництва (БМ-6А, БМ-6Б) не завжди забезпечують необхідну якість збирання гички через недосконалість механізмів індивідуального копіювання головок коренеплодів. Перш за все це відбувається у випадках високо розвинутої гички та за випадків значних відхилень коренеплодів в рядках посівів. А тому розробка і удосконалення конструкцій машин для збирання гички та обґрунтування їх раціональних конструкційних і технологічних параметрів є актуальним завданням для сільськогосподарського машинобудування України.

Обґрунтування параметрів, розробка та удосконалення робочих органів машин для збирання гички мають базуватися на розумінні сутності процесів, які відбуваються при їх взаємодії з гичкою цукрових буряків. Необхідно використовувати сучасні теоретичні моделі, що послідовно й повно описують зазначені процеси механіко-математичними методами.

На підставі аналітичного визначення раціональних параметрів робочих органів машин для збирання гички і подальшої їх дослідної перевірки та уточнення стає можливим конструювання надійних, високопродуктивних та енергоощадних зразків, для їх використання заводами сільськогосподарського машинобудування.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності та якості збирання гички з головок коренеплодів цукрового буряку на підставі обґрунтування та

вибору раціональних конструкційних та кінематичних параметрів і режимів роботи робочих органів машини для збирання гички.

Об'єкт дослідження – робочі органи гичкозбиральної машини для транспортування і вивантаження гички та процес їх взаємодії з гичкою.

Предмет дослідження – залежності впливу параметрів та режимів роботи робочих органів на виконання технологічного процесу збирання гички.

Методи дослідження. Теоретичні пошуки проводили з використанням положень вищої математики, теорії механізмів і машин, теоретичної механіки. В

їх основу було покладено метод складання диференційних рівнянь руху, для чого

використовувалися методики, розроблені академіком Петром Мефодієвичем Василенком. Складені рівняння були розв'язані численними методами. Обробка результатів експериментальних вимірювань здійснювалась статистичними методами за допомогою програмних пакетів аналізу даних.

Завдання, що необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

– здійснити аналіз конструкцій машин для збирання гички та їх робочих органів, а також сучасного стану наукових досліджень з транспортування та вивантаження гички робочими органами різної конструкції;

– аналітично дослідити процес вивантаження гички машиною для збирання гички на підставі математичних моделей руху частинки гички по поверхнях робочих органів та обґрунтувати вдосконалення їх конструкційних і технологічних параметрів;

– провести аналіз показників якості вивантаження гички машиною для збирання гички з вдосконаленими робочими органами, за різних режимів їх роботи;

– навести оцінку економічної ефективності дослідження.

За темою магістерської кваліфікаційної роботи була представлена доповідь на засіданні секції «Механіко-технологічні процеси, робочі органи та машини для рослинництва» XXIV Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (НУБіП України, Київ, 17-19 жовтня 2023 року).

## РОЗДІЛ 1.

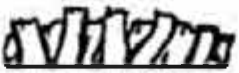
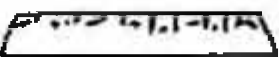
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАШИНИ ДЛЯ ЗБИРАННЯ  
ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

## 1.1. Фізико-механічні та агробіологічні властивості гички

Фізико-механічні та агробіологічні властивості гички (ботвиння) цукрових буряків досліджені та описані доволі повно. Їх врахування в період збирання дозволяє здійснювати обґрунтування раціональних конструкційних та технологічних параметрів робочих органів збиральних машин [13, 19, 36, 39].

Коренеплід цукрового буряку має конусоподібну форму, основна частина його тіла розташована у ґрунті. Верхня частина – головка, вона, як правило, розташована над рівнем поверхні ґрунту (або ж в деяких випадках буває нижча від рівня поверхні до 30 мм). Відносна частка різних частин коренеплоду в його тілі, а також вміст цукру в цих частинах наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Чистий вміст цукру в частинах коренеплоду цукрових буряків та їх відносна частка в його тілі

Назва частини коренеплоду		Відносна частка у коренеплоді, %	Чистий вміст цукру у частині, %
Головка	Коронка 	5-7	–
	Зона сплячих вічок 	6-18	9,7
Тіло		76-88	90,3
Хвостова частина		1	–

На рис. 1.1. подано можливі випадки обрізання гички (ботвиння) з коренеплодів машинами для її збирання.

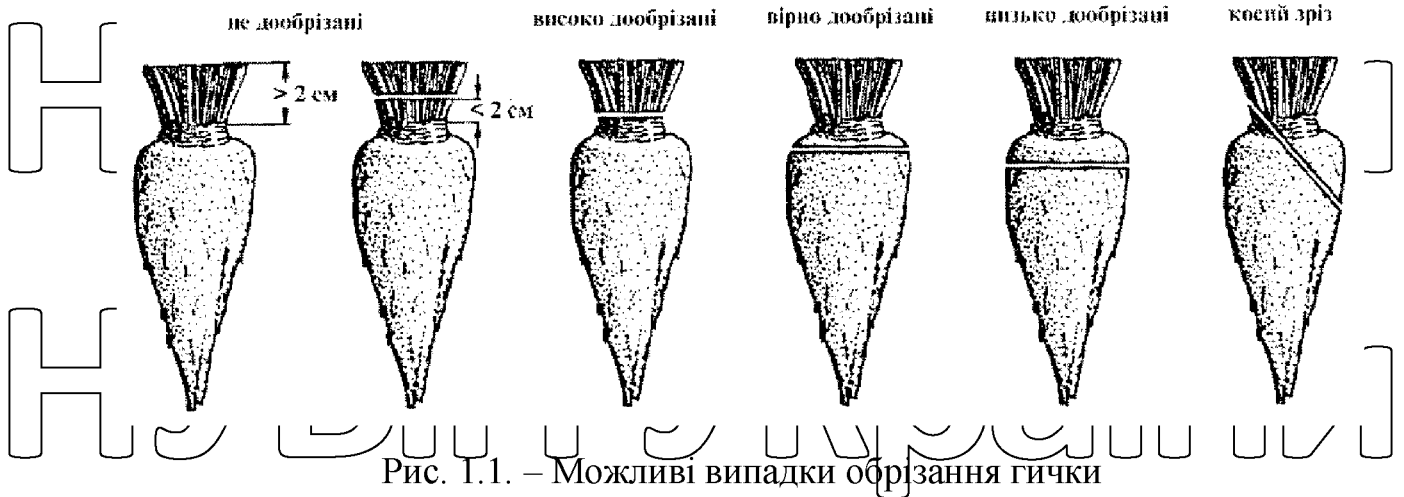


Рис. 1.1. – Можливі випадки обрізання гички

На рис. 1.2 вказано втрати маси коренеплодів залежно від випадків їх обрізання, що можуть складати до 19 %.

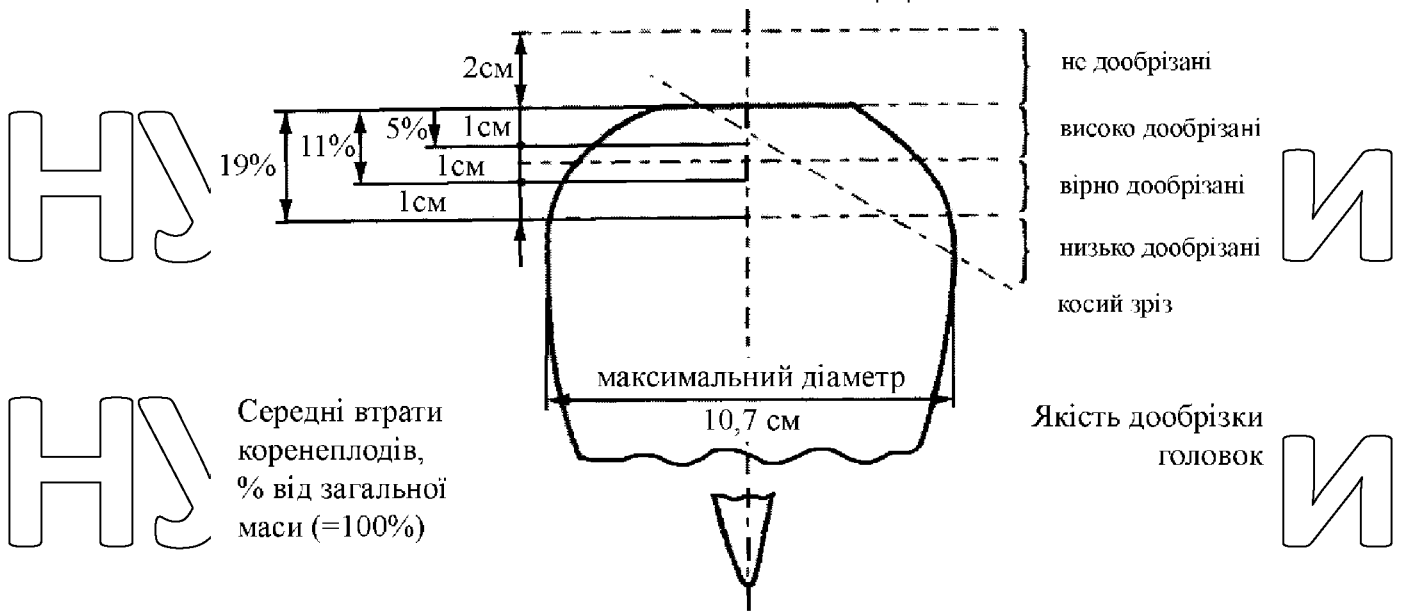


Рис. 1.2. – Можливі втрати маси коренеплодів при обрізанні ботвиння

Встановлено, що залежно від сортів, агротехніки вирощування, ґрунтово-кліматичних умов тощо, ботвиння цукрових буряків може містити 75... 85 % води, 15...22 % сухої речовини, в тому числі протеїну 2...3 %, клітковини до 2 %, зольних елементів 2 %, жиру 0,4 %, водорозчинних елементів 5...8 %. До складу сухої речовини рослин входить біля 60 хімічних елементів. За кількістю кормових одиниць та протеїну ботвиння цукрового буряку не поступається сіяним травам. 5 кг зелених листків ботвиння за поживною цінністю відповідають 1 корм. од.

Коефіцієнт відношення маси ботвиння до маси коренеплоду на час збирання становить в середньому від 0,43...0,5 до 0,67...1,5. Маса пучка ботвиння на одному коренеплоді може становити 0,11...0,89 кг.

Умови, необхідні для якісного обрізання ботвиння з 90...98 % головок коренеплодів, створюються при розташуванні на одному гектарі 100...140 тис. шт. рослин, і при допустимих відхиленнях рослин від умовної осі рядка не більше 0,03 м. Проте, спеціальними вимірюваннями встановлено, що із збільшенням густоти насаджень в межах оптимальної, збільшується і частка дрібних коренеплодів діаметром 0,03...0,04 м та коренеплодів, з формою ботвиння у вигляді правильного конуса, а із зменшенням густоти насаджень збільшується кількість великих коренеплодів, діаметром 0,12...0,14 м з великою безформною масою листків ботвиння, що важливо при обґрунтуванні деяких конструктивних і експлуатаційних параметрів робочих органів.

Суттєвим фактором, що впливає на технологічний процес зрізування ботвиння та доочищення головок, є відстань між коренеплодами по довжині рядка і розташування головок відносно поверхні ґрунту. Встановлено, що для якісного зрізування ботвиння копіювальними різальними апаратами відстань між коренеплодами має бути в межах 0,15...0,20 м.

Фізико-механічні властивості ботвиння варіюють в широкому діапазоні, вони залежать переважно від часу її росту та погодних і кліматичних умов при збиранні. Можливий спектр їх значень наведено в чисельних літературних джерелах. Деякі фізико-механічні характеристики рослин цукрових буряків наведені в табл. 1.2.

Також в літературних джерелах наведено властивості ботвиння та коренеплодів при прикладанні до них різних видів деформацій. Так, межа міцності ботвиння (найбільшого напруження, при якому відбувається її розрив) дорівнює 100...300 кПа. Розрив черешка ботвиння при розтягу відбувається в зоні найменшого діаметру, тобто там, де його переріз є найбільш ослабленим. Встановлено, що при розриві черешків і пучка ботвиння зусилля розриву залежить від висоти затискання, і є найбільшим при затисканні черешків у місці їх переходу

у листки. міцність зовнішніх черешків ботвиння складає 940 кПа, а внутрішніх – 1210 кПа.

Таблиця 1.2. – Фізико-механічні характеристики ботвиння цукрових буряків

Назва показника	Одиниця виміру	Показник
Щільність ботвиння	кг / м <sup>3</sup>	140...160
Зусилля відриву ботвиння від головки кореня	Н	50...650
Питомий опір різання коренеплодів	кН / м	3...6
Питомий опір різання ботвиння	кН / м	1...4
Коефіцієнт питомого опору ботвиння	Н / мм	2,26...2,65
опір черешків ботвиння розриву:	зовнішніх	0,94
	внутрішніх	1,21
Робота руйнування зв'язку черешків ботвиння з головками коренеплодів (при дотичному прикладенні сили)	Дж	33,90

Поперечне стискання ботвиння, при якому абсолютна деформація становить 0,70...0,80, вже супроводжується появою на її стеблах та листках тріщин з подальшим виділенням з них соку, що, в свою чергу, прискорює процеси бродіння у зібраній масі ботвиння, збільшує подальші втрати соку при її транспортуванні та зберіганні. Це, надалі, зменшує кормові властивості ботвиння цукрових буряків.

Водночас, проведені дослідження показали, що незібрані залишки коренеплодів, і ботвиння, яка подрібнена та розкидана по ланці, а в подальшому заорана, швидко розкладаються у ґрунті (за рік майже на 96%). Цім створюються умови для використання ботвиння цукрового буряку як органічного добрива.

Проте ботвиння цукрових буряків є цінним кормом для худоби, яка поїдає її із задоволенням і в достатній кількості. Ботвиння містить 24-40% поживних речовин, що утворюються протягом періоду вегетації. Відзначається, що ботвиння добре засвоюється (засвоєння енергії 74-78%), і ця її властивість набуває особливого значення внаслідок потреби посиленого забезпечення потреби великої

регатої худоби в енергії та поживних речовинах як з точки зору економічної, так і з урахуванням фізіології живлення. За концентрацією енергії та поживних речовин силос з ботвиння цукрових буряків є цілком порівняним з іншими високоякісними консервованими грубими кормами. Переважна частина урожаю ботвиння – біля 85-90% – може силосуватися, залишок (10-15%) згодовується в свіжому вигляді в період збирання, який триває 30-50 днів.

В методичній літературі також викладені основні принципи заготівлі силосу з ботвиння цукрових буряків та комбінованого силосу (разом із подрібненою соломою), який також можна використовувати для годівлі свиней і птиці (качок, гусей).

Критеріями якості ботвиння є перш за все вміст головок та ступінь забруднення, згідно яким визначаються як поживна цінність, так і придатність ботвиння до силосування. Ботвиння без головок внаслідок свого хімічного складу заброджується погано. Тому приготування стабільного силосу із ботвиння цукрового буряку потребує певного вмісту в ній головок, які підвищують концентрацію енергії в силосі. Як правило, добре заброджується свіжа слабо забруднена та подрібнена ботвиння, зібрана з товщиною зрізу головок 1 см (стандартна висота зрізу). В окремих випадках, особливо при забруднених та не подрібнених листках, надійне зброджування можливе лише при товщині зрізу головок 2 см. Забрудненість ботвиння характеризується вмістом сирової золи в сухій речовині: <20% – незначна забрудненість, 20,1-24,0% – середня, 24,1-28,0% – висока, 28,1-34,0 – дуже висока, >34 – неприпустима.

Важливим фізико-механічним показником рослинних матеріалів є коефіцієнт тертя по шорстких робочих поверхнях (по сталі, по гумі, по будь-якій забрудненій ґрунтом поверхні і т.п.), його значення змінюються у значних межах: 0,4...1,2 для ботвиння і 0,5...0,9 для коренеплодів.

Робочі органи вдосконалених конструкцій механізмів для зрізування, транспортування та завантажування ботвиння мають забезпечувати високоякісне виконання технологічного процесу навіть при граничних значеннях її агробіологічних та фізико-механічних властивостей.



## 1.2. Аналіз технологій збирання цукрових буряків

Розрізняють декілька основних способів механізованого збирання цукрових буряків, які застосовують в Україні: потоково-перевалочний, перевалочний та потоковий [15, 16, 24, 34]. Залежно від умов ґрунтово-кліматичних, розмірів ділянок та стану рослин на час збирання обирають певну технологію і засоби механізації.

Найбільш розповсюдженими технологіями механізованого збирання буряків є одно-, дво- та трифазна (за кількістю проходів для здійснення технологічного процесу або машин, що застосовуються).

При однофазній технології передбачається збирання переважно комбайнами за один прохід. Виконуються: зрізання ботвиння з головок, її збирання і транспортування або подрібнення та розкидання по полю, викопування коренеплодів, очищення та завантаження в бункер або в транспортні засоби, що рухаються поруч. Пристрої для зрізання встановлюють попереду агрегату збирального.

При двофазній технології використовують два варіанти. Перший передбачає, що за перший прохід агрегату збирального видаляють ботвиння з головок і викопують коренеплоди, а їх самих укладають валок на полі. Другий прохід підбирають валки і загрузають у транспорт. Другий варіант передбачає за перший прохід лише видаляти ботвиння, як правило, окремими машинами для збирання ботвиння. В подальшому машиною для збирання коренів викопують коренеплоди, очищають їх від ґрунтових домішок і завантажують у транспорт.

Ця технологія поширена у країнах Західної Європи (Великобританія, Франція, Німеччина, Чехія, Польща, Данія, Нідерланди тощо) та у США і Канаді. Вона надає можливість підвищити якісні показники збирання. Також вона зменшує транспортні витрати.

Трифазна технологія передбачає виконання кожної операції, а саме зрізання ботвиння, викопування і укладання у валок коренеплодів, підбір валків, очищення і завантаження у транспорт) окремими машинами: для збирання ботвиння, для

збирання коренів і підбирачем-завантажувачем. Такі машини є високопродуктивними і мають високу якість виконання техпроцесу збирання. Проте також вони більш металомісткі. Вони потребують додаткових транспортних засобів. Також вони збільшують ущільнення ґрунту (його верхнього шару).

Потоковий спосіб передбачає безпосереднє транспортування коренеплодів цукрових буряків від машини для збирання коренеплодів або бункерного комбайна до приймального пункту цукрозаводу. Його застосовують в разі отримання коренеплодів зі ступенем якості, що відповідає стандартам. При цьому ботвиння збирають і відвозять до місць використання (годівля худоби, силосування), або подрібнюють і розкидають по полю.

Перевалочний спосіб передбачає забирання коренеплодів від машин для збирання коренеплодів або комбайнів й їх кагатування (складання їх у високі, до метра, довгі валки (кагати) безпосередньо на полі). Далі буряконавантажувачі-очисники додатково очищують коренеплоди від домішок (ґрунтових та рослинних). Коренеплоди завантажують у транспортні засоби і транспортують на приймальні пункти цукрозаводів. Цей спосіб використовують в разі складних умов збирання. Тоді, коли робочі органи машин не в змозі забезпечити належний рівень якості коренеплодів (у вороху наявні ґрунтові та рослинні рештки). Також його використовують за недостатній кількості транспортних засобів для відвезення коренеплодів буряку до цукрозаводу безпосередньо від машин для збирання коренеплодів.

Потоково-перевалочний спосіб поєднує вказані вище способи і передбачає частину коренеплодів від машин для збирання коренеплодів безпосередньо транспортувати на приймальні пункти цукрозаводів, а частину складати в кагати. Цей спосіб обумовлюється організацією проведення збиральних робіт і наявністю транспортних засобів.

Отже, залежно від технології проведення збиральних робіт та способу транспортування коренеплодів, можна застосувати одну певну з можливих комбінацій механізованого збирання.

### 1.3. Конструкції машин для збирання гички та їх робочі органи

Підґрунтям роботи більшості робочих органів, що видаляють ботвиння з коренеплодів буряків, є зрізування без підпору чи з підпором та відбивання, що фактично зчісує ботвиння та черешки [7, 15].

При зрізуванні ботвиння з головки відбувається процес роботи леза, при цьому конструкційні та технологічні його параметри можуть бути різноманітними. Зусилля зрізу може бути прикладеним до пучків ботвиння у площинах вертикальній, горизонтальній та похилій.

Може варіюватися форма ножів та лез: у вигляді шаблєподібних ножів, сегментів, ножів певної форми тощо.

Робота ножів апаратів для зрізання ботвиння пов'язана з робочими органами для транспортування та вивантаження, що здійснюють відведення зрізаної маси ботвиння. Це можуть бути шнекові транспортери, бітери, гумові стрічки тощо.

Видалення ботвиння з головок коренеплодів методом відбивання відбувається внаслідок механічної дії робочих органів на неї під час удару. Таким чином, напрям, сила, форма робочої поверхні при взаємодії робочого елемента з головою коренеплоду, а також його механічні властивості (жорсткість, пружність тощо) впливають на багато пристроїв. Видалення ботвиння з головок цукрових буряків методом удару широко використовується, перш за все в доочисниках головок коренеплодів, які очищають головки коренеплодів на корені від будь-яких домішок.

Конструктори створили велику кількість робочих органів, вузлів і компоновальних схем для машин для збирання ботвиння по всьому світу. Ця різноманітність пов'язана з різними підходами до вибору, розрахунку, проектування, дослідження та впровадження їх у виробництво. Отже, потрібен класифікований підхід, який враховує особливості робочих органів, схеми компоновання, методи роботи, конструкційно-технологічні схеми бурякозбиральних комплексів і специфічні умови експлуатації.

Класифікацію механізмів машин для збирання ботвиння з головок коренеплодів [42] наведено на рис. 1.3.

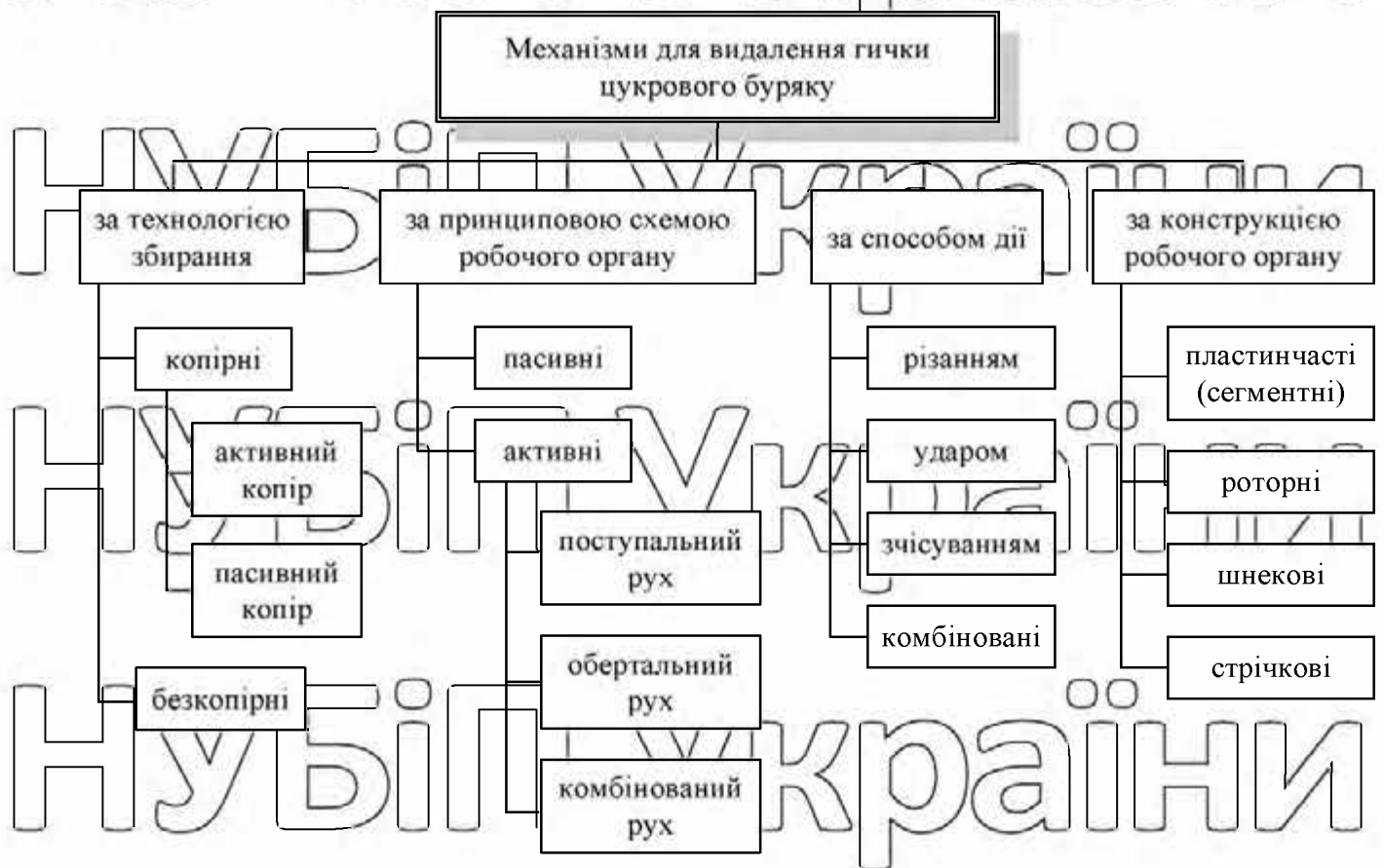


Рис. 1.3. – Класифікація механізмів для видалення ботвиння з головок

Далі, на рис. 1.4, показано класифікацію механізмів для транспортування та вивантаження ботвиння.



Рис. 1.4. – Класифікація механізмів для транспортування та вивантаження ботвиння, які застосовуються у машинах для збирання ботвиння

Зі схем бачимо, як показує багаторічний досвід, при застосуванні нових конструкцій робочих органів потрібно використовувати велику кількість взаємопов'язаних, взаємообумовлених принципів, щоб забезпечити якісне виконання конкретного технологічного процесу в буряківництві.

При цьому початковою умовою є та чи інша технологія збирання цукрового буряку в цілому, а також окремо технологія збирання ботвиння. Далі виникає потреба у виборі принципової схеми механізмів для видалення, транспортування та завантаження ботвиння і способу їх дії.

Однак, в цілому, критеріями при такому виборі слід вважати якість

виконання технологічного процесу збирання ботвиння, простоту конструкції і надійність роботи, меншу метало - та енергоємність.

Апарати для зрізання ботвиння можна поділити на три основні категорії відповідно до принципу роботи різальних елементів. (рис. 1.5):

1. з поступальним рухом різальних елементів (рис. 1.5 а);

2. з комбінованим рухом різальних елементів, зворотно-поступальним тощо (рис. 1.5 б);

3. з обертальним рухом різальних елементів (рис. 1.5 в).

4.

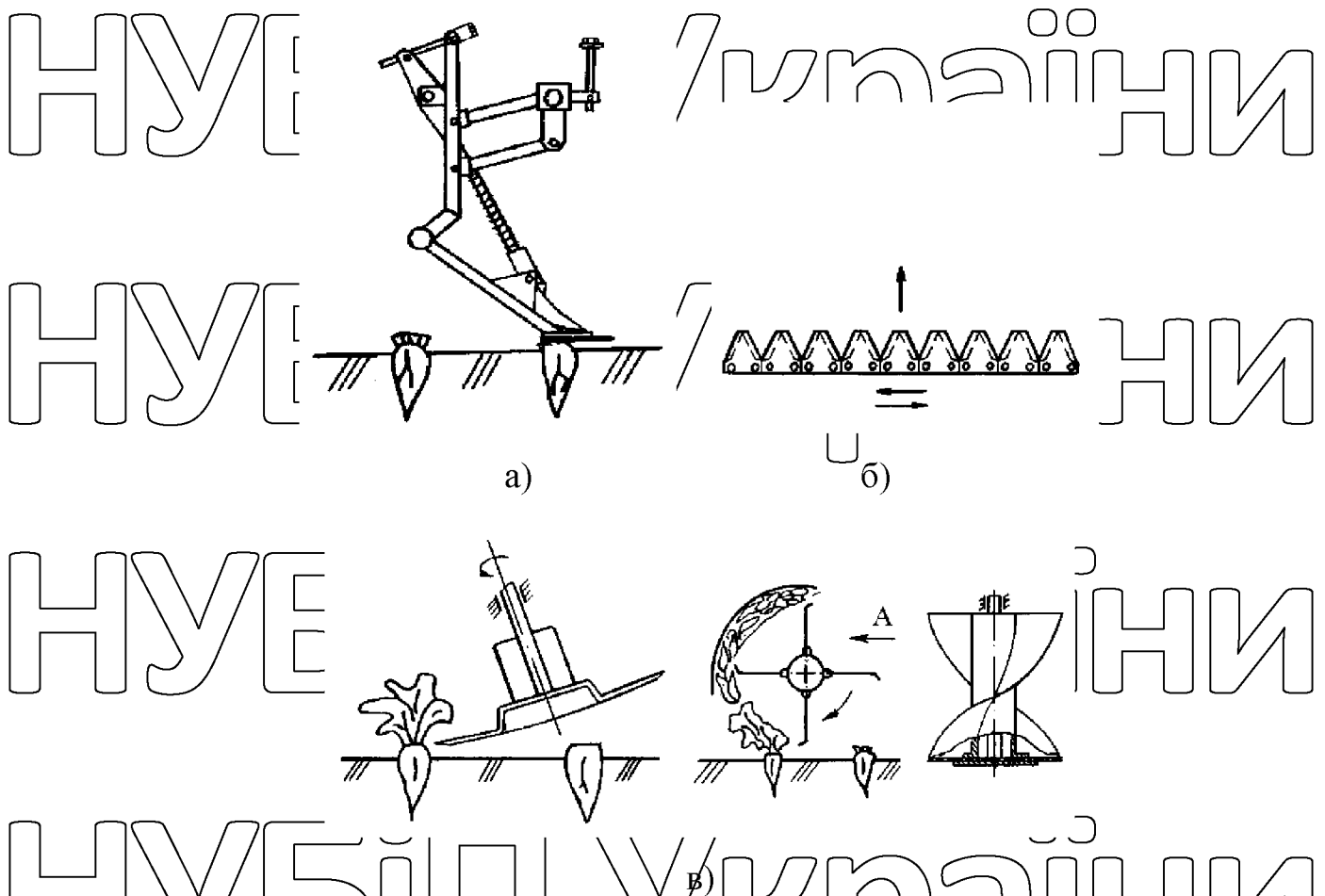


Рис. 1.5. Типи апаратів для зрізання ботвиння за дією різальних елементів:

а – з поступальним рухом, б – з комбінованим (зворотно-поступальним) рухом,

в – з обертальним рухом

Коротко проаналізуємо роботу вказаних різальних апаратів.

Незважаючи на просту конструкцію, перший тип апаратів для зрізання ботвиння не використовувався в промисловості в нашій державі через низьку якість і ненадійність виконання технологічного процесу. Це пов'язано з тим, що різальний апарат забивається швидко на ділянках з високою врожайністю ботвиння та забур'яненістю, що призводить до неякісного зрізування ботвиння. У цьому випадку коренеплоди буряків витягуються з ґрунту, як показано на схемі. Конструкція цього різального апарату не дозволяє ефективно відводити масу, яка була зрізана, від зони різання. Таким чином, апарати для зрізання ботвиння цього типу можуть працювати ефективно тільки тоді, коли ботвиння ще не завершено (або коли ботвиння з коренеплодів вже зрізано) і коли коренеплоди міцно прикріплені до ґрунту. В машинах для збирання ботвиння виробництва Franz Kleine, Stoll (ФРН), Hertiau (Франція), WIC (США) тощо застосовують апарати для зрізання ботвиння з пасивним ножем тільки як дообрізувачі головок коренеплодів.

Апарат для зрізання ботвиння іншого типу (рис. 1.5 б), фактично здійснює зворотний-поступальний рух і виконує суцільний зріз ботвиння на певній висоті. Різальні апарати такої конструкції мають, наприклад, комбайни А-500 Volvo. Ці машини можуть працювати на невеликих швидкостях і можуть якісно обрізати до 70% цукрових буряків. Недосконалість конструкції таких робочих органів (значні знакозмінні навантаження, складність у підтримуванні постійного зазору між ножем і протилезом, значне зношування поверхонь тертя в разі попадання значної кількості вологого ґрунту на поверхні тертя) дуже обмежує їх широке застосування у буряківництві. Апарати для зрізання ботвиння такого типу не знайшли широкого розповсюдження.

Наступним типом апаратів для зрізання ботвиння є апарати, робочі елементи (ножі) яких обертаються навколо осі, тобто апарати роторного типу (рис. 1.5 в). Існує значна кількість роторних апаратів для зрізання ботвиння, яку можна розділити на такі типи (саме в залежності від розташування осі їх обертання):

1. з горизонтальною віссю обертання;
2. з вертикальною віссю обертання;
3. з похилою віссю обертання.

Робочі органи роторного типу з горизонтальною віссю обертання мають шарнірне кріплення на валу ножів, які зрізують ботвиння і одночасно переводять її на вивантажувальний транспортер, який розташований по всій ширині захвату. Таким чином, такі робочі органи здійснюють зрізання ботвиння без підпору.

Робочі органи такого типу широко застосовують у машинах для збирання буряків виробництва компаній Stoll, Matrot, Holmer, Franz Kleine, Herriau, Moreau, P. Barigelli & C., Guaresi тощо. Такі різальні апарати характеризує висока продуктивність за будь якої врожайності ботвиння і забур'яненості плантації.

Недоліком таких робочих органів є те, що вони занадто сильно подрібнюють ботвиння внаслідок високої коллоїдності елементів. Це трапляється ще внаслідок подвійного (або багатократного) зрізу ботвиння.

Машини для збирання ботвиння, з робочим елементом у вигляді вертикально розташованого активного шнека, кінець якого має лезо (Tim (Данія), Garford Victor (Великобританія), Juco (Фінляндія)), або ж де є активний диск з похилою віссю обертання (Joyn Deere, Gachpole (США)), також широко застосовують.

Машинах виробництва нашої країни також застосовуються апарати для зрізання ботвиння з похилою віссю обертання. Проте, вони зрізування ботвиння є добрим тільки за малих робочих швидкостях машини для збирання ботвиння (до 1,5 м/с) та за врожайності ботвиння до 50 т/га.

В Україні та в інших країнах Східної Європи можуть збирати весь врожай ботвиння, з метою годівлі худоби. Це обумовлює підвищені вимоги щодо втрат ботвиння та забрудненості ґрунтом.

Такі вимоги до збирання ботвиння, як правило, можна реалізувати машинами для збирання ботвиння, які здійснюють одностадійне зрізування. Тобто, за один прохід ботвиння зрізується по профілю головки коренеплоду буряку і збирається. При транспортуванні ботвиння всередині машини для збирання ботвиння до вивантаження в кузов транспортного засобу відбувається часткове його очищення від ґрунтових домішок. Технологічний процес збирання ботвиння закінчується після того, як буде здійснене остаточне доочищення головок коренеплодів від черешків і рослинних залишків.



Розглянемо конструкційні особливості апаратів для збирання ботвиння, які здійснюють зрізання в одну стадію. Такі апарати сприяють якісному збиранню, що робить ботвиння придатним для використання.

В машинах зі зрізуванням ботвиння в одну стадію застосовуються різальні апарати типів: "пасивний копір" – "активний ніж" і "активний копір" – "пасивний ніж". Такі апарати повинні мати конструкцію, в яку обов'язково входить ніж та копір і механізм їх зв'язку кінематичного.

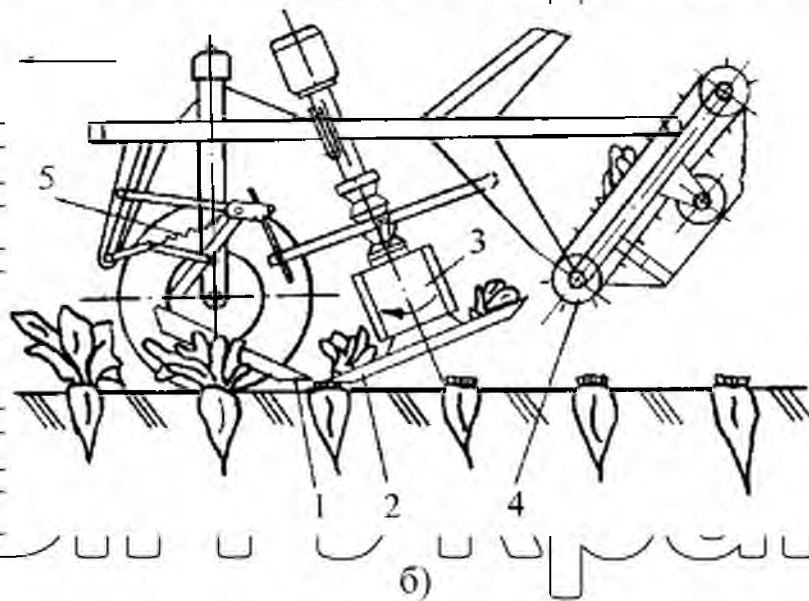
Перший з вказаних типів різальних апаратів розроблений більш ніж 40 років тому. Його застосовують у машинах для збирання ботвиння вітчизняного виробництва – БМ-6А і БМ-6Б. Ці машини здатні здійснювати технологічний процес збирання ботвиння при врожайності близько 50 т/га, схема апарату машини БМ-6 наведена на рис. 1.6.

Працює така конструкція наступним чином: пасивний копір 1 наїжджає на головки коренеплодів і через систему тяг і важелів піднімає (або опускає) і встановлює ніж 2 на висоту, потрібну для забезпечення якісного обрізання ботвиння з головки коренеплоду. Розмір відрізаної частини головки коренеплоду разом з ботвинням визначається вертикальним зазором між лезом ножа 2 і опорною поверхнею копіра 1. Зрізаний пучок ботвиння лопатями бітера 3, який встановлено на приводному валу, перекидається на поперечний транспортер 4, розташований позаду, а копір 1 і ніж 2, в залежності від положення наступного коренеплоду буряку, виконують його копцювання (або опускається в початкове положення або піднімається), і відбувається наступне зрізування ботвиння.

З конструкційної схеми такого різального апарату, слідус, що його рухомі частини можуть коливатись з обмеженою частотою. Для забезпечення необхідної швидкодії цієї автоматичної системи копцювання застосовують завантажувальна пружина 5, яка протидіє відриву копіра 1 і ножа 2 від головки коренеплоду в момент зустрічі з ним і прискорює повернення всієї системи у вихідне положення після обрізування наступного коренеплоду.



а)



б)

Рис. 1.6. Машина для збирання ботвиння БМ-6 (Україна):

а) — вигляд загальний; б) — схема робочих органів

З початку експлуатації машини для збирання ботвиння такого типу ніж 2, який застосовується для зрізання ботвиння, був круглим з гострим лезом. Він гарно працює при слабо і середньо розвинутій гичці, а при наявності великій забур'яненості бурякової ланки, особливо при великій кількості суцвіть цукрових буряків та висових стеблі бур'янів, він вже не забезпечує якісних показників обрізання головок коренеплодів та збирання ботвиння.

Як зазначено вище, різальні апарати типу "активний копір" – "пасивний ніж" знайшли застосування у машинах західного виробництва. Тривалий час експлуатації таких апаратів для зрізання ботвиння показав, що вони забезпечують якісне зрізування ботвиння лише при поступальних швидкостях до 1,5 м/с і, як правило, використовуються при роботі на плантаціях з високо розташованими та слабо закріпленими у ґрунті коренеплодами буряків.

Конструктивна схема різального апарату типу "активний барабан" – "пасивний ніж" наведена на рис. 1.7.

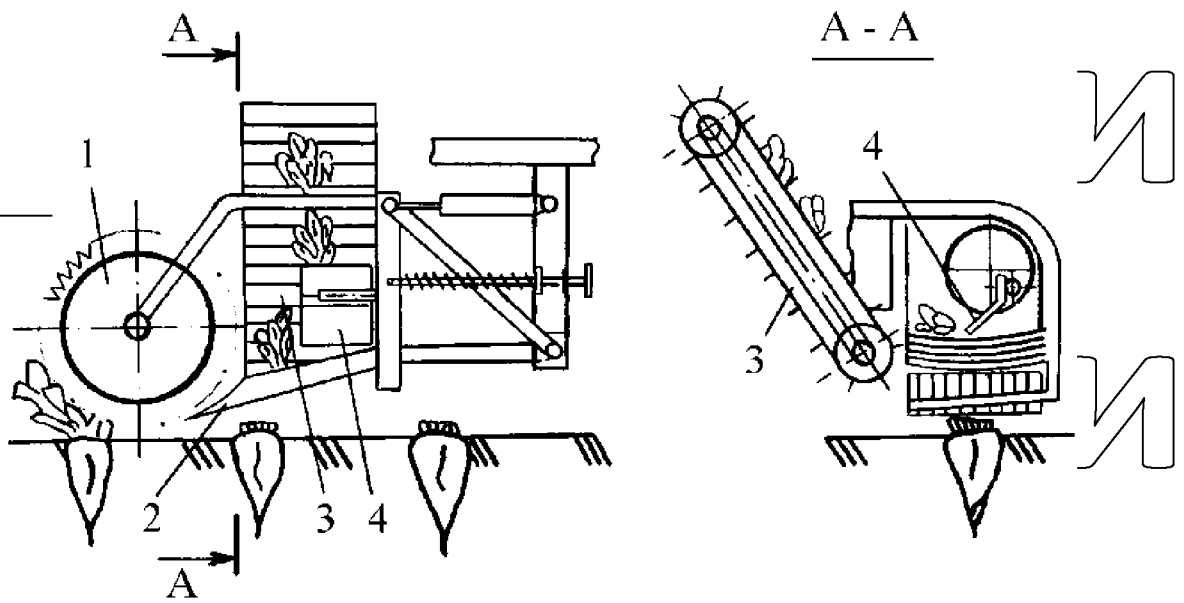


Рис. 1.7. Конструкційно-технологічна схема гнчкорізного апарату типу "активний копір" – "пасивний ніж"

Процес роботи апарату (рис. 1.7): активний копіюючий барабан 1, який шарнірно з'єднаний з основною рамою, рухається по головках коренеплодів буряків і, одночасно примусово обертаючись, зтягує ботвиння на пасивний ніж 2, який, кінематично зв'язаний з барабаном 1, відрізає пучки ботвиння. Зрізані пучки ботвиння переводяться на поперечний транспортер 3 за допомогою ексцентрично закріпленої на активному диску лопаті 4. Така конструкція знайшла застосування у машинах для збирання буряків фірми HUNTER.

До переваг таких конструкцій слід віднести максимально повне зрізання ботвиння і зменшення енерговитрат на очищення головок. Проте ці апарати для зрізання ботвиння мають досить складну конструкцію, велику металомісткість, і при великій забур'яненості бурякової ланки можуть забиватися. Складність конструкції та великі габаритні розміри сприяли тому, що даний тип апарату для зрізання ботвиння не мав великого розповсюдження.

Іншим напрямком у розвитку апаратів для зрізання ботвиння є поєднання процесів зрізування ботвиння, відведення її з зони зрізу і послідуєче доочищення головок коренеплодів від залишків, що фактично виконуються одним робочим органом. Існує апарат для зрізання ботвиння за патентом Швеції №315766, який виконано у вигляді горизонтального пружно-пруткового барабану. Під час роботи барабан примусово обертається і одночасно перекочується по головках коренеплодів буряків, копіюючи їх. При цьому ботвиння потрапляє в простір між прутками, зрізується, залишаючись у внутрішній частині барабану. Через вікна, які виконані у дисках, а також між прутками з боків, подрібнене ботвиння викидається на поверхню ґрунту. В разі забивання ботвинням (наприклад, при високій врожайності), або стеблами насінників буряків такий апарат для зрізання ботвиння повністю втрачає працездатність.

В літературі також є технічні рішення, в яких на одній похилій осі обертання одночасно розташовані ніж для зрізання основної маси ботвиння і доочищувач головок коренеплодів від залишків. Доочищувач, як правило, буває закріплений до нижньої торцевої поверхні ножа. Тоді зрізання основної маси ботвиння відбувається краєм деза ножа, а в подальшому, при поступальному русі, торцева частина найближча до обрізаної головки і доочищувач позбавляє її від залишків. Робочими елементами доочищувача можуть бути ножі, пружини, щітки, еластичні пальці, ланцюги тощо.

Механізми для зрізання ботвиння безкопінного типу знайшли широке застосування у конструкціях бурякозбиральних машин, які взагалі не передбачають збирання ботвиння у транспортні засоби, а навпаки, подрібнюють і розкидають його на поле.

В механізмах для зрізання ботвиння безкопінного типу застосовують робочі органи стрічкового, гвинтового та роторного типу. Ці робочі органи забезпечують попереднє зрізування основної маси ботвиння, після чого видаляють залишки пасивні або активні доочищувальні пристрої.

Апарат для зрізання ботвиння роторного типу з горизонтальною віссю обертання робочих органів має широке поширення. Так, в компоновальній схемі бурякозбирального комбайна Multo-6 німецької фірми Fahse (рис. 1.8) застосовується апарат, який основну частину ботвиння спочатку зрізує горизонтальним ротором 1 з шарнірно встановленими ножами 2, і по направляючому штифту подає її на гвинтовий конвеєр 3, який відводить її на зібрану частину ланки. Далі дообрізування головок коренеплодів пасивним ножом 4 і дисковим копиром 5. Через шестигранний барабан 6 зрізані залишки ботвиння подаються у жолоб 7. З жолоба 7 черешки захоплюються ножами 2 і разом зі зрізаним листям ботвиння з нових коренеплодів подаються на гвинтовий конвеєр 3. Після цього відбувається викопування коренеплодів буряків з ґрунту, але за дообрізувачем над віброкопачем розташований ще один доочишник головок коренеплодів 8, виконаний у вигляді дволопатевого бітера з гнучкими лопатями, який остаточно доочищає головки коренеплодів від решток, а також частково тіла коренеплодів від ґрунтових домішок.

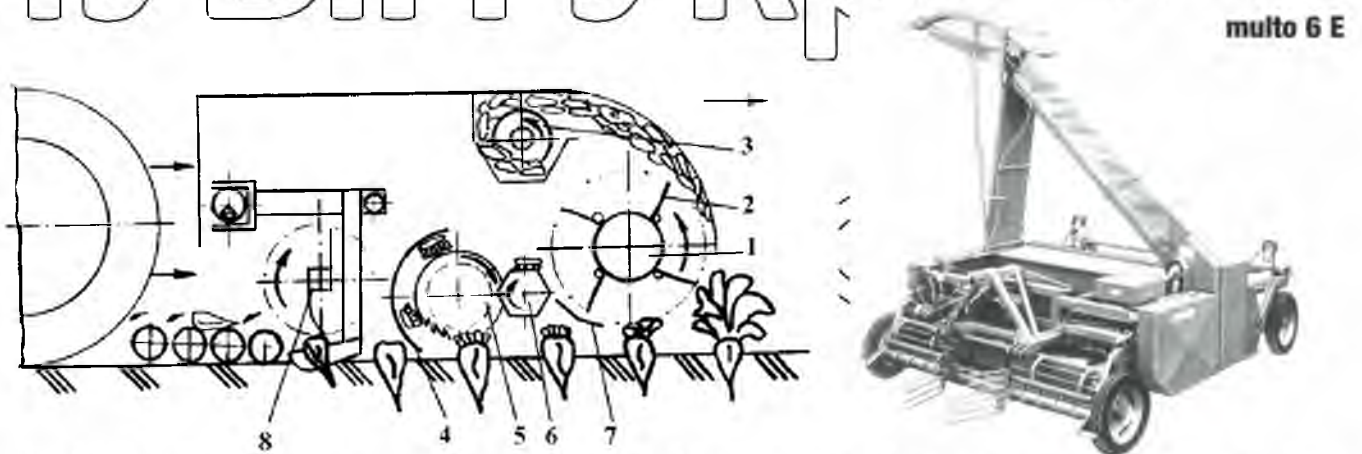


Рис. 1.8. Схема конструкційно-технологічна машини для збирання буряків виробництва FAHSE

Тип апаратів для зрізання ботвиння роторного типу з горизонтальною віссю обертання є поширеним і знайшов застосування у багатьох бурякозбиральних машинах фірм Franz Kleine, Stoll, Holmer (Німеччина); Moreau, Herriau, Matrot (Франція); P. Barigelli & C, Rimeco, Guaresi, Itallo svizzera (Італія) та ін. Аналіз конструкцій апаратів для зрізання ботвиння вказаних бурякозбиральних машин показує, що вони один від одного принципово не відрізняються.

Такий самий тип апаратів для зрізання ботвиння застосовується і на бурякозбиральних машинах вітчизняного виробництва: МБК-6, КІР-1,5 та розроблених нещодавно БС-6, МБС-6, МГР-6.

Наступним типом апаратів для зрізання ботвиння є механізми шнекового типу. Цей тип апарату для зрізання ботвиння має вертикально встановлений шнек, який має з нижньої торцевої частини закріплені ножі, що обертаючись, зрізають ботвиння заточеними торцевими кромками, а витками багатозахідної спіралі шнека транспортують її на зібрану частину ланки. Підпором, що обов'язково необхідний при транспортуванні шнековим транспортером, для зрізаної ботвиння, в процесі її переміщення в вертикальному напрямку, виступають встановлені як еластичні, так і жорсткі напрямні щитки.

Представником апарату для зрізання ботвиння з вертикальним шнековим гичкорізом є частина для збирання ботвиння бурякозбирального комбайна фірми Garford Victor (рис. 1.9).

Встановлений на основній рамі апарат для зрізання ботвиння шнекового типу 1 зрізає основну масу ботвиння і видаляє її збоку на убрану частину ланки. Він має позаду доочисник головок коренеплодів від залишків, виконаний у вигляді двох привідних очисних барабанів 2, бокові диски яких з'єднані похилими металевими прутками. Кожен з очисних барабанів 2, за допомогою пружин притискається до головок коренеплодів і, примусово обертаючись, здійснює коливальні рухи, забезпечуючи тим самим ефективне копірування головок коренеплодів і зрізування залишків. Дана сукупність шнекового апарату для зрізання ботвиння і барабанних очисників досить ефективно виконує процес видалення ботвиння.

Подібну конструкцію робочих органів має вітчизняна машина МІ Ш-6.

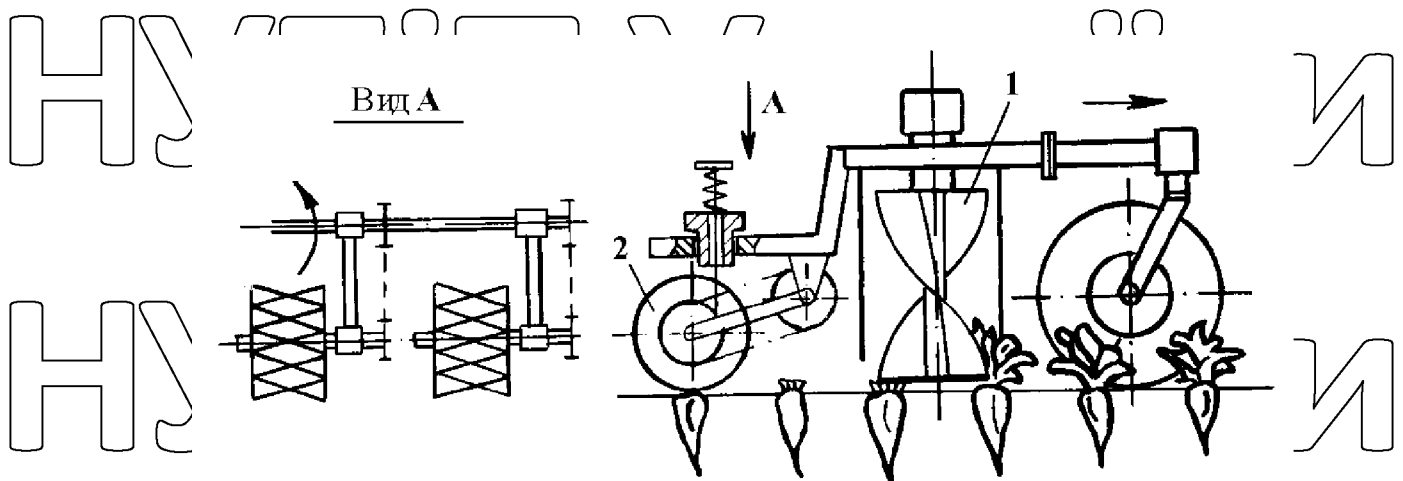


Рис. 1.9. Схема конструкційно-технологічна роботи машини для збирання ботвиння виробництва компанії Garford Victor

Інша конструкція безкопінного типу, у якій пропонується розташування на двох вертикальних валах барабанів, на які встановлено нескінченне полотно з високоміцного еластичного матеріалу, до нижньої поверхні якого прикріплені ножі для зрізання ботвиння. Таку схему (рис. 1.10) застосовано у механізмах для зрізання ботвиння бурякозбиральних машин Т-5 Thyregod (патент Данії №142931).

Технологічний процес зрізання ботвиння здійснюється таким чином, що під час роботи барабани обертаються і ріжучі елементи 2, отримавши поступальний рух, зрізають ботвиння, а скребки 3 виносять її на зібрану частину ланки.

Такий тип апарату для зрізання ботвиння широкого застосування не отримав, оскільки він є не досить досконалим і потребує подальших досліджень та конструкторських доопрацювань.

Перевагою апаратів для зрізання ботвиння без копіювання над апаратами з копіюванням є простота конструкції, габаритні розміри, вища надійність в експлуатації. Проте при їх використанні подальший процес доочищення головок коренеплодів від залишків ботвиння потребує енергомістких складних пристроїв.

Це питання вирішують шляхом додаткового обрізання головок коренеплодів на корені, іноді для гарантованого обрізання занадто низько, як наслідок відбувається втрачання сировини, яка містить близько 10% цукру.

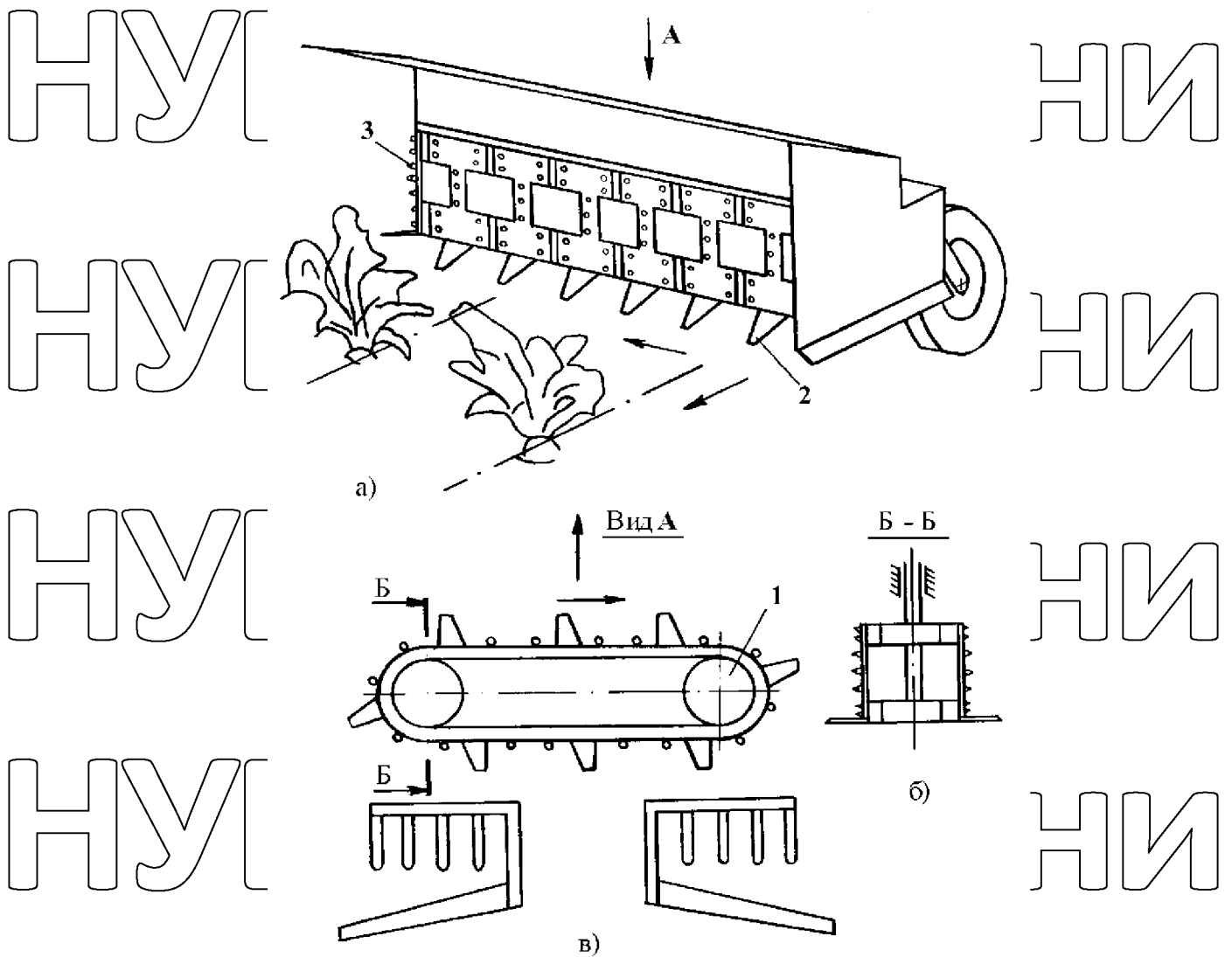


Рис. 1.10. Схема машини для збирання ботвиння  
виробництва компанії Thuregod

У США поширення набули механізми для видалення ботвиння, робочі органи яких основну масу ботвиння вибивають за допомогою еластичних, або пружних елементів. Їх характеризує розташування на горизонтальних валах еластичних елементів (ланцюгів, бичів і т.п.), на периферії яких закріплені металеві пластинки різної конфігурації.

Наприклад, машина для збирання ботвиння виробництва компанії WIS (рис. 1.11) спочатку видалляє ботвиння трьома послідовно розташованими роторами 1 з еластичними бичами 2, а потім пасивними масивними дообрізувачами 3 з



контрами, які мають форму півкола, і ножами, встановленими під кутом  $60^\circ$  до напрямку руху машини для збирання ботвиння.

За аналогічною схемою працює й причіпна машина для видалення ботвиння РБМ-6 виробництва ОАО Белгородский завод "РИТМ".

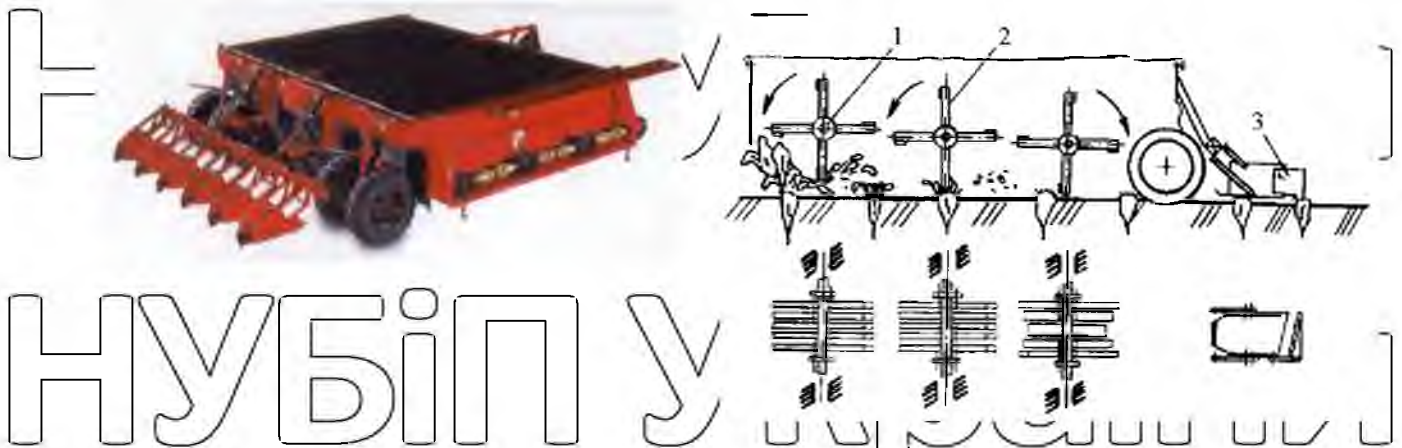


Рис. 1.11. Машина причіпна для збирання ботвиння виробництва компанії WIC:

а – загальний вигляд; б – схема робочих органів

В таких машинах висота розташування роторів над рівнем поверхні ґрунту зменшується у напрямку, протилежному напрямку руху машини для збирання ботвиння.

У перших роторів всі бичі мають однакову довжину і містять металеві зубчики на кінцях, а у третього, що виконує функцію доочишника – лише ті, що проходять по боках від умовної осевої лінії рядка коренеплодів буряків, що буде сприяти гарному очищенню бокових поверхонь головок коренеплодів.

До недоліків таких конструкцій механізмів для зрізання ботвиння відносять великі габаритні розміри. Вони більш металоємні і енергоємні в порівнянні з іншими конструкціями, однак можуть ефективно працювати на ланках з високо розташованими над рівнем поверхні ґрунту коренеплодами буряків. При високій врожайності ботвиння та густоті насаджень коренеплодів можливе забивання робочих органів, що погіршує показники якості даного технологічного процесу.

Оббивання ботвиння еластичними робочими органами часто також використовується на збиранні кормового буряка. У цьому випадку механізми для видалення ботвиння повинні забезпечити повне оббивання ботвиння, не

пошкоджуючи і не вивертаючи із ґрунту коренеплоди, в яких, як відомо, значна частина виступає над рівнем ґрунту.

Внаслідок цього еластичні робочі органи, виготовлені з прогумованої стрічки, не можуть бути застосовані для видалення ботвиння кормових буряків, оскільки характеризуються високою ударною властивістю, що може привести до вибивання коренеплодів з ґрунту. Необхідно застосовувати еластичні бичі з гуми круглого поперечного перерізу. Також технологічні характеристики таких механізмів для видалення ботвиння вибирають з врахуванням зв'язків коренеплодів кормових буряків з ґрунтом, їх розташування, фізико-механічних властивостей ґрунту тощо.

Конструкцію механізму для видалення ботвиння з коренеплодів кормового буряку розроблено та досліджено в УНДІСГОМі, м. Харків (рис. 1.12).

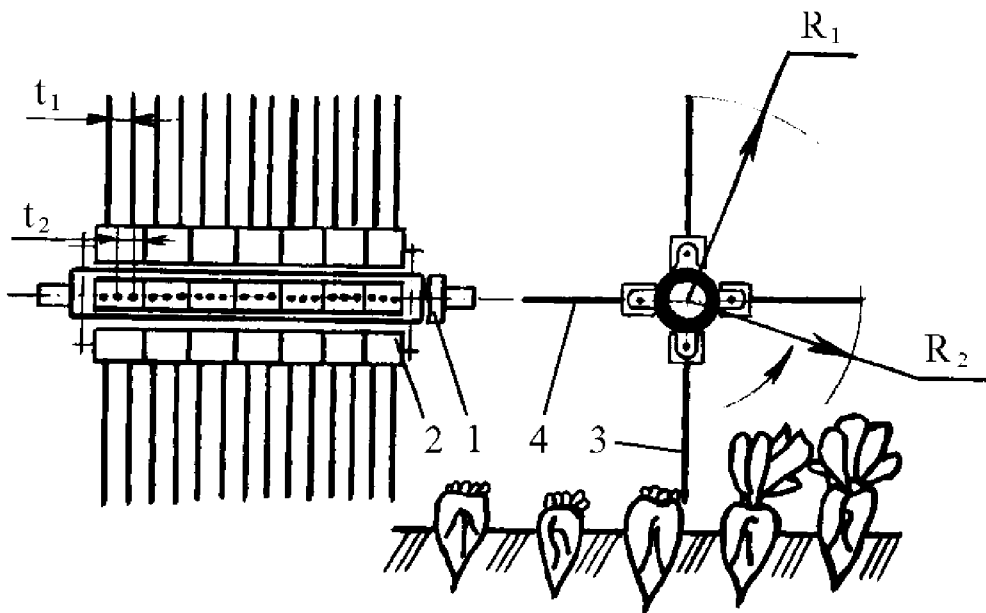


Рис. 1.12. Схема апарату для зрізання ботвиння роторного типу

На горизонтальному валу 1 за допомогою кронштейнів на осях вільно встановлені фіксуючі обойми 2, в яких у взаємно перпендикулярних площинах закріплені пруткові еластичні бичі 3 і 4 різної довжини. Очисні елементи 3 розташовані на більшому радіусі обертання  $R_1$  з кроком  $t_1$ . Еластичні бичі 4 меншої

довжини встановлені на радіусі обертання  $R_2$  з кроком  $t_2$ , який у 1,4...1,6 рази менший від кроку  $t_1$  розташування бичів 3.

Цей механізм для видалення ботвиння працює так. Очисні елементи 4, кінці яких розташовані на меншому радіусі обертання, взаємодіють виключно з ботвинням, а еластичні бичі 3 більшої довжини в основному контактують з головками коренеплодів. Це розташування робочих органів забезпечує ефективне висивання основної маси ботвиння, густо встановленими з меншим радіусом обертання еластичними прутами 4, а кінцеве доочищення головок коренеплодів – бичами 3, довжина і густота розташування яких більша, що забезпечує зменшення кількості вибитих з ґрунту коренеплодів кормових буряків.

Шестирядний комбайн Euro Tiger німецької фірми Rora продуктивністю до 1,5 т/год. має механізм для видалення ботвиння, який зрізує основну масу ботвиння роторними ножами з горизонтальною віссю обертання і транспортує цю зрізану подрібнену масу гвинтовим конвеєром на тарілчастий розкидач, який в стандартному виконанні забезпечує розкидання вороху ботвиння з лівої сторони по ходу агрегату (рис. 1.13). В додатковій комплектації фірма пропонує оснащення для завантаження ботвиння в транспортний засіб або також можливість встановлення другої тарілки, що розкидає ботвиння з правої сторони агрегату.



Рис. 1.13. Конструкційно-технологічна схема модуля для видалення ботвиння з головок коренеплодів комбайна Rora Euro Tiger

Самохідний 6-рядний бурякозбиральний комбайн Terra Dos фірми Holmer (рис. 1.14) обладнаний ротсрним механізмом для зрізання ботвиння та дообрізувачем з автоматичним регулюванням глибини зрізу; глибина зрізання ботвиння усіх 6 ножів централізовано регулюється з кабіни водія. Висота шини гичкоріза на всі 6 ножів для дорізання ботвиння може регулюватися з кабіни водія.



Рис. 1.14. Варіанти комплектації модуля для видалення ботвиння з головок коренеплодів комбайна Terra Dos виробництва компанії Holmer

Пристрій для видалення ботвиння комбайна може виконувати резиндання ботвиння по ділянці поля (рис. 1.14, а), або при змонтованому за допомогою пристрою швидкого роз'єднання стрічковому транспортері з прогумованої тканини з захоплюючими зубцями (рис. 1.14, б), може збирати ботвиння, завантажуючи її в транспортний засіб.

#### 1.4. Особливості використання машини КНФ-1,5

В НУБіП України розроблено комплекс трирядних бурякозбиральних машин КНФ-1,5; КНФ-3А. Цей комплекс машин може здійснювати технологічний процес збирання врожаю із застосуванням лише одного трактору класу 1,4 (або класу 2,0) та транспортного засобу для вивезення ботвиння. Машина для збирання ботвиння

КПФ-1,5 може бути використана як для зрізування та збирання ботвиння різних коренеплодів (буряків, моркви тощо), так й для скошування багаторічних трав та зеленої маси інших культур (з висотою травостою до одного метру).

Конструкційно-технологічну схему комплексу машин представлено на рис. 1.15. На трактор 1 попереду начіплюється машина для збирання ботвиння КПФ-1,5, що має роторний апарат для зрізання ботвиння 2, який здійснює суцільне без підпору зрізування масиву ботвиння. Висота зрізування регулюється за допомогою копіювальних коліс 3. Ботвиння, що зрізана з усієї ширини захвату, збирається гвинтовим конвеєром 4, який передає її на кидалку 5 і через вивантажувальний напрямну трубу подається в транспортний засіб, що рухається поруч, або розкидається по ділянці.

Налагоджена на збирання ботвиння цукрових буряків машина для збирання ботвиння може також бути обладнана пасивними дообрізувачами головок коренеплодів.

Позаду трактора 1 агрегується причіпна машина для збирання коренеплодів ККП-ЗА бункерного типу, яка попереду має лопатевий доочишувач 6 головок коренеплодів буряків від залишків ботвиння (це потрібно в разі, коли на машині для збирання ботвиння не встановлені дообрізувачі головок коренеплодів).

Очисні робочі органи виконані у вигляді гвинтового очисника 8 та повздовжнього пруткового транспортера 9. Очищені коренеплоди за допомогою завантажувального елеватора 10 подаються у перекидний бункер 11.

Комплекс бурякозбиральних машин може агрегуватись з інтегральними колісними тракторами (ХТЗ-121, ХТЗ-16131, ХТЗ-16331 та ін.), з переднім і заднім редукторами ВВП, що мають КПП з можливістю переключення на ходу, без розриву потоку потужності, та обладнані передньою системою навіски.

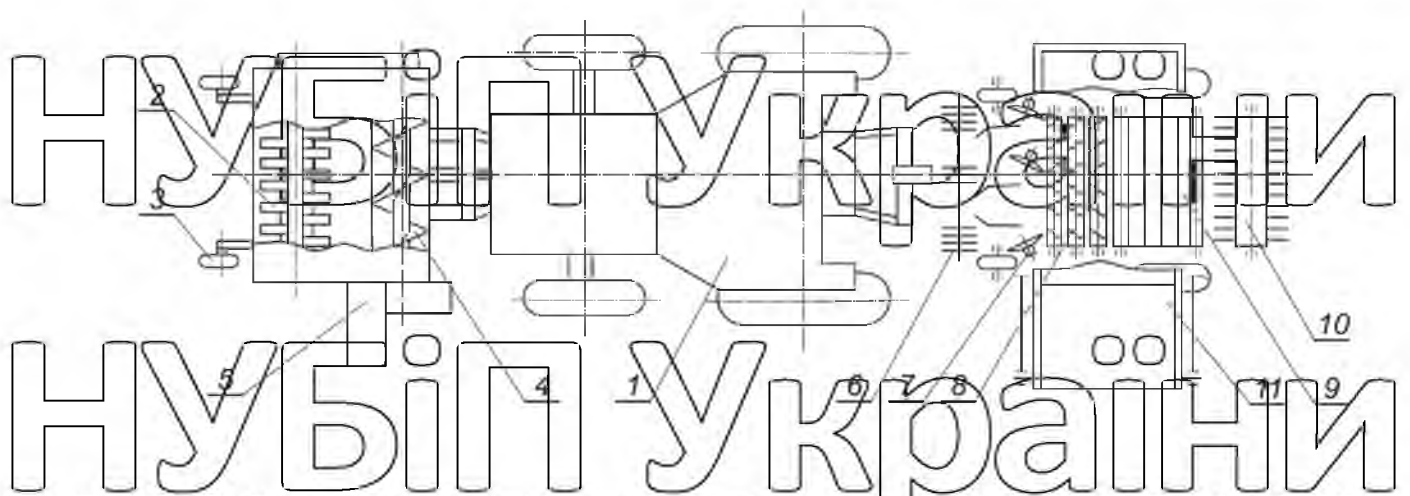
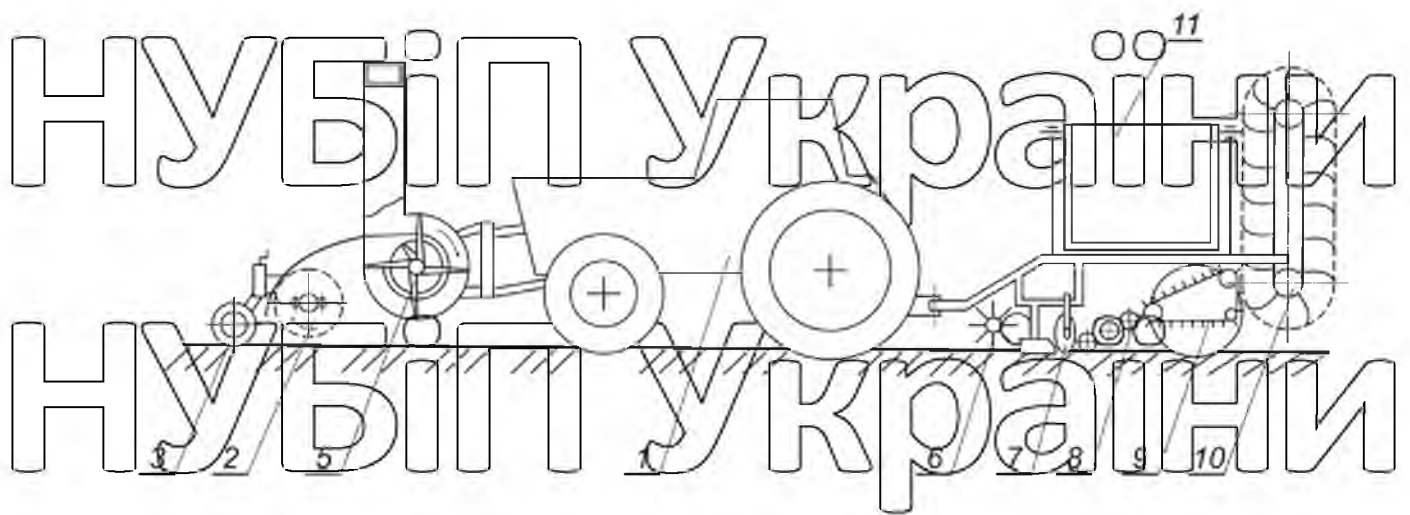


Рис. 1.15. Схема конструкційно-технологічна комплексу машин КПФ-1,5; ККП-3А

Цей комплекс машин має такі технічні характеристики:

ширина захвату 1,35 м (три рядки коренелодів буряку);

робоча швидкість – 2,1 м/с;

місткість бункеру – 4 м<sup>3</sup> (або до 3 т буряків);

маса машини для збирання ботвиння – 0,85 т;

маса машини для збирання коренів – 2,3 т;

потужність енергетичного засобу – 55,2 кВт;

продуктивність за 1 годину чистого часу – 1,0 ... 1,2 га.

На рис. 1.16 представлено конструкційно-технологічну схему машини для збирання ботвиння КПФ-1,5.

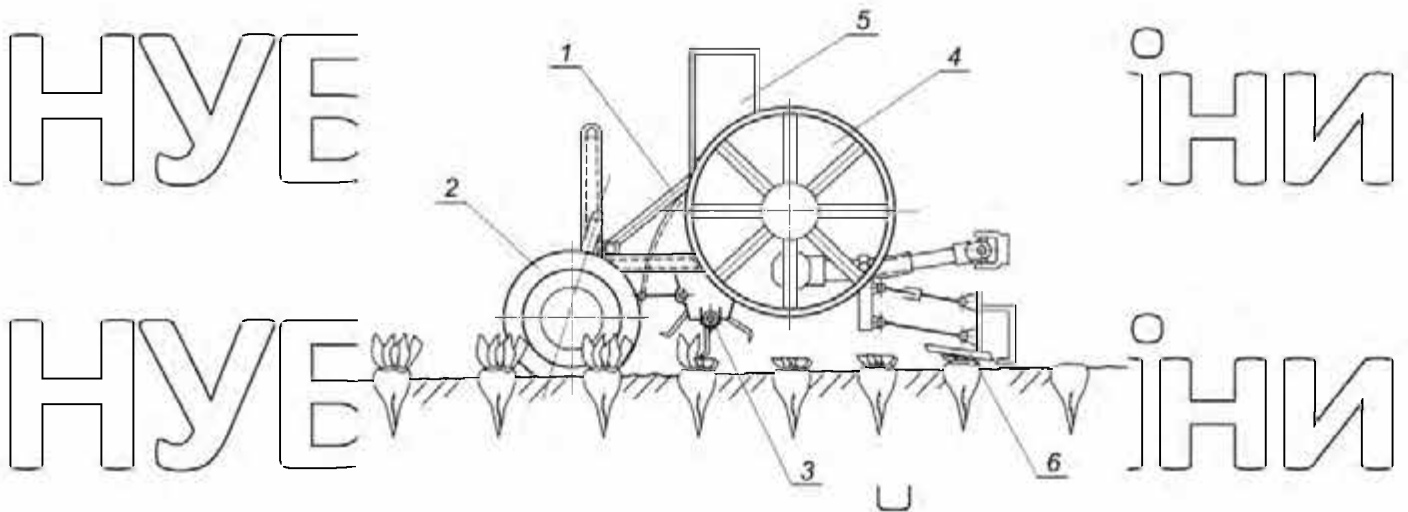


Рис. 1.16. Конструкційно-технологічна схема машини для збирання ботвиння :

1 – рама; 2 – пневматичні копіювальні колеса; 3 – роторний апарат для зрізання ботвиння; 4 – гвинтовий конвеєр та лопатева кидалка; 5 – завантажувальна труба; 6 – дообрізувач головок коренеплодів.

Під час роботи машини для збирання ботвиння різальний апарат 3 за допомогою двох пневматичних копіювальних коліс встановлюють на певну висоту над рівнем поверхні ґрунту так, що з трьох рядків коренеплодів цукрового буряку відбувається суцільний без підпору зріз основної маси ботвиння. Оскільки копіювальні колеса рухаються по міжряддях посівів, то висота зрізу має бути не вищою за найбільший рівень розташування над поверхнею ґрунту головок коренеплодів, що висіли у рядку.

Зрізана основна маса ботвиння перекидається ножами різального апарату 3 на гвинтовий конвеєр 4, який транспортує її в бік де розташовано лопатеву кидалку, яка через напрямну трубу 5 завантажує ботвиння в транспортний засіб, що рухається поруч. При потребі кидалку разом із напрямною трубою можна від'єднати від машини для збирання ботвиння і ботвиння буде вивантажуватись гвинтовим конвеєром ліворуч на зібрану частину ланки.

Машину для збирання ботвиння КПФ-1,5 під час випробувань у полі показано на рис. 1.17.



Рис. 1.17. – Машина для збирання ботвиння КПФ-1,5 під час випробувань у полі.

Слід відмітити, що при гарному стані бурякової плантації (в разі рівномірного розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту, незначних їх відхилень від осової лінії рядка), та внаслідок того, що вісь різального апарату 3 фактично знаходиться близько від осі копіювальних коліс 2, необхідність в застосуванні дробізувачів головок коренеплодів 6 відпадає. Це обумовлено тим, що ножі різального апарату 3 можуть бути встановлені (за допомогою механізмів регулювання копіювальних коліс 2) на більш низький зріз, який забезпечить, за умови чутливого копіювання поверхні ґрунту в поздовжньо-вертикальній площині і незначної ширини захвату (що забезпечує точне копіювання в поперечній площині), високоякісне зрізання ботвиння в одночасним обрізанням головок коренеплодів.

### 1.5. Вибір робочих органів для вивантаження гички

Проведений аналіз літературних джерел та конструкцій свідчить, що досягти високої продуктивності роботи агрегату для збирання ботвиння, із дотриманням допустимих агротехнічними вимогами втрат ботвиння при її збиранні, та підвищити якість маси ботвиння, яку зібрали, досить непросто, застосовуючи машини, що обладнані апаратами для зрізування ботвиння з виконанням індивідуального копіювання головок коренеплодів.



Найбільше поширення в Україні наразі мають технології видавлення ботвиння з головок у дві стадії – суцільне зрізування основної маси на першій стадії та додаткове обрізування з наступним доочищенням головок (або тільки жорстке доочищення) на другій.

За результатами попереднього вивчення конструкцій машин для збирання врсжаю цукрових буряків, а також аналізу літературних джерел, було визначено необхідність конструкційного вдосконалення машини для збирання ботвиння, яка фронтально навіщується на енергетичний засіб і здійснює суцільне зрізування ботвиння без копіювання, що за допомогою шнекового транспортера та вивантажувального механізму спрямовується в транспортний засіб (рухається поруч).

Для обґрунтування вибору робочих органів для транспортування і вивантаження ботвиння машини для збирання ботвиння, яка розроблена в НУБіП України, потрібно провести порівняння її роботи з показниками роботи відомих машин для збирання ботвиння.

Конструкція робочих органів для вивантаження ботвиння, які виконані у вигляді кидалки лопатевої котра співвісна з гвинтовим транспортером, є найбільш перспективними для підвищення показників якості технологічного процесу і зниження енергоємності машини для збирання ботвиння.

## РОЗДІЛ 2.

# НУБІП УКРАЇНИ

## КОНСТРУКЦІЙНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ ВИВАНТАЖЕННЯ ГИЧКИ

### 2.1. Моделювання руху частинки гички по поверхням

Для обґрунтування раціональних параметрів механізму вивантаження (або завантаження – якщо розглядати процес стосовно транспортного засобу) ботвиння необхідно побудувати модель розрахункову математичну процесу її транспортування та кидання.

З цією метою також побудуємо еквівалентну схему апарату кидального.

Поперечний переріз механізму для завантаження ботвиння (рис. 2.1), являє собою кожух циліндричної форми. Його радіус позначимо  $R$ . В ньому встановлена

лопатева кидалка на приводному валу радіуса  $r_0$ . Ця кидалка має в першому варіанті виконання чотири доплати. Вони розташовані по дотичній до її фланцю, тобто можна сказати, що розташовані до радіального напрямку під деяким кутом.

Водночас, з метою спрощення розрахункової схеми, зобразимо на ній лише одну лопать. Центр обертання системи – точка  $O$ , довжина лопаті –  $AB$ .

Далі розглянемо рух частинки ботвиння по лопаті кидалки. Потім її рух після сходження з лопаті, по поверхні частини напрямного кожуха, що має циліндричну форму (внутрішній поверхні). Потім – вздовж прямолінійної частини напрямного кожуха. Будемо розглядати це як окремі операції техпроцесу вивантаження.

### 2.2. Рух частинки гички по лопаті

Покажемо лопать в певний початковий момент часу в певному положенні.

Нехай її зовнішній кінець перебуває в нижній точці своєї траєкторії (рис. 2.1).

Нехай деяка окрема частинка ботвиння потрапляє на цю лопать з горизонтального

гвинтового транспортера в межах сектора  $ABB'$ . Потім за деякий час лопать  $AB$  повернеться на кут  $\varphi = \omega t$  разом з частинкою ботвиння, що перебуває на її поверхні. Її положення (частинки ботвиння) прийемо довільним.

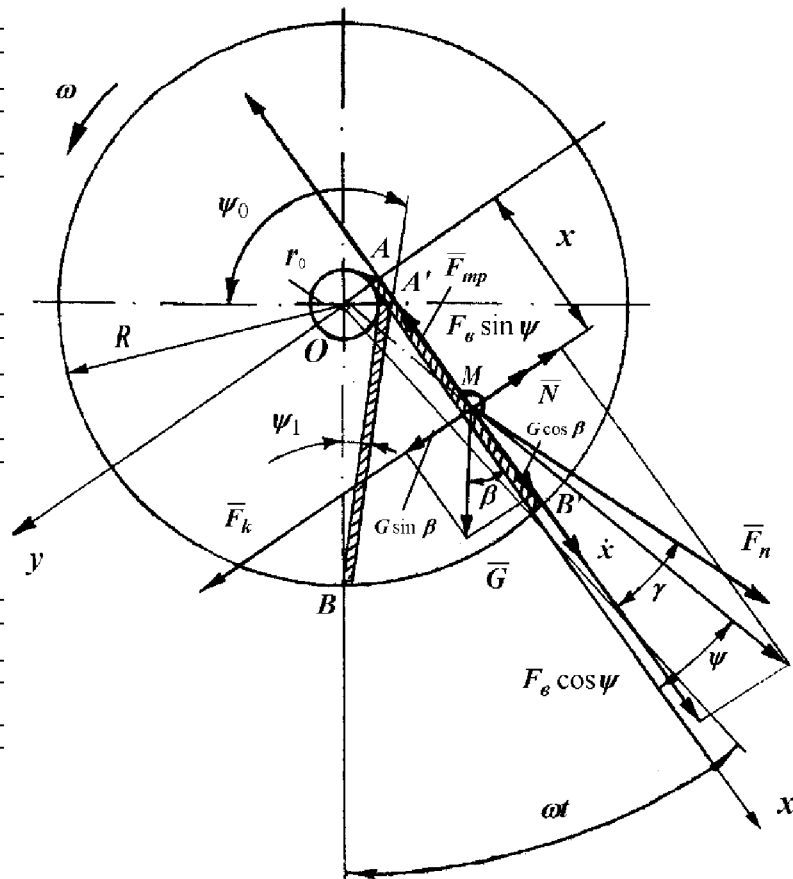


Рис. 2.1. – Схема руху по лопаті кидалки механізму вивантажувальної частинки ботвиння

Для такої механічної системи покажемо кутові параметри. Введемо наступні позначення.

$\psi$  – деякий кут між деяким радіусом і площиною лопаті, цей радіус проведемо через вісь обертання кидалки і певну точку  $M$ . В свою чергу, точка  $M$  задає положення частинки ботвиння на самій лопатці, це вірно для будь-якого положення лопаті;

$\psi_0$  – деякий кут між площиною лопаті на її початку (т.  $A$ ) і горизонтальним радіусом;

$\psi_1$  – деякий кут між площиною лопаті на її кінці (т.  $B$ ) і вертикальним радіусом;

$\beta$  – деякий кут в будь-який момент часу  $t$  між площиною лопаті й вертикаллю.

Нехай  $xAy$  – плоска система координат. Ось  $Ax$  напрямлена через площину, де перебуває лопать в цю мить часу.

З рис. 2.1 визначимо потрібні геометричні співвідношення між обраними вище параметрами, а також їх зміну:  $\psi_1 \leq \psi \leq \psi_0$ ,  $\beta = \omega t - \psi_1$ . Також,

$$x = r \cos \psi = r_0 \cos \psi_0, \quad (2.1)$$

$$r \sin \psi = r_0 \sin \psi_0 = const \quad (2.2)$$

Отже, тепер розглянемо рух (відносний) частинки ботвиння вздовж поверхні лопаті. Врахувати усі сили, які діють на частинку  $M$  під час робочого процесу і таким чином отримаємо диференціальне рівняння руху цієї частинки  $M$ .

Під час свого обертання кидалка створює певний потік повітря. Фактично, вона працює як вентилятор. Отже, ми маємо врахувати силу тиску потоку повітряного, а також сили інерційні, гравітаційні та тертя.

Будемо вважати, як для першого наближення, що сила тиску повітряного потоку є пропорційною різниці швидкостей: швидкості самого повітряного потоку і швидкості відносного руху частинки вздовж поверхні самої лопаті.

Нехай частинка ботвиння, що потрапляє на лопать, має в цей момент початкову швидкість  $V_0 = 0$ . Система обертається навколо горизонтальної осі.

Отже, під час руху частинки ботвиння вздовж поверхні лопаті, від центра системи до краю, на частинку ботвиння будуть діяти сили (рис. 2.1).

1) ваги  $G = mg$ ; 2) інерції Кориоліса  $F_k = 2m\omega \dot{x}$ ; 3) відцентрова  $F_g = m r \omega^2$ ; 4)

тиску повітряного потоку  $F_n = k(V_n \cos \gamma - \dot{x})$ , 5) тертя  $F_{mp} = fN$ ,

де  $g$  – прискорення вільного падіння;  $m$  – маса частинки ботвиння,  $r\omega^2 = a^n$  – її нормальна складова прискорення (самої частинки ботвиння);  $\dot{x}$  – відносна швидкість частинки ботвиння при її русі вздовж лопаті,  $2\omega \dot{x} = a^k$  – прискорення

Кориоліса (модуль);  $N$  – нормальна реакція з боку поверхні самої лопаті на частинку ботвиння,  $f$  – коефіцієнт тертя частинки ботвиння о поверхню лопаті;

$\vec{V}_n$  – вектор швидкості для повітряного потоку, що утворений обертанням лопаті;  $\gamma$  – кут між площиною лопаті і вектором швидкості  $\vec{V}_n$ ;  $k$  – коефіцієнт, що

залежить від властивостей частинки ботвиння (фізико-механічних)

Для повітря згідно [12] маємо:

$$k = \frac{adF}{g},$$

де  $a$  – деяка постійна величина, вона буде залежати від форми частинки ботвиння і міделевого перерізу;  $F$  – сам міделевий переріз;  $g$  – прискорення вільного падіння;

$d$  – маса повітря (питома).

Маємо 
$$F_n = \frac{adF}{g}(V_n \cos \gamma - \dot{x})$$

Вочевидь, маємо такий випадок, коли на частинку діє система сил у площині.

Відносний рух частинки ботвиння має місце тільки вздовж осі  $x$ , тобто

вздовж поверхні лопаті. Тоді диференціальне рівняння руху частинки ботвиння на

цій ділянці її руху складемо у вигляді:

$$m\ddot{x} = \sum_{k=1}^n F_{kx}$$

Сума проєкцій на вісь  $Ax$  сил, що діють на частинку:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = m r \omega^2 \cos \psi + mg \cos \beta + k(V_n \cos \gamma - \dot{x}) - fN$$

Визначимо далі нормальну реакцію  $N$  частинки ботвиння, що необхідно для

визначення сили тертя  $F_{mp} = fN$ . Для цього складемо суму проєкцій сил на вісь  $Ay$ :

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = 2m\omega \dot{x} + mg \sin \beta - m r \omega^2 \sin \psi - kV_n \sin \gamma - N$$

звідки маємо

$$N = 2m\omega \dot{x} + mg \sin \beta - m r \omega^2 \sin \psi - kV_n \sin \gamma$$

При русі частинки ботвиння вздовж лопаті виникає сила тертя:

$$F_{mp} = fN = f(2m\omega \dot{x} + mg \sin \beta - m r \omega^2 \sin \psi - kV_n \sin \gamma)$$

Підставимо далі одержані вище вирази та складемо таким чином для відносного руху частинки ботвиння  $M$  вздовж лопаті кидалки наступне

диференціальне рівняння:

$$m\ddot{x} = mr\omega^2 \cos\psi + mg \cos\beta + k(V_n \cos\gamma - \dot{x}) - f(2m\omega\dot{x} + mg \sin\beta - mr\omega^2 \sin\psi - kV_n \sin\gamma). \quad (2.3)$$

Якщо далі виразимо значення  $r$  через лінійну координату  $x$ , матимемо

$$r \cos\psi = x + r_0 \cos\psi_0. \quad (2.4)$$

Підставимо тепер (2.2) і (2.4) і співвідношення  $\beta = \omega t - \psi_1$  в (2.3), маємо

$$m\ddot{x} = m\omega^2(x + r_0 \cos\psi_0) + mg \cos(\omega t - \psi_1) + kV_n \cos\gamma - kx - 2fm\omega\dot{x} - fmg \sin(\omega t - \psi_1) + fm\omega^2 r_0 \sin\psi_0 + fkV_n \sin\gamma,$$

або

$$\ddot{x} + \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)\dot{x} - \omega^2 x = r_0\omega^2 \cos\psi_0 + g \cos(\omega t - \psi_1) + \frac{k}{m}V_n \cos\gamma - fg \sin(\omega t - \psi_1) + fr_0 \sin\psi_0 \cdot \omega^2 + f\frac{k}{m}V_n \sin\gamma. \quad (2.5)$$

Це рівняння (2.5) зведемо далі до вигляду, що є зручним для інтегрування:

$$\ddot{x} + \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)\dot{x} - \omega^2 x = [g \cos(\omega t - \psi_1) - fg \sin(\omega t - \psi_1)] + r_0\omega^2(\cos\psi_0 + f \sin\psi_0) + \frac{k}{m}V_n(\cos\gamma + f \sin\gamma);$$

в правій його частині розкриємо дужки:

$$\ddot{x} + \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)\dot{x} - \omega^2 x = g \cos\omega t \cdot \cos\psi_1 + g \sin\omega t \cdot \sin\psi_1 - fg \sin\omega t \cdot \cos\psi_1 + fg \cos\omega t \cdot \sin\psi_1 + r_0\omega^2(\cos\psi_0 + f \sin\psi_0) + \frac{k}{m}V_n(\cos\gamma + f \sin\gamma);$$

складові його правої частини перегрупуємо так:

$$\ddot{x} + \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)\dot{x} - \omega^2 x = g \cos\omega t \cdot (\cos\psi_1 + f \sin\psi_1) + g \sin\omega t (\sin\psi_1 - f \cos\psi_1) + r_0\omega^2(\cos\psi_0 + f \sin\psi_0) + \frac{k}{m}V_n(\cos\gamma + f \sin\gamma).$$

Приймемо далі декілька нових позначень для спрощення запису:

$$A = g(\sin\psi_1 - f \cos\psi_1); \quad B = g(\cos\psi_1 + f \sin\psi_1);$$

$$C = \cos\psi_0 + f \sin\psi_0; \quad D = \cos\psi_0 - f \sin\psi_0.$$

При такому позначенні рівняння (2.5) можемо звести до виду:

$$\ddot{x} + \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)\dot{x} - \omega^2 x = A \sin \omega t + B \cos \omega t + C \frac{k}{m} V_n + r_0 \omega^2 D \quad (2.6)$$

Тепер маємо (2.6) лінійне диференціальне рівняння другого порядку (з правою частиною).

Спочатку знайдемо для однорідного рівняння його загальний розв'язок  $x_1$

$$\ddot{x} + \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)\dot{x} - \omega^2 x = 0$$

Введемо при цьому позначення  $2f\omega + \frac{k}{m} = P$ .

$$\text{Маємо } \ddot{x} + P\dot{x} - \omega^2 x = 0.$$

Складемо також дані ще й характеристичне рівняння:

$$\lambda^2 + P\lambda - \omega^2 = 0,$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{P}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{P}{2}\right)^2 + \omega^2}$$

його розв'язок має вид:

$$\text{Тоді, } \lambda_1 = -\frac{P}{2} + \sqrt{\left(\frac{P}{2}\right)^2 + \omega^2} = -\left(f\omega + \frac{k}{2m}\right) + \sqrt{\left(f\omega + \frac{k}{2m}\right)^2 + \omega^2};$$

$$\lambda_2 = -\frac{P}{2} - \sqrt{\left(\frac{P}{2}\right)^2 + \omega^2} = -\left(f\omega + \frac{k}{2m}\right) - \sqrt{\left(f\omega + \frac{k}{2m}\right)^2 + \omega^2}$$

$$\text{Отже } x_1 = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t},$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – сталі (довільні).

Для рівняння також знайдемо його частинний розв'язок у вигляді

$$x_2 = L \sin \omega t + N \cos \omega t + Q,$$

де  $L$ ,  $N$  і  $Q$  – коефіцієнти (постійні), їх маємо визначити.

Запишемо:

$$\dot{x}_2 = L\omega \cos \omega t - N\omega \sin \omega t \quad (2.7)$$

$$\ddot{x}_2 = -L\omega^2 \sin \omega t - N\omega^2 \cos \omega t, \quad (2.8)$$

і далі підставимо (2.7) і (2.8) в (2.6). Тоді матимемо:

$$\begin{aligned} & -L\omega^2 \sin \omega t - N\omega^2 \cos \omega t + \left(2f\omega^2 + \frac{k\omega}{m}\right)L \cos \omega t - \\ & - \left(2f\omega^2 + \frac{k\omega}{m}\right)N \sin \omega t - \omega^2 L \sin \omega t - \omega^2 N \cos \omega t - \omega^2 Q = \\ & = A \sin \omega t + B \cos \omega t + C \frac{k}{m} V_n + r_o \omega^2 D. \end{aligned}$$

При відповідних функціях можемо прирівняти коефіцієнти і тоді маємо систему рівнянь (лінійних), відносно деяких невідомих  $L$ ,  $N$  і  $Q$ :

$$\begin{cases} -L\omega^2 - \left(2f\omega^2 + \frac{k\omega}{m}\right)N - \omega^2 L = A; \\ -N\omega^2 + \left(2f\omega^2 + \frac{k\omega}{m}\right)L - \omega^2 N = B; \\ -\omega^2 Q = C \frac{k}{m} V_n + r_o \omega^2 D. \end{cases}$$

З розв'язування цієї системи рівнянь одержимо:

$$Q = \frac{CkV_n - r_o D}{m\omega^2}; \quad (2.9)$$

$$L = \frac{2Bf\omega + \frac{kB}{m} - 2A\omega}{4\omega^3 + \omega \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)^2}; \quad (2.10)$$

$$N = \frac{-2Af\omega - \frac{kA}{m} - 2B\omega}{4\omega^3 + \omega \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)^2}. \quad (2.11)$$

У підсумку, для рівняння (2.6) загальний розв'язок має такий вигляд:

$$x = x_1 + x_2 = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + L \sin \omega t + N \cos \omega t + Q, \quad (2.12)$$



де  $L, N, Q$  – відповідно визначасмо за формулами вище.

Сталі  $C_1, C_2$  (довільні) визначають з прийнятих початкових умов:

при  $t=0 \quad \dot{x}=0, x=0$ .

Ми маємо, що

$$\dot{x} = \lambda_1 C_1 e^{\lambda_1 t} + \lambda_2 C_2 e^{\lambda_2 t} + L\omega \cos \omega t - N\omega \sin \omega t$$

Отже, з урахуванням початкових умов, система рівнянь, яку отримуємо, має вигляд:

$$\begin{cases} \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + L\omega = 0, \\ C_1 + C_2 + N + Q = 0, \end{cases}$$

з цього знаходимо:

$$C_1 = \frac{\lambda_2(N+Q) - L\omega}{\lambda_1 - \lambda_2}, \quad C_2 = \frac{-\lambda_1(N+Q) + L\omega}{\lambda_1 - \lambda_2}.$$

Загальний розв'язок рівняння, що задовольняє початковим умовам, які було

прийнято, має вигляд:

$$x = \frac{\lambda_2(N+Q) - L\omega}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot e^{\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1(N+Q) - L\omega}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_2 t} + L \sin \omega t + N \cos \omega t + Q. \quad (2.13)$$

З рівняння (2.13) можна визначити час  $t_1$ , за який частинка ботвиння зійде з поверхні лопаті (за умови, що  $x=l$ , нехай лопать має довжину  $l=AB'$ ).

У програмному середовищі для проведення числових розрахунків маємо підібрати певний крок для параметра  $t$  таким чином, щоб для деякого  $t=t_1$  цілком відбувалося виконання рівності  $x=l$ .

Після диференціювання (2.13) по  $t$  будемо мати:

$$\dot{x} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (N+Q) - L \lambda_1 \omega}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot e^{\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1 \lambda_2 (N+Q) - L \lambda_2 \omega}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{\lambda_2 t} + L\omega \cos \omega t - N\omega \sin \omega t. \quad (2.14)$$

Швидкість  $\dot{x}_1 = \dot{x}(t_1)$ , з якою частинка ботвиння сходить з поверхні лопаті визначимо, якщо підставимо в (2.14) час  $t=t_1$ .

Отже, для прямолінійної лопаті, яка до того ж розташована під кутом  $\psi_1$  до радіального положення, нами отримано диференціальне рівняння руху.

Для іншого випадку задача може значно спрощуватися — це буде випадок, коли лопать буде розташована вздовж радіуса, тобто  $\psi_1 = 0$  і тоді  $\psi = 0$ .

Для такого випадку маємо:

$$A = -gf; B = g; C = \cos \gamma + f \sin \gamma; v_0 \neq 0,$$

а, отже, рівняння (2.6) буде мати такий вигляд:

$$\ddot{x} + \left( 2f\omega + \frac{k}{m} \right) \dot{x} - \omega^2 x = -gf \sin \omega t + g \cos \omega t + C \frac{k}{m} V_n. \quad (2.15)$$

При цьому зазначимо, що вираз (2.13) також набуде простішої форми.

Розглянемо далі таку конструкцію лопаті-кидалки, коли на відстані  $s$  ( $s < l$ ) від початку ( $x = 0$ ) вона буде зігнута під певним кутом  $\varphi_0 = \psi_1 + \gamma_0$  (рис. 2.2).

У такому випадку рух частинки ботвиння  $M$  вздовж лопаті на ділянці  $0 \leq x \leq s$  буде описувати диференціальне рівнянням (2.6)

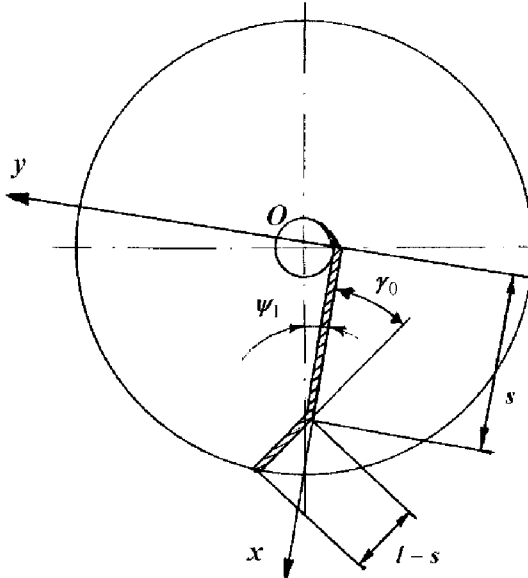


Рис. 2.2. – Геометричні параметри та рух частинки ботвиння вздовж поверхні лопаті вдосконаленої кидалки механізму вивантаження

У подальшому, на ділянці  $s \leq x \leq l$  аналогічне диференціальне рівнянням описуватиме рух частинки ботвиння, однак  $\psi \leq \varphi_0 = \psi_1 + \gamma_0$ . Для такого випадку

конструкції лопати:  $r_1 \cos \psi_1 = s + r_0 \cos \psi_0$ , звідки  $r_1 = \frac{s + r_0 \cos \psi_0}{\cos \psi_1}$ .  
Співвідношення, що у такому випадку будемо мати на ділянці  $s < x \leq l$ :

$$x = r \cos \psi - r_1 \cos \varphi_0, \quad r \sin \psi = r_1 \sin \varphi_0 = \text{const},$$

або

$$x = r \cos \psi - r_1 \cos(\psi_0 + \gamma_0), \quad (2.16)$$

$$r \sin \psi = r_1 \sin(\psi_1 + \gamma_0) = \text{const}, \quad (2.17)$$

і маємо врахувати, що при цьому

$\beta = \omega t - (\psi_1 + \gamma_0)$ .  
З урахуванням всього, що зазначено вище, рух частинки ботвиння вздовж ділянки  $s < x \leq l$  буде описувати диференціальне рівняння, що має вигляд:

$$m\ddot{x} = mr\omega^2 \cos \psi + mg \cos(\omega t - \psi_1 - \gamma_0) + k[V_n \cos(\gamma + \gamma_0) - \dot{x}] - f[2m\omega\dot{x} + mg \sin(\omega t - \psi_1 - \gamma_0) - mr\omega^2 \sin \psi - kV_n \sin(\gamma + \gamma_0)] \quad (2.18)$$

З (2.16) визначимо:

$$r \cos \psi = x + r_1 \cos(\psi_0 + \gamma_0). \quad (2.19)$$

Потім підставимо (2.17) і (2.19) в (2.18), одержимо такий запис рівняння:

$$\ddot{x} + \left(2f\omega + \frac{k}{m}\right)\dot{x} - \omega^2 x = A \sin \omega t + B \cos \omega t + C \frac{k}{m} V_n + r_1 \omega^2 D, \quad (2.20)$$

де  $A = g[\sin(\psi_1 + \gamma_0) - f \cos(\psi_1 + \gamma_0)]$ ;

$$B = g[\cos(\psi_1 + \gamma_0) + f \sin(\psi_1 + \gamma_0)],$$

$$C = \cos(\gamma + \gamma_0) + f \sin(\gamma + \gamma_0),$$

$$D = \cos(\psi_1 + \gamma_0) + f \sin(\psi_1 + \gamma_0).$$

Це рівняння (2.20), що одержали, буде розв'язуватися аналогічно (2.6). В

цьому випадку також стали  $C_1$  і  $C_2$  визначають з таких початкових умов:

при  $t=0$   $x=0$ ,  $\dot{x}=\dot{x}_1$ , де  $\dot{x}_1$  знаходимо з розв'язку для попередньої ділянки, де  $0 \leq x \leq s$ .

Отже, для такої конструкції лопати кидалки, коли на відстані  $s$  ( $s < l$ ) від початку ( $x = 0$ ) вона буде зігнута під певним кутом  $\varphi_0 = \psi_1 + \gamma_0$  (рис. 2.2), поставлена задача має розв'язуватися за два етапи: 1) на ділянці  $0 \leq x \leq s$ , 2) на ділянці  $s < x \leq l$ .

Якщо задавати різні значення кутів  $\psi_1$  і  $\gamma_0$ , то можна знайти таке їх значення, за якого частинки ботвиння буде сходити з лопати з максимальною швидкістю при даній кутовій швидкості. Це означитиме, що буде знайдено мінімальний час перебування частинки ботвиння на лопаті кидалки вивантажувального механізму і таким чином буде досягнуто максимальної продуктивності нашого робочого органу – лопатевої кидалки.

### 2.3. Рух частинки ботвиння по внутрішній поверхні циліндричної частини кожуха

На наступній ділянці руху, внутрішньої поверхнею циліндричної частини кожуха кидалки, на частинку ботвиння будуть діяти сили (рис. 2.3).

- 1) відцентрова  $F_g = \frac{mV^2}{R}$ , де  $R$  радіус циліндра; 2) ваги  $G = mg$ ;  
 3) тиску повітряного потоку  $F_{np} = k(V_n - V)$ ; 4) тертя  $F_{np} = fN = f \left( mg \cos \varphi + \frac{mV^2}{R} \right)$

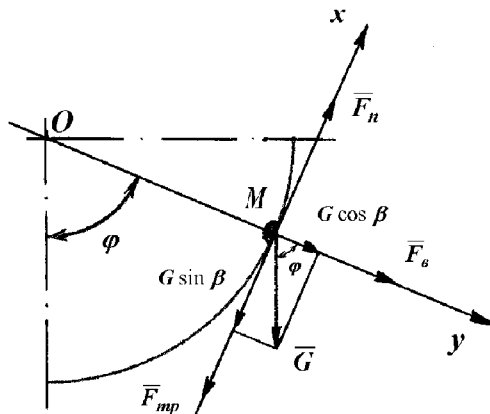


Рис. 2.3. Схема еквівалентна руху частинки ботвиння по внутрішній поверхні кожуха

З урахуванням такої (рис. 2.3) системи сил, можемо записати

$$m\ddot{x} = -mg \sin \varphi - F_{mp} + k(V_n - V)$$

Оскільки  $V = \dot{x}$ ,  $F_{mp} = f \left( mg \cos \varphi + \frac{m\dot{x}^2}{R} \right)$ , маємо:

$$m\ddot{x} = -mg \sin \varphi - f \left( mg \cos \varphi + \frac{m\dot{x}^2}{R} \right) + k(V_n - \dot{x})$$

або 
$$\ddot{x} + \frac{k}{m} \dot{x} + \frac{f}{R} \dot{x}^2 = -g(\sin \varphi + f \cos \varphi) + \frac{k}{m} V_n \quad (2.21)$$

Таким чином, отримаємо диференціальне рівняння (2.21) для руху частинки ботвиння вздовж ділянки, яку утворює внутрішня поверхня частини кожуха, яка має циліндричну форму. Вочевидь,  $x = R \cdot \varphi$ , звідки маємо  $\varphi = x/R$ .

Рівняння (2.21), що одержали вище, тоді матиме вигляд:

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} \dot{x} + \frac{f}{R} \dot{x}^2 + g \left( \sin \frac{x}{R} + f \cos \frac{x}{R} \right) = \frac{k}{m} V_n \quad (2.22)$$

Тут початкові умови:  $\dot{x}(0) = V_0$ , це буде швидкість, з якою частинка ботвиння сходить з поверхні лопаті. Цю швидкість можна визначити з розв'язування диференціального рівняння для випадку руху частинки вздовж поверхні лопаті кидалки,  $x(0) = 0$ .

Рівняння (2.22), яке записали вище, слід розв'язувати до точок  $x = R \cdot \pi/2$ , що означає фактично до самого початку ділянки, яка стане прямолінійною ( $\varphi = \pi/2$ ).

Ящо  $t_k$  це кінцевий момент руху частинки ботвиння по внутрішній поверхні циліндричної частини кожуха кидалки, що має циліндричну форму, то з рівняння (2.22) знаходимо швидкість її руху:  $\dot{x}(t_k) = V_k$ .

#### 2.4. Рух частинки ботвиння вздовж прямолінійної частини кожуха

Для наступного етапу руху частинки ботвиння, вздовж частини кожуха

кидалки, що має прямолінійну форму, відцентрова сила відсутня і будемо мати

$$\frac{f}{R} x^2 = 0$$

Також маємо, що  $\varphi = x/R = \pi/2$ .

Таким чином  $\sin \frac{x}{R} = \sin \frac{\pi}{2} = 1$ ,  $\cos \frac{x}{R} = \cos \frac{\pi}{2} = 0$

Рівняння (2.22) в такому випадку матиме вигляд

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} \dot{x} + g = \frac{k}{m} V_n \quad (2.23)$$

Рівняння (2.23) є шуканим диференціальним рівнянням руху частинки вздовж прямолінійної частини кожуха.

Початковою умовою рівняння (2.23) є:

$$\dot{x}(0) = V_k; \quad x(0) = 0$$

Таким чином, складено, для руху частинки ботвиння, диференціальні рівняння, які описують процес завантаження ботвиння лопатевою кидалкою машини для збирання ботвиння. Розглянуто рух по прямолінійній та відігнутий частинам поверхні лопаті, по внутрішній поверхні частини кожуха кидалки, а саме на ділянках, що мають циліндричну і прямолінійну частини. Ці рівняння представлені в замкнутому вигляді. Вони враховують як конструкційні, так і силові параметри процесу завантаження. Чисельне рішення представлених рівнянь дозволяє обґрунтувати раціональні параметри робочих органів, що досліджуються, за умови забезпечення ними потрібної продуктивності та гарантованого завантаження у транспортний засіб усіх компонентів зібраної ботвиння – листків, черешків, обрізаних головок коренеплодів.

## 2.5. Обґрунтування раціональних конструкційних та технологічних параметрів кидалки

Згідно аналітичних виразів, що одержали вище, побудуємо в програмному середовищі Mathcad графічні зображення залежностей кінематичних та

конструкційних параметрів лопатевої кидалки (рис. 2.4, 2.5).

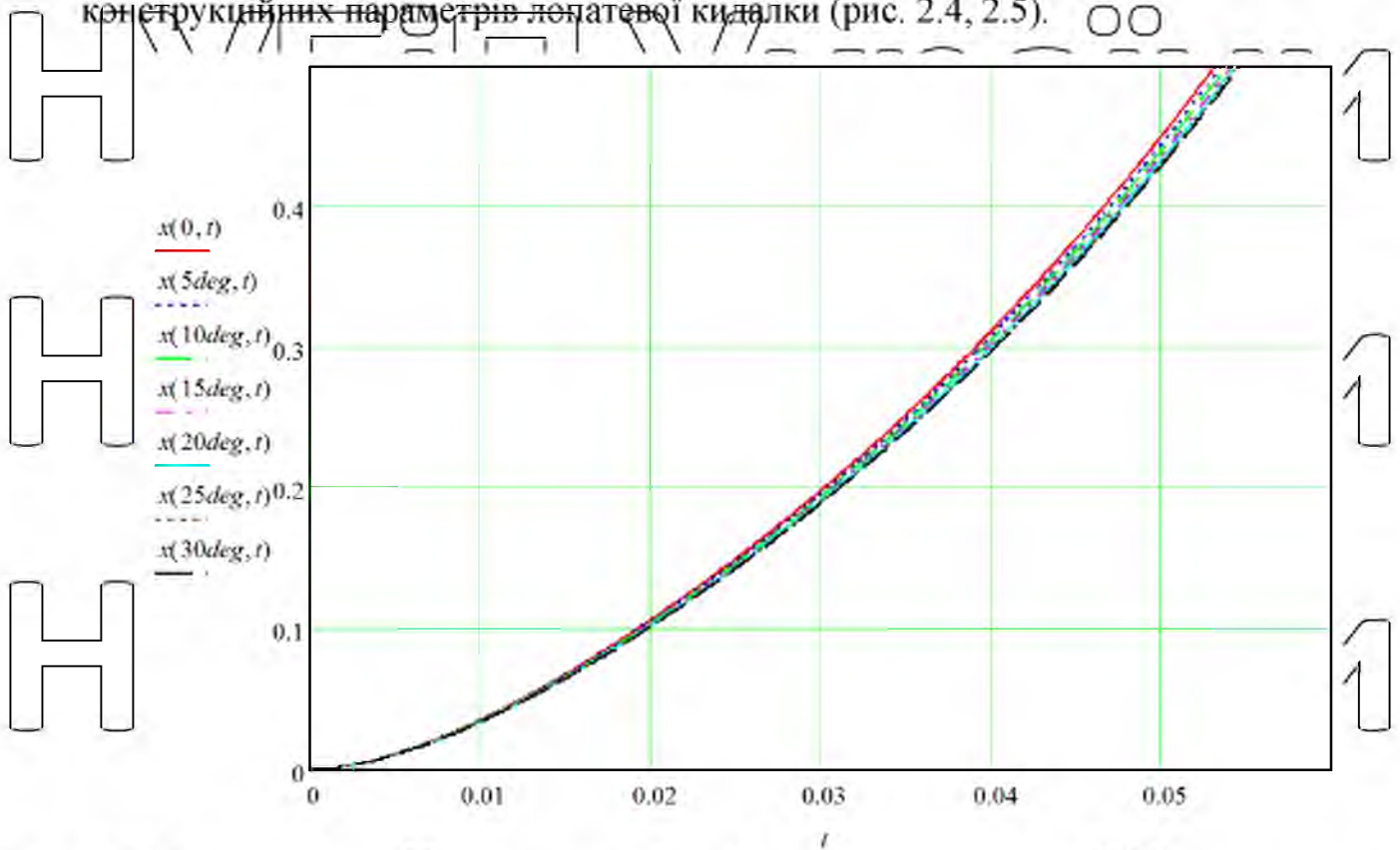


Рис. 2.4. – Довжина траєкторії руху частинки ботвиння вздовж лопаті кидалки для різних значень кута нахилу лопаті  $\psi_1$  ( $\omega = 57 \text{ c}^{-1}$ )

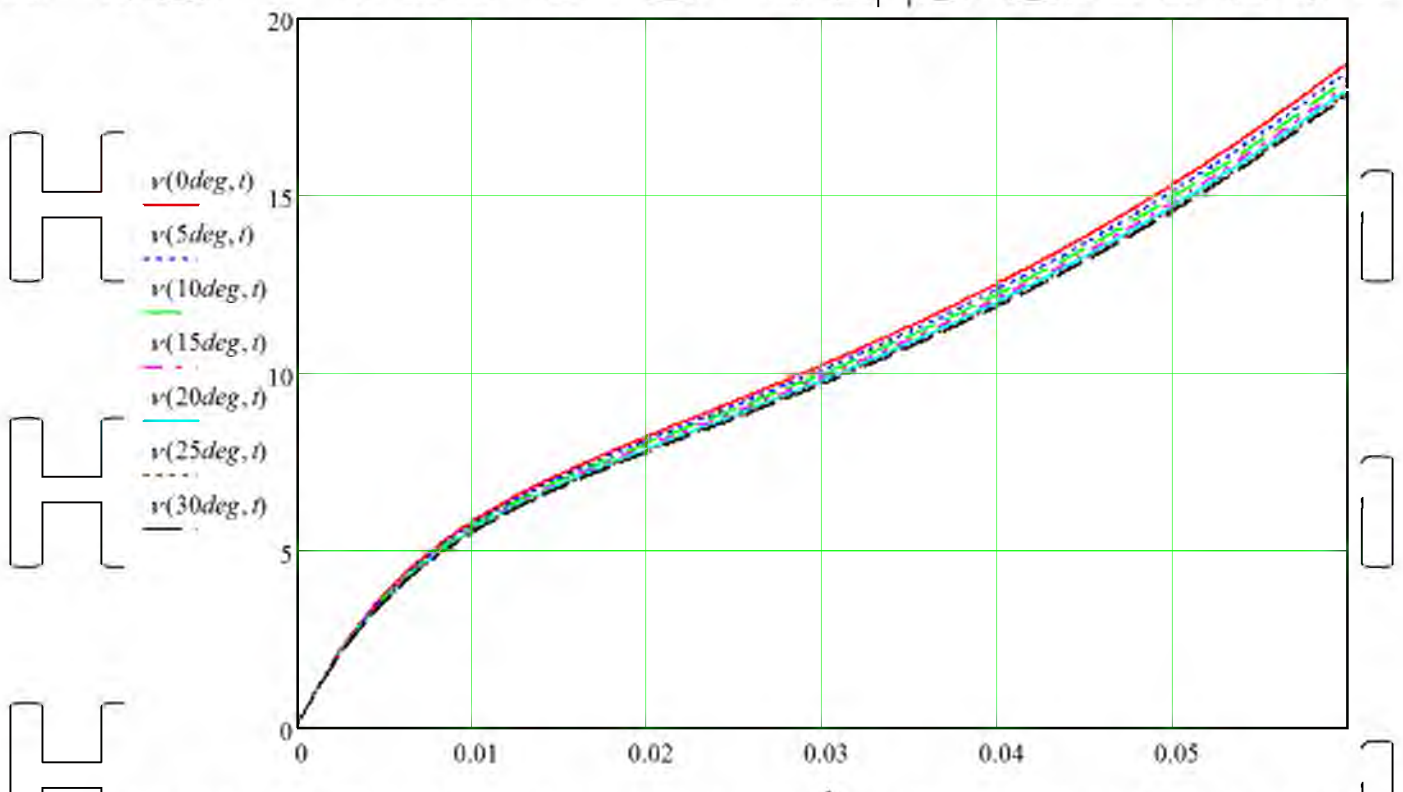


Рис. 2.5. – Швидкість руху частинки ботвиння вздовж лопаті кидалки для різних

значень кута нахилу лопаті  $\psi_1$  ( $\omega = 57 \text{ c}^{-1}$ )

З аналізу залежностей, що одержали під час чисельного моделювання в

програмному середовищі Mathcad, встановлено певні раціональні конструкційні та технологічні параметри механізму завантажувального:

Так, для лопаті кидалки довжина має становити як мінімум 0,4 м – 0,5 м, а ширина лопаті має становити 0,18 м;

Кутова швидкість валу лопатевої кидалки має становити більш ніж  $56 \text{ c}^{-1}$ , що забезпечить необхідну лінійну швидкість руху частинок ботвиння у напрямному хоботі завантажувального механізму.

Також зроблено висновок щодо несуттєвого впливу на час руху часток ботвиння вздовж поверхні лопаті кидалки кута відгину площини робочої поверхні лопаті до радіусу самої ж лопаті. Водночас визначено, що за умови збільшення зазначеного кута відбувається збільшення часу руху часток ботвиння. Враховуючі це та приймаючи до уваги технологічні умови щодо виготовлення кидалки, значення цього кута має становити менше ніж  $5^\circ$ .

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## РОЗДІЛ 3.

# КОНСТРУКЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЇХ РОБОТИ

## 3.1. Задачі та фактори експериментальних вимірювань

Виходячи з аналізу конструкторських розробок та літературних джерел, а також конструкції досвідного зразка машини для збирання ботвиння КПФ-1,5, технологічного процесу збирання ботвиння цукрових буряків з головок коренеплодів без індивідуального копіювання, та агротехнічних вимог до даного процесу, відповідно з поставленими метою та задачами було передбачено:

- перевірити у лабораторних умовах працездатність розробленої конструкції робочих органів для транспортування та завантаження ботвиння машини для збирання ботвиння;

- визначити вплив робочих органів машини для збирання ботвиння на показники якості її роботи;

- визначити вплив кінематичних і конструктивних параметрів робочих органів на якість зібраної ботвиння при її транспортуванні та вивантаженні.

При перевірці якості виконання машиною для збирання ботвиння технологічного процесу транспортування та вивантаження ботвиння, за якісний показник можна прийняти ступінь пошкодження у відсотках окремих листків та пучків ботвиння після впливу на них робочих органів.

Формалізоване описання залежності ступеня пошкодження ботвиння від змінних факторів може бути здійснене за допомогою наступної моделі

$$Y = f(X, B), \quad (3.1)$$

Найвпливовішими факторами при виконанні технологічного процесу транспортування та вивантаження зрізаної маси ботвиння робочими органами машини для збирання ботвиння є кутлова швидкість валу робочих органів для транспортування та вивантаження, довжина транспортування ботвиння вздовж гвинтового конвеєра і форма допатеї кидачки.

Таким чином, приймаємо модель об'єкта дослідження як функцію відгуку, параметром дослідження якої є  $Y$  – ступінь пошкодження зрізаної ботвиння після впливу на неї робочих органів для транспортування та вивантаження, який характеризує результати лабораторних вимірювань в залежності від змінних факторів, що приймають різні значення:  $\omega$  – кутова швидкість валу робочих органів для транспортування та завантаження,  $l_t$  – довжина транспортування ботвиння,  $U$  – форма лопатей кидалки:

$$Y = f(\omega, l_t, U) \quad (3.2)$$

При створенні моделі використовуються статистичні методи, такі як методи обробки експериментальних даних, в результаті яких отримують математичні моделі, що в залежності від типу заданих функцій мають лінійний, поліномний, експоненціальний або логарифмічний вигляд.

При аналізі і у практичному використанні простими є лінійні моделі, якщо їх використовують при вирішенні експериментальних задач, наприклад, для визначення раціональних умов протікання технологічних процесів, це спрощує вибір оптимального розташування точок у просторі незалежних змінних та ін. за рахунок використання методу найменших квадратів для оцінки параметрів [21, 32].

### 3.2. Конструкція робочих органів та лабораторної установки

Конструкційна схема лабораторної установки на базі окремих частин машини для збирання ботвиння, яка приводилась в рух від електродвигуна через ланцюгову передачу з комплектом змінних зірочок, зображена на рис. 3.1; на рис. 3.2 показано у перерізі вивантажувальний механізм.

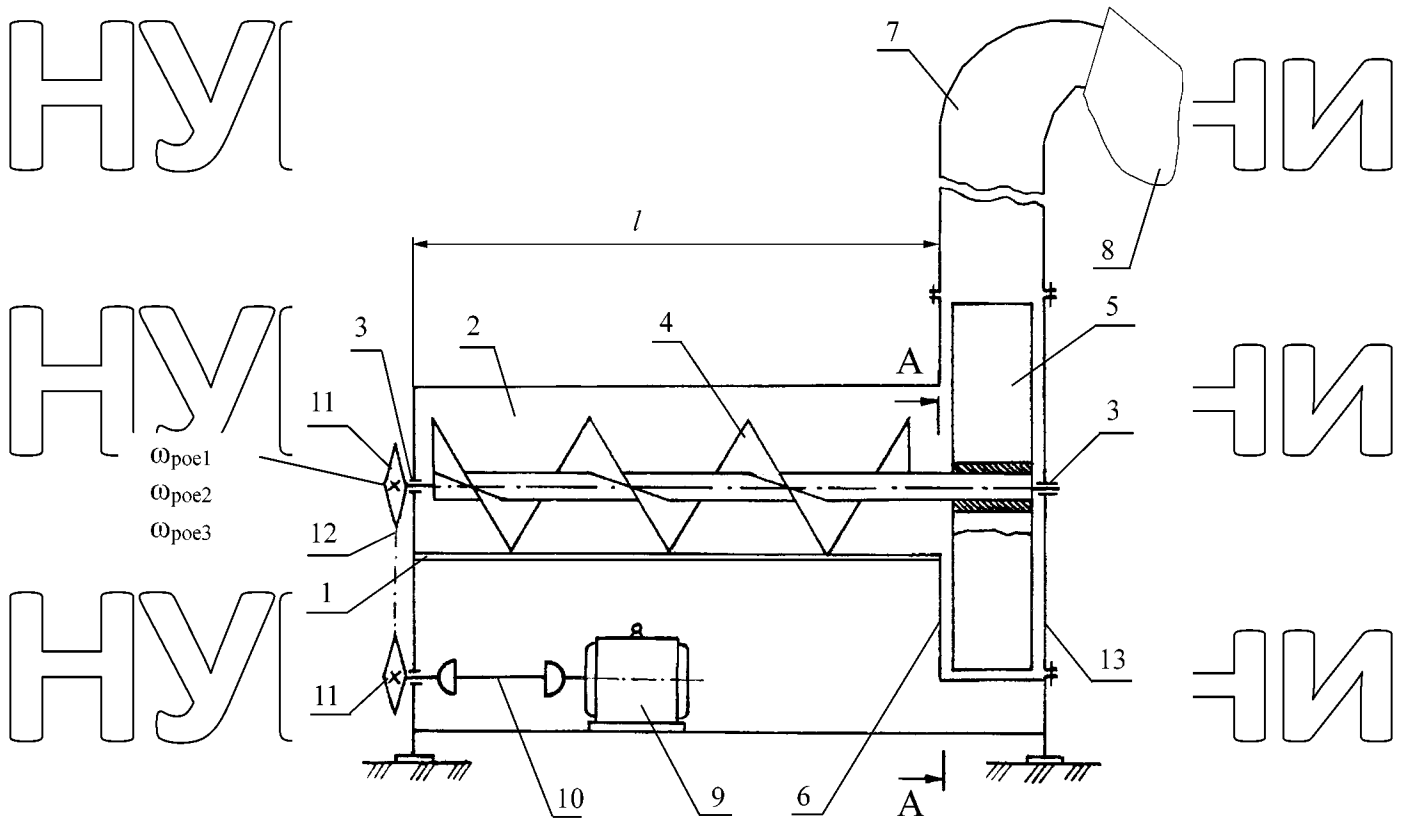


Рис. 3.1. – Експериментальна установка для транспортування та вивантаження ботвиння (схема)

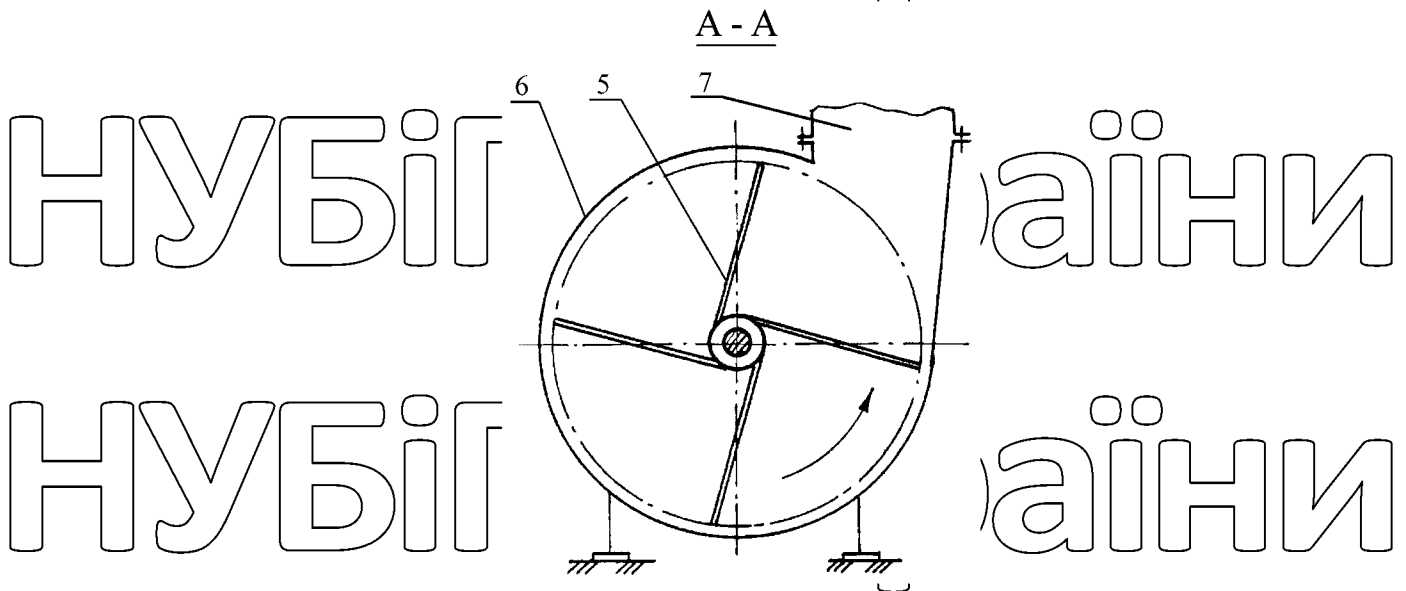


Рис. 3.2. – Механізм для кидання ботвиння (кидалка лопатева)

Установка складається з основної рами 1, на якій встановлено гладкий нерухомий кожух 2, в якому в опорах 3 встановлено гвинтовий конвеєр 4. На кінці

гвинтового конвеєра 4 змонтовано вивантажувальний механізм 5, який виконано у вигляді лопатевої кидалки, розміщеної з зазором у напрямному кожусі 6. Кожух 6 має вигнуту завантажувальну трубу 7, на кінці якої розміщується пристрій для уловлювання ботвиння 8. На основній рамі 1 змонтовано привід робочих органів для транспортування та вивантаження, що складається з електродвигуна 9, карданної передачі 10, та ланцюгової передачі 12 із змінними зірочками 11. Кожух 6 вивантажувального механізму 5 має кришку 13, яка може зніматися, та дозволяє випробовувати лопатеві кидалки різних конструктивних розмірів і геометричної форми.

На рис. 3.3 показано схеми різних лопатевих кидалок, що було виготовлено, причому на рис. 3.3а показано кидалку типу А з прямими чотирикутними лопатями, що нахилені під кутом  $\psi$  між вертикальним радіусом і площиною лопаті на її кінці; на рис. 3.3б кидалку типу Б з лопатями, що нахилені під кутом  $\psi_1$  та мають скошену частину у основи; на рис. 3.3в кидалку типу В з лопатями, що нахилені під кутом  $\psi_1$ , мають скошену частину у основи, та кінці яких відігнуті на деякій відстані  $s$  від початку під кутом  $\gamma_0$ .

Експериментальна установка також має пристрій для завантаження ботвиння (на рисунках не зображений) у вигляді завантажувальної дошки, та електронне обладнання для керування приводом.

При проведенні вимірювань передбачена можливість завантаження одиничних листків та пучків ботвиння цукрових буряків, що попередньо зрізані безпосередньо на буряковій плантації, на різних ділянках по довжині гвинтового конвеєра 4 (рис. 3.1). В цьому випадку є можливість оцінювати ступінь пошкодження ботвиння залежно від довжини шляху її транспортування (часу дії транспортуючих робочих органів). При цьому лопаті кидалки вивантажувального механізму 5 тимчасово знімаються з валу конвеєру 4 і пучки ботвиння, що досліджуються, збираються в нижній частині кожуха 6. Швидкість обертання приводного вала гвинтового конвеєра і кидалки може задаватися різною, що забезпечується встановленням змінних зірочок 11 з різним числом зубів.

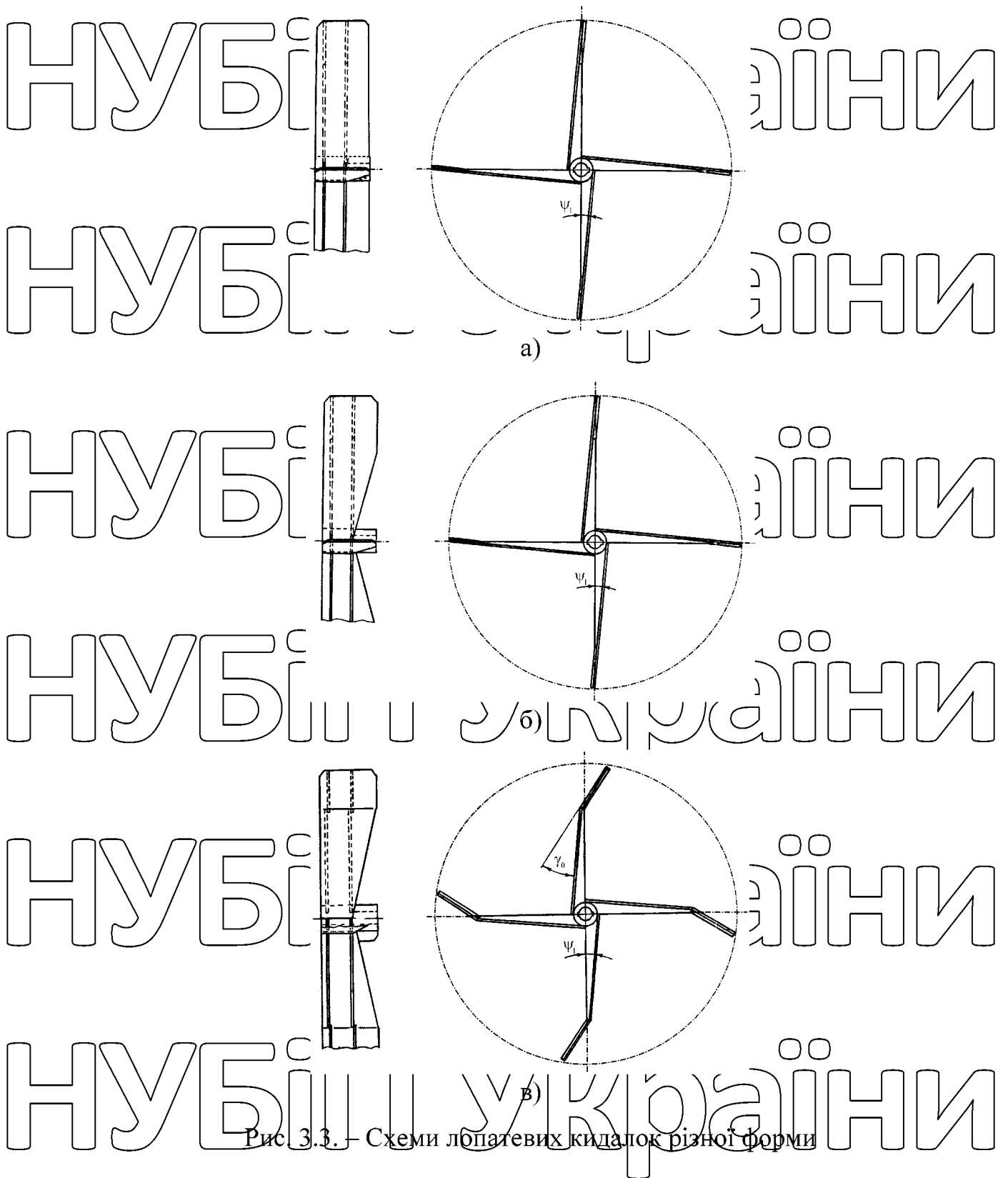


Рис. 3.3. – Схеми лопатевих кидалок різної форми

Сумісна дія транспортуючих і вивантажувальних робочих органів на якісні показники ботвиння має місце при встановленні лопатевої кидалки завантажувального механізму 5. В цьому разі пучки ботвиння, що досліджуються, після транспортування і вивантаження збираються пристроєм для уловлювання 8

(рис. 3.1).

Вимірювання здійснюються на різних кутових піввідношеннях приводного валу робочих органів з встановленням кидаток з лопатями різної форми.

На рис. 3.4. представлено загальний вигляд лабораторної установки.



Рис. 3.4. Лабораторна установка.

а – загальний вигляд; б – ботвиння на різних позиціях завантажувальної дошки

Конструкція установки дозволяє змінювати фактори впливу в достатньо широких межах, що досягається регулюванням та контролем наступних параметрів:

- відстань транспортування ботвиння гвинтовим конвєсором за допомогою завантаження пучків з різних позицій завантажувальної дошки, на якій нанесено відповідні позначки для правильного встановлення цього параметру (рис.3.4, б);

- зміна куткової швидкості відбувається шляхом заміни зірочок для відповідного передаточного відношення приводу з додатковим контролем

правильності регулювання за допомогою тахометра;

– зміна форми лопатей кидалки встановленням кидалок різних типів: типу А (рис. 3.5а), типу Б (рис. 3.5б), типу В (рис. 3.5в), та типу Г – форма як у кидалки Б, але лише дві лопаті (рис. 3.5г);

– контроль маси пучків ботвиння, які завантажуються, та часток ботвиння після дії робочих органів за допомогою електронних ваг.

Загальний вигляд лабораторної установки з боку лопатевої кидалки показано на рис. 3.6, кришку кожуха знято.



Рис. 3.5. – Робочі лопаті кидалки: а, б, в, г – відповідно форми А, Б, В та Г



Рис. 3.6. Кидалка зі знятою кришкою кожуха

Кінематичну схему лабораторної установки представлено на рис. 3.7.

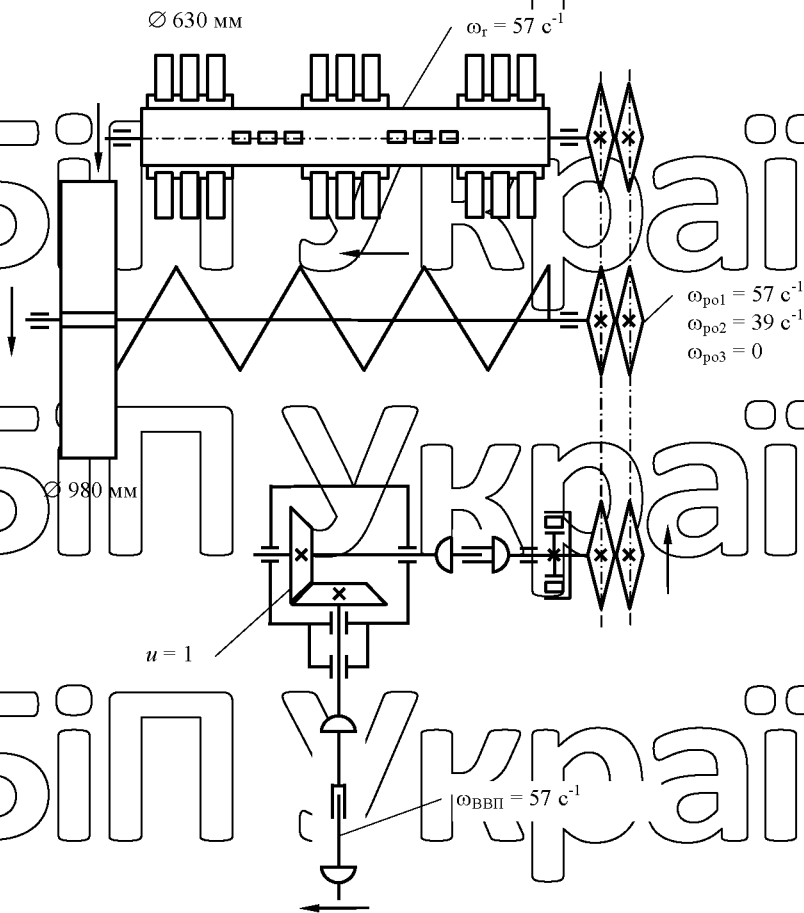


Рис. 3.7. Лабораторна установка, схема кінематична

З використанням лабораторної установки вимірювалися показники якості роботи робочих органів для вивантаження ботвиння: ступінь пошкодження окремих листків та пучків ботвиння при її переміщенні гвинтовим конвєсором та при вивантаженні лопатевою кидалкою.

Рослинний матеріал підготовлювали відповідним чином.

Попередньо зрізані на полі близькі між собою за формою та розмірами розетки ботвиння коренеплодів цукрового буряку (рис. 3.8) додатково сортували, у пучку залишали  $16 \pm 2$  великих листка, довжина яких зі стеблом дорівнювала 500...650 мм, та  $6 \pm 2$  малих листка, довжина яких зі стеблом не перевищувала 250 мм (рис. 3.9). Підготовлені таким чином пучки ботвиння зважували, перед цім



в нижній частині пучка ботвиння обрізали залишки головки коренеплоду.

Для дослідження пошкоджень одиничних листків ботвиння для кожної серії дослідів підбирали листки близькі між собою за площею поверхні з припустимим відхиленням в межах до 10% (рис. 3.10). Площа поверхні листків ботвиння визначалась за допомогою фіксації їх контуру на листах міліметрового паперу (рис. 3.11).



Рис. 3.8. – Розетки ботвиння коренеплодів цукрового буряку попередньо зрізані на поці.



Рис. 3.9. – Пучок ботвиння, підготовлений до зважування



Рис. 3.10. – Листки підбрані для проведення серії дослідів



Рис. 3.11. – Контроль площі поверхні листка

Межі варіювання факторів для більш детального вивчення їх впливу розбивали на декілька інтервалів з границями:

– кутова швидкість:  $\omega_{\text{пов1}} = 75 \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega_{\text{пов2}} = 57 \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega_{\text{пов3}} = 39 \text{ с}^{-1}$ ;

довжина транспортування  $l_1 = 0,3 \text{ м}$ ,  $l_2 = 0,9 \text{ м}$ ,  $l_3 = 1,5 \text{ м}$ .  
Також змінювали фактор  $\alpha$  – форму лопатей кидалки, встановленням кидалок типів А, В, В та Г.

### 3.3. Аналіз результатів лабораторних вимірювань транспортування і вивантаження ботвиння

По перше, проводилися вимірювання для вивчення впливу кутової швидкості гвинтового конвеєра та довжини транспортування вздовж нього зрізаної маси ботвиння на ступінь її пошкодження. Лопаті кидалки не були встановлені в кожух, листки та пучки ботвиння після транспортування виймали з нижньої частини кожуха кидалки.

Такі конструктивні параметри як радіус гвинта ( $R = 0,18 \text{ м}$ ), крок гвинта ( $H = 0,32 \text{ м}$ ) та максимальна довжина транспортування ( $l_3 = 1,5 \text{ м}$ ) визначалися теоретично і їх приймали як сталі величини.

Статистична обробка результатів експериментальних даних проводилася з використанням надбудови "Аналіз даних" програми Excel компанії Microsoft та прикладної програми "СТАТИСТИКА ИМЭСХ" (ІНЦ "ІМЕСГ" НААН України).

За отриманими експериментальними даними проводився багатомірний регресійний аналіз з використанням різних видів функцій.

Дані експериментального дослідження пошкодження одиничних листків ботвиння при її транспортуванні гвинтовим конвеєром машини для збирання ботвиння наведено в табл. Д.1. Ступінь пошкодження  $u_1$  листків внаслідок дії робочого органа визначали за виразом:

$y_1 = \frac{s_2}{s_1} 100\%$ ,  
 де  $s_1$  – площа підготовлених одиночних листків ботвиння,  $\text{cm}^2$ ,  $s_2$  – площа пошкодженої поверхні листків,  $\text{cm}^2$ .

Результати обробки експериментальних даних представлені у вигляді рівнянь регресії, що є математичними моделями процесу, які пов'язують вплив факторів з показником якості виконання технологічного процесу робочими органами.

В одержаних рівняннях прийняте наступне кодоване позначення факторів впливу: кутова швидкість  $\omega_{\text{poc}}$  –  $x$ , довжина транспортування  $l_i$  –  $y$ .

Для ступеня пошкодження окремих листків було одержано наступні моделі, обрані серед інших за найбільшим значенням квадрата коефіцієнта кореляції (при ймовірності  $P = 0,95$ ,  $t_{\text{окр}} = 2,013$ ):

у вигляді полінома другого ступеня:

$$y_1 = -0,2747 + 0,0296x + 0,0518y - 0,0002x^2 + 0,0033xy - 0,0904y^2, \quad (3.1)$$

при квадраті коефіцієнта кореляції (коефіцієнти множинної детермінації)  $R^2 = 0,255$ , коефіцієнти множинної кореляції  $R = 0,505$ , стандартній похибці (відхиленні оцінки)  $S_r = 0,325$ ;

у лінійному вигляді:

$$y_1 = 0,1687 + 0,0115x + 0,0788y, \quad (3.2)$$

при  $R^2 = 0,242$ ,  $R = 0,492$ ,  $S_r = 0,316$ .

На основі одержаних рівнянь регресії за допомогою прикладної програми "STATISTICA 6" побудовано поверхні відгуку ступеня пошкодження окремих листків ботвиння від кутової швидкості робочого органу і довжини транспортування (рис. 3.12 – 3.14).

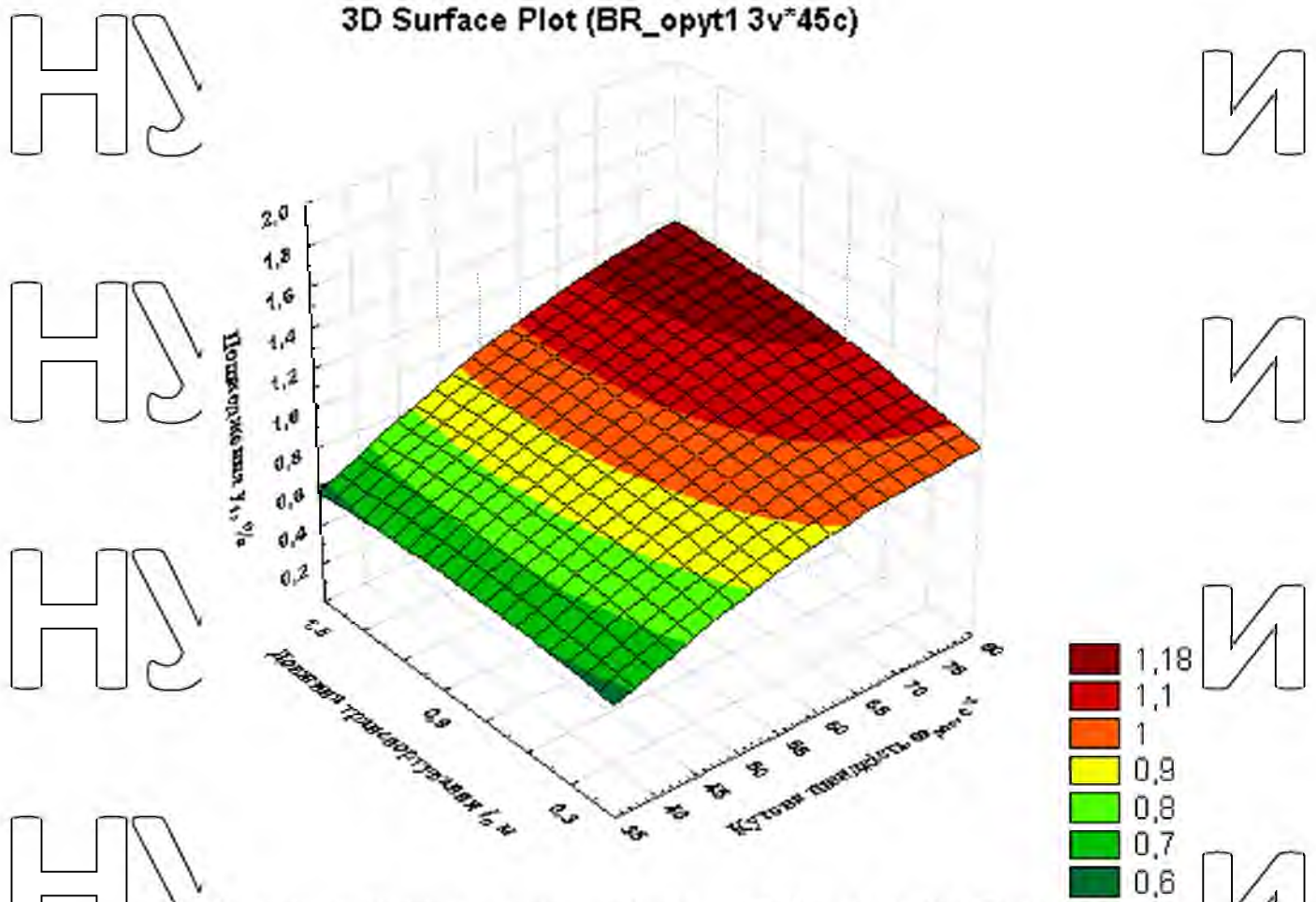


Рис. 3.12. – Поверхня відгуку ступеня пошкодження окремих листків ботвиння від кутової швидкості гвинтового конвеєра і довжини транспортування

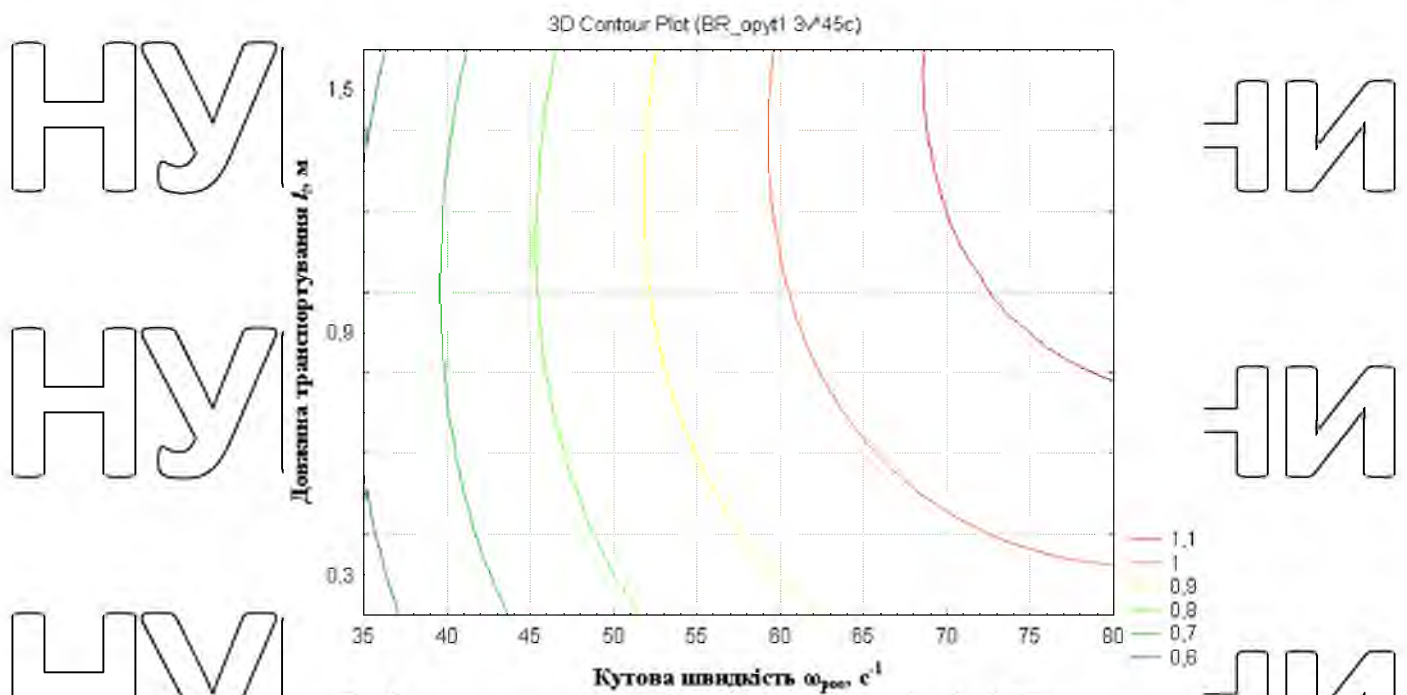


Рис. 3.13. – Двовимірний переріз поверхні відгуку ступеня пошкодження окремих листків ботвиння від кутової швидкості гвинтового конвеєра і довжини

транспортування

3D Surface Plot (BR\_опыт1 3v\*45c)

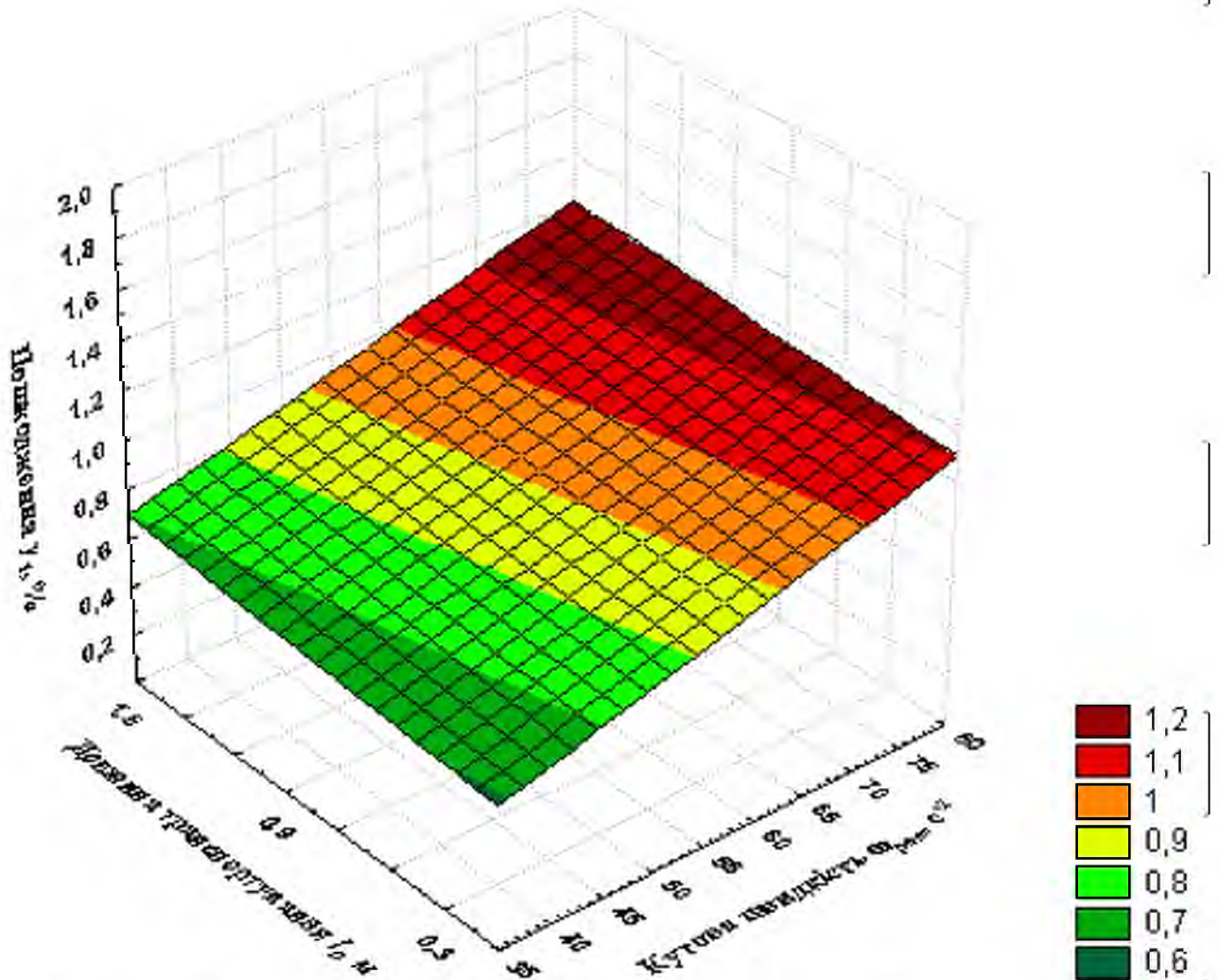


Рис. 3.14. – Лінійна поверхня відгуку ступеня пошкодження окремих листків

ботвиння від кутової швидкості гвинтового конвеєра і довжини транспортування

Результати регресійного аналізу для поліному другого ступеня (3.1) при кількості змінних 2, при рівні ймовірності  $P = 0,95$ ,  $t_{кр} = 2,013$  наведено в табл. 3.1

та додатках. Для даного типу функції коефіцієнти регресії всіх факторів є **незначимими**.

Таблиця 3.1. – Результати регресійного аналізу

Змінна	Кореляції	Коефіцієнт регресії лінеаризований	Статистична похибка коефіцієнту регресії	$t_\alpha$	Коефіцієнт еластичності	Значимість коефіцієнту регресії
Залежна змінна						
y1		-0,2747				
Незалежні змінні						
x	+0,480	+0,0296	+0,03683	+0,80	+1,89	не значимий
y	-0,110	+0,0518	+0,64945	+0,08	+0,05	не значимий
x <sup>2</sup>	+0,471	-0,0002	+0,00032	-0,58	-0,72	не значимий
xy	+0,312	+0,0033	+0,00674	+0,49	+0,19	не значимий
y <sup>2</sup>	-0,100	-0,0904	+0,28576	-0,32	-0,11	не значимий

В табл. 3.2 та додатках наведено результати регресійного аналізу для лінійної функції (3.2) при кількості змінних 2, рівні ймовірності  $P = 0,95$ ,  $t_{скр} = 2,013$ .

Таблиця 3.2. – Результати регресійного аналізу

Змінна	Середнє	Стандартне відхилення	Коефіцієнт регресії лінеаризований	Статистична похибка коефіцієнту регресії	$t_\alpha$	Значимість коефіцієнту регресії
Залежна змінна						
y1	+0,893	+0,355	+0,1687			
Незалежні змінні						
x	+57,0	+14,863	+0,0115	+0,0032	+3,57	значимий
y	+0,9	+0,495	+0,0788	+0,0962	+0,82	не значимий

Після виключення незначимого фактора, рівняння регресії матиме вигляд:

$$y_1 = 0,2396 + 0,0115x, \quad (3.3)$$

при  $R^2 = 0,23$ ,  $R = 0,48$ ,  $S_r = 0,315$ .

Дані експериментального дослідження пошкодження одиничних пучків ботвиння при її транспортуванні гвинтовим конвесером машини для збирання ботвиння наведено в табл. Д.2. Ступінь пошкодження  $y_2$  пучків внаслідок дії робочого органа визначали за виразом:

$$y_2 = \frac{n_2}{n_1} 100\%,$$

де  $n_1$  – маса пучка, г;  $n_2$  – маса пошкоджених після транспортування часток пучка, г.

Результати статистичної обробки одержаних даних наведено в додатках.

Для ступеня пошкодження окремих пучків було одержано наступні моделі, обрані серед інших за найбільшим значенням квадрата коефіцієнта кореляції (при ймовірності  $P = 0,95$ ,  $t_{кр} = 2,013$ ):

у вигляді полінома другого ступеня:

$$y_2 = -1,8662 + 0,1429x + 0,1017y - 0,0009x^2 + 0,0008xy + 0,0158y^2, \quad (3.4)$$

при  $R^2 = 0,826$ ,  $R = 0,909$ ,  $S_r = 0,333$ ,

у лінійному вигляді:

$$y_2 = 0,7164 + 0,0446x + 0,1764y, \quad (3.5)$$

при  $R^2 = 0,794$ ,  $R = 0,891$ ,  $S_r = 0,349$ .

На основі одержаного рівняння регресії (3.4) побудовано поверхню відгуку ступеня пошкодження окремих пучків ботвиння від кутової швидкості робочого органу і довжини транспортування (рис. 3.15).

Результати регресійного аналізу для поліному другого ступеня (4.4) при кількості змінних 2, при рівні ймовірності  $P = 0,95$ ,  $t_{кр} = 2,013$  наведено в додатках. Для даного типу функції незначимими є коефіцієнти регресії при факторах  $y$ ,  $xy$  та  $x^2$ .

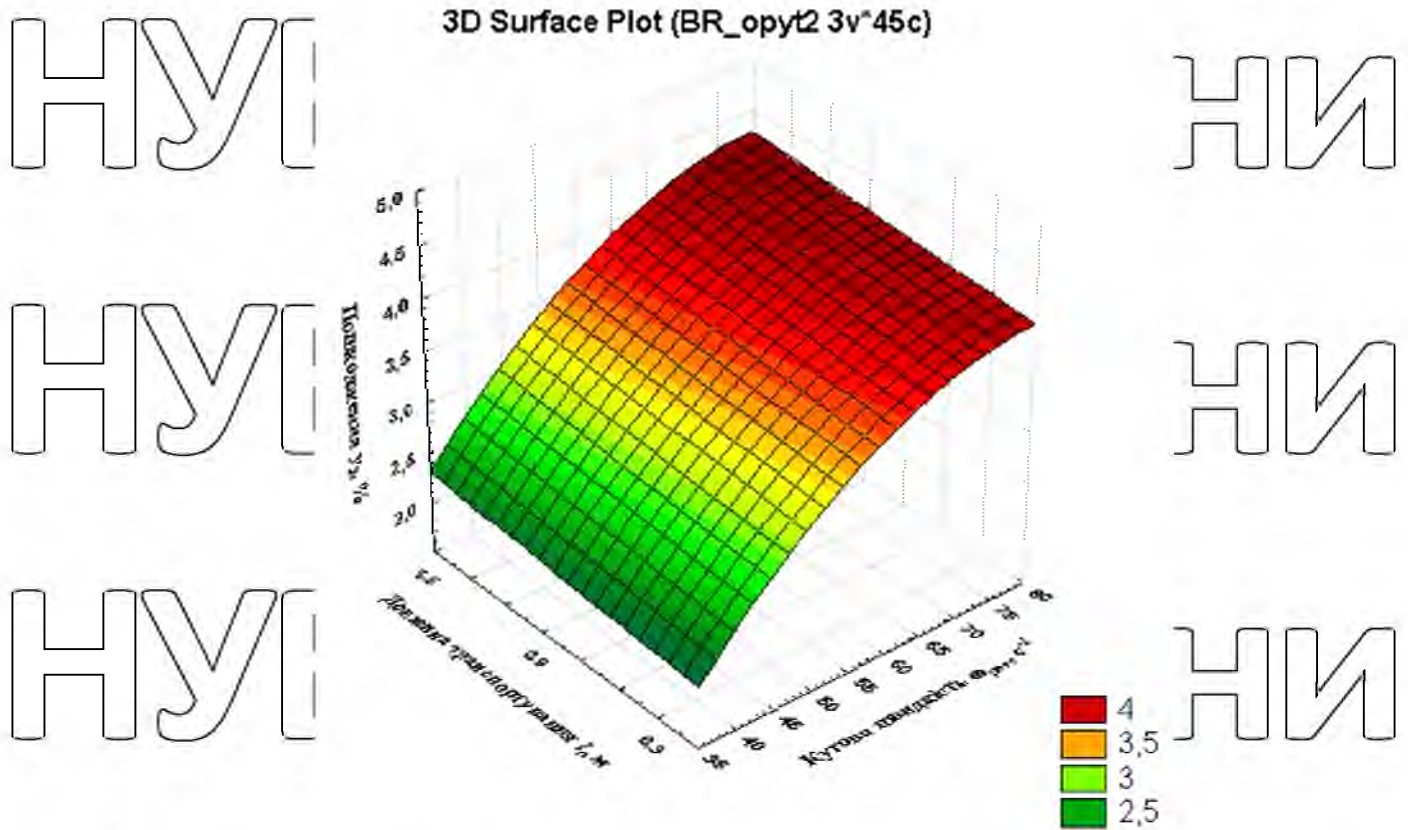


Рис. 3.15 – Поверхня відгуку ступеня пошкодження окремих пучків ботвиння від кутової швидкості гвинтового конвєєра і довжини транспортування

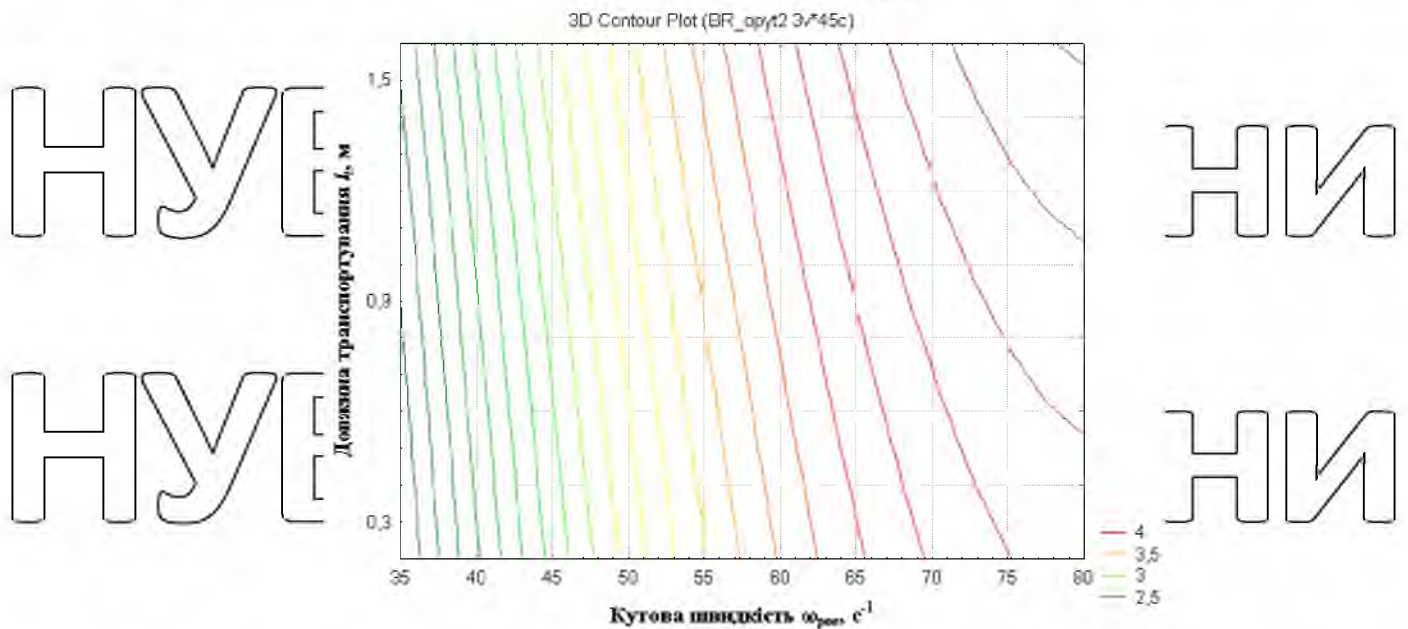


Рис. 3.16 – Двовірний переріз поверхні відгуку ступеня пошкодження окремих пучків ботвиння від кутової швидкості гвинтового конвєєра і довжини транспортування



Після виключення незначимого фактору, остаточно приймаємо рівняння регресії вигляду:

$$y_2 = -1,7581 + 0,1436x - 0,0009x^2, \quad (3.6)$$

при  $R^2 = 0,812$ ,  $R = 0,901$ ,  $S_r = 0,333$ .

Таким чином, за аналізом даних статистичної обробки результатів вимірювань показників процесу транспортування одиничних листків та пучків ботвиння гвинтовим конвеєром встановлено, що ступінь їх пошкодження на конвеєрі є неістотною і складає 0,3...5%. Також встановлено, що для досліджуваного конвеєра, довжина якого відповідає ширині захвату машини для збирання ботвиння, ступінь пошкодження мало залежить від довжини транспортування (від місця потрапляння ботвиння зрізаної роторним гичкорізальним апаратом на конвеєр).

При подальшому дослідженні пошкодження ботвиння при її вивантаженні лопатевою кидалкою з числа змінних факторів за результатами обробки даних перших двох дослідів було виключено чинник, вплив якого виявився незначущим – довжину транспортування ботвиння шнековим транспортером. Було встановлено сталім максимальне значення довжини транспортування ( $L_t = 1,3$  м).

Данні пошкодження одиничних пучків ботвиння при її транспортуванні гвинтовим конвеєром машини для збирання ботвиння наведено в табл. Д.3. Ступінь пошкодження  $y_3$  пучків внаслідок дії робочих органів визначали за виразом:

$$y_3 = \frac{m_2}{m_1} 100\%,$$

де  $m_1$  – маса підготовлених пучків ботвиння, г;  $m_2$  – маса дрібних часток, г (частки стебел довжиною менші 6 см, листків – площею менші 30 см<sup>2</sup>) викинуті кидалкою через вивантажувальну трубу.

На рис. 3.17. показано частки пучків гічки зібрані пристроєм для уловлювання та підготовлені до розділення на фракції після проведення серії вимірювань.



Рис. 3.17. – Части пучків гічки зібрані з поверхні пристрою для уловлювання

На рис. 3.18 як приклад показано розділені на фракції уловлені частинки пучків ботвиння після їх вивантаження лопатевою кидалкою з встановленими лопатями різних типів для значення кутової швидкості робочих органів  $57 \text{ с}^{-1}$ .



а)



б)



в)



г)

Рис. 3.18. – Пучки ботвиння, які зазнали дії лопатей різних типів, при кутовій швидкості робочих органів  $\omega_{\text{роз}} = 57 \text{ с}^{-1}$ : а, б, в і г – відповідно лопатей типу А, Б, В і

За порівнянням ступеня пошкодження ботвиння при її транспортуванні лише гвинтовим конвеєром (0,5... 5%) та при її транспортуванні конвеєром з наступним киданням лопатевою кидалкою (55...85%) можна припустити, що основне пошкодження маси ботвиння відбувається при її сходженні з гвинтового конвеєра у простір кожуха кидалки і потраплянні на лопаті кидалки.

За результатами статистичної обробки даних лабораторних досліджень одержано рівняння регресії у вигляді поліномів другого ступеня, що характеризують пошкодження пучків ботвиння різними типами кидалок від кутової швидкості робочих органів (при ймовірності  $P = 0,95$ ):

$$\text{для типу А} \quad y_3 = -0,0044x^2 + 0,7175x + 52,256, \quad (3.7)$$

при  $R = 0,5144$ ,  $R^2 = 0,2757$ , стандартній похибці 5,6018;

$$\text{для типу Б} \quad y_3 = -0,0008x^2 + 0,388x + 45,499, \quad (3.8)$$

при  $R = 0,6848$ ,  $R^2 = 0,4689$ , стандартній похибці 4,8079;

$$\text{для типу В} \quad y_3 = 0,0004x^2 + 0,2491x + 46,212, \quad (3.9)$$

при  $R = 0,5548$ ,  $R^2 = 0,3079$ , стандартній похибці 6,6241;

$$\text{для типу Г} \quad y_3 = 0,0003x^2 + 0,2644x + 47,711, \quad (3.10)$$

при  $R = 0,7671$ ,  $R^2 = 0,5885$ , стандартній похибці 3,7945.

Коефіцієнт кореляції для кутової швидкості робочих органів становив 0,5144 для лопатей типу А; 0,6848 для лопатей типу Б; 0,5549 для лопатей типу В; та 0,7671 для лопатей типу Г; що свідчить про середній кореляційний зв'язок між параметрами.

На підставі одержаних даних експериментальних досліджень було побудовано графічні залежності ступеня пошкодження ботвиння кидалками з різними типами лопатей від кутової швидкості робочих органів (рис. 3.19).

За аналізом одержаних залежностей встановлено, що в межах досліджуваного діапазону значень кутової швидкості її зростання призводить до підвищення ступеня пошкодження пучків ботвиння кидалкою з лопатями певного типу в середньому на 2,5-4,5% на кожні  $10 \text{ с}^{-1}$ . Ступінь пошкодження пучків ботвиння кидалкою з формою лопатей типу Б на 10...13% менша, ніж при

використанні кидалки з прямими прямокутними лопатями типу А. Кидалки з формою лопатей типу Б та В мають більш близькі показники пошкодження ботвиння в порівнянні з показниками пошкодження кидалкою з лопатями типу А. Застосування кидалки типу Г (Б тільки лише з двома лопатями) не зменшує істотно пошкодження ботвиння при завантаженні.

Отже, для подальшого використання в конструкції машини для збирання ботвиння потрібно застосовувати кидалку з лопатями, які мають у своїй основі з боку гвинтового конвеєра скошену частину на довжині, що не менша за радіус гвинтового конвеєра (тип В). Виходячи з конструктивних параметрів кожуха кидалки та завантажувальної труби, доцільно використовувати кидалку типу В з лопатями, кінці яких відігнуті під кутом  $\gamma_0 = 30...38^\circ$  для спрямування потоку ботвиння у вивантажувальну трубу.

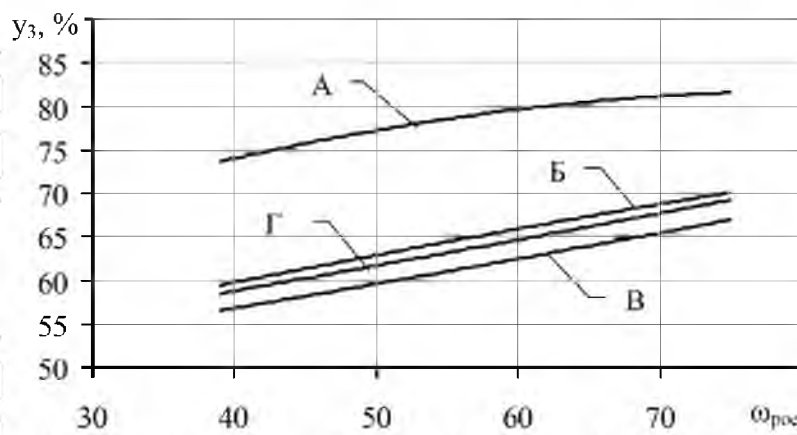


Рис. 3.19 – Графіки пошкодження пучків ботвиння лопатевими кидалками з лопатями різних типів (А, Б, В та Г) від швидкості кутової

За результатами спільного аналізу рівнянь регресії лінійного і поліноміального типів із наближенням функції відгуку до мінімальних значень за прийнятих значень конструктивних параметрів конвеєра гвинтового та кидалки лопатевої встановлено, що кутова швидкість робочих органів для транспортування і завантаження ботвиння має раціональні значення в діапазоні  $30...40 \text{ с}^{-1}$ . Значення близько  $40 \text{ с}^{-1}$  забезпечує гарантоване завантаження практично всіх часток одиночних пучків ботвиння в процесі лабораторних вимірювань.

## РОЗДІЛ 4.

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

## 4.1. Небезпечні та шкідливі фактори

Вимоги безпеки до сільськогосподарських робіт, технологічних процесів, виробничих приміщень, площ і ділянок повинні відповідати ДСТУ.

Перелік шкідливих і небезпечних факторів, що діють на людину:

- травмування від наїзду транспортними машинами;
- захоплення відкритими частинами рухомих механізмів машин;
- придушування навісними машинами;
- шкідливі фактори оброблювального середовища:
- забрудненість, підвищена запиленість і загазованість зони роботи;
- підвищення вмісту часток мінералів і пестицидів на місці роботи;
- занадто підвищена вологість і температура робочої зони.

У випадку, коли технологія виробництва не дозволяє повністю забезпечити належні умови праці обслуговуючому персоналу, потрібно застосовувати індивідуальні засоби захисту.

## 4.2. Вимоги до процесу збирання та технічного стану агрегатів

Вимоги до технологічного процесу збирання цукрових буряків повинно відповідати типовим технологічним картам.

При цьому режим виконання технологічних процесів має забезпечити узгодженість роботи збиральних машин із запобіганням виникнення небезпечних факторів виробничого процесу; завантаження машин відповідно до їх продуктивності; забезпечення техніки безпеки під час роботи збиральної машини.

Машини повинні бути укомплектовані стандартним набором перевіреного робочого інструменту у відповідності до інструкції експлуатації машини. Експлуатувати машину без захисту рухомих частин або огорожі, що пофарбована у жовтий чи червоний колір, заборонено.

Машинні агрегати до складу яких входять причіпні машини, мають бути обладнані робочими місцями і двосторонньою сигналізацією, а також підніжні захисні дошки і огороження.

Агрегування збиральних машин треба проводити з трактором того класу, який рекомендований заводом виготовлювачем машини.

Робітники перед початком робіт повинні пройти відповідний інструктаж із техніки безпеки.

### 4.3. Аналіз шкідливих факторів

При збиранні цукрових буряків в полі на робітників впливає потужний ряд шкідливих факторів, які можуть перевищити допустимі норми. Так, повітря робочої зони забруднюється ґрунтовим пилом, який впливає на дихальні шляхи, легені, очі та шкіру. Це може привести до захворювання органів дихання, запальовальних процесів очей тощо.

Міндобрива, пестициди, нафтопродукти також можуть стати чинниками отруєння працівників і виникнення та розвитку різних захворювань. Також слід враховувати, що деякі пари цих речовин вибухонебезпечні (наприклад, пари бензину вибухають за концентрації 0,67-5,03%, а аміаку за концентрації 16-28%).

### 4.4. Аналіз виробничих небезпек при збиранні цукрових буряків

Для належного забезпечення процесу збирання цукрових буряків підприємства аграрного виробництва використовують складні технологічні машини, спеціалізоване знаряддя та збиральні комплекси, що вимагає належних знань персоналу з техніки безпеки.

Шкідливі і небезпечні виробничі фактори за природою дії діляться на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні.

При збиранні цукрових буряків до групи фізичних факторів входять:

- рухомі механізми машин, що не захищені належним чином і самі рухомі механізми та машини;
- надмірна засміченість та запиленість повітря зони роботи;
- підвищений за допустимий рівень шуму.

Водночас за характером дії на організм людини фізичні, небезпечні і шкідливі фактори виробництва діляться на наступні групи.

– загально токсичні, які накопичуються в організмі,

– які мають можливість проникати до організму людини крізь шляхи дихання та крізь шкіру.

До небезпечних біологічних факторів виробництва відносять мікроорганізми та макроорганізми, які можуть викликати у робітників травми чи то захворювання. Зокрема, до таких факторів відносять віруси, гриби, бактерії, прості рослини і навіть тварини.

#### 4.5. Заходи з безпеки праці

Промислове виробництво продукції рослинництва є об'єднаним до комплексу засобів та заходів за певними різними ознаками:

– за часом виконання – цілорічні роботи з особливостями за сезонами;

– за кадровими ознаками – беруть участь як керівники різних рівнів так й робітники різних професій;

– за технічними – розробка, використання та залучення певних поширених чи певних спеціалізованих технологій та устаткування;

– за організаційними – підготовка техніки, виробничого персоналу, виробничих будівель, виробничих площ (полів, приміщень складів тощо), а також іншими.

Зазначені вище окремі складові загального виробничого процесу характеризуються всі специфічними небезпеками на виробництві.

Чинними нормативними актами і відповідною технічною документацією визначено головні та опосередковані вимоги безпеки до технологічних процесів, що мають місце в рослинництві. Так, зокрема, встановлено належні вимоги безпеки щодо здійснення технологічних процесів під час збирання культур буряківництва.

Щодо заходів організаційних, що їх належить здійснювати певним

відповідним особам, зокрема, при підготовці та під час проведення запланованих робіт, то доцільним є наступне:

- розробити та запланувати та провести семінари-наради з фахівцями та керівниками підприємств і організацій аграрного виробництва та окремих фермерських господарств, під час яких докладно проаналізувати порушення вимог охорони праці, що були допущені раніше, та обговорити причини і обставини усіх нещасних випадків, що мали місце;

- безперечно забезпечити належне виконання та дотримання вимог Правил охорони праці в аграрному виробництві, також інших законодавчих актів і актів нормативно-правових, що містять вимоги норм безпеки праці в галузі;

- керуватися вимогами виробників техніки, сільськогосподарського технологічного устаткування, які зазначено в технічній документації (паспортах, описах, інструкціях);

- проводити з усіма працівниками позапланові інструктажі з охорони праці перед початком робіт збиральних (за окремими професіями і за всіма видами робіт, що виконують);

- працівників, котрі не пройшли належного навчання та не здійснили перевірку своїх власних знань з охорони праці не допускати до роботи;

- проводити приймання (допуск) техніки, що підготовлена до виконання робіт, спеціальними комісіями на її відповідність вимогам та нормам безпеки праці; не дозволяти експлуатацію сільськогосподарських агрегатів та тракторів, якщо вони не відповідають вимогам та нормам безпеки та не пройшли уповноваженими на це особами огляду технічного стану;

- суворо відсторонювати працівників від роботи, якщо вони не застосовують в виданих їм засобів індивідуального захисту;

- розробити та скласти безпечні раціональні маршрути пересування техніки з однієї певної ділянки виробничої діяльності до іншої;

- обладнати належні функціональні спеціальні місця для тимчасового нетривалого відпочинку працівників безпосередньо в полі з вживанням їжі;

- здійснювати медичні огляди механізаторів і водіїв.



## РОЗДІЛ 5.

## ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Основними критеріями при оцінюванні показників економічної ефективності є прямі витрати, що пов'язані з експлуатацією агрегатів та машин: на паливно-мастильні матеріали, на оплату праці, на ремонт і технічне обслуговування, на реновацію, на якість і кількість продукції тощо під час порівнювання обраних машин.

У якості базової машини для порівняння використаємо машину для збирання ботвиння марки БМ-6Б, як найбільш уживану при збиранні урожаю ботвиння буряків цукрових в аграрних підприємствах нашої країни.

У таблиці 5.1 наведено вихідні параметри для проведення розрахунків.

Розмір капітальних вкладень  $K$ , грн/га:

$$K = \frac{B_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M}{Q_M} \quad (5.1)$$

де  $B_M$ ,  $B_T$ , грн – балансова вартість машини і трактора;  $Q_M$  – нормативне річне завантаження машини (для бурякозбиральних машин  $Q_M = 120 \dots 200$  га);  $T_{PT}$ , год. – річний наробіток трактора;  $W_3$ , га/год – продуктивність змінного часу.

$$W_3 = W_o \tau = 0,1BV_m \tau \quad (5.2)$$

де  $W_o$ , га/год. – продуктивність основного часу;

$$W_o = 0,1BV_m, \quad (5.3)$$

де  $\tau$  – коефіцієнт ефективного використання часу зміни ( $\tau = 0,8$ );  $B$ , м – робоча ширина захвату;  $V_m$ , км/год – робоча швидкість поступального руху машини для збирання ботвиння.

Таблиця 5.1. – Вихідні дані при розрахунку економічних показників

Показник	Агрегат з базовою машиною	Агрегат з новою удосконаленою машиною
Робоча ширина захвату машини, м	2,7	1,35
Робоча швидкість руху машини, км/год.	5,0...6,0	7,0...9,0
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
Балансова вартість трактора, тис. грн	486	486
Балансова вартість машини, тис. грн	259,2	87,0
Нормативний річний наробіток трактора, год.	1350	1350
Нормативне річне завантаження машини, га	160	160
Комплексна ціна 1 кг палива, грн	24,9	24,9
Годинна ставка робітника, грн/люд.-год.	87,4	87,4
Вага машини, кг	3050	850
Сильне пошкодження зібраної гички, %	50-70	до 60
Повнота збирання гички, %	до 85	до 95
Пошкодження коренеплодів при збиранні гички, %	5-8	0,5-1,5
Зведені енерговитрати на виконання технологічного процесу машиною, кВт	6,4...7,2	2,7...4,5
Врожайність гички, т/га	19,3	19,3
Врожайність коренеплодів, т/га	50,9	50,9

Для базової машини для збирання ботвиння:

$$W_{\text{б}} = 1,3 \text{ га/год.}$$

Для машини для збирання ботвиння з удосконаленнями:

$$W_{\text{м}} = 0,86 \text{ га/год.}$$

Прямі експлуатаційні витрати визначимо як суму наступних витрат:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (5.4)$$

де  $C$ , грн/га – прямі експлуатаційні витрати;  $C_1$ , грн/га – витрати на оплату праці;

$C_2$ , грн/га – витрати на паливо-мастильні матеріали,  $C_3$ , грн/га – витрати на

реновацію машини і трактора;  $C_4$ , грн/га – витрати на їх ремонт і технічне обслуговування.

Складові у виразі (5.4) визначимо як:

$$C_1 = \frac{\sum n_i C_{ti}}{W_3}, \quad (5.5)$$

де  $n_i$ , люд. – кількість працівників відповідного класу, що зайняті цією роботою;  $C_{ti}$ , грн/люд.-год. – годинна ставка одного працівника цього класу;

$$C_2 = \frac{N_n q_n \eta_t C_n}{W_3}, \quad (5.6)$$

де  $N_n$ , кВт – номінальна потужність двигуна;  $q_n$ , кг/кВт-год. – питомі витрати паливо-мастильних матеріалів;  $\eta_t$  – коефіцієнт використання потужності трактора ( $\eta_t = 0,8$ );  $C_n$ , грн/кг – комплексна вартість паливо-мастильних матеріалів;

$$C_3 = \frac{B_T a_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M a_M}{Q_M}, \quad (5.7)$$

де  $a_T, a_M$  – коефіцієнти нормативні витрат на реновацію машини і трактора;

$$C_4 = \frac{B_T b_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M b_M}{Q_M}, \quad (5.8)$$

де  $b_T, b_M$  – коефіцієнти нормативні щорічних відрахувань на технічне обслуговування та ремонт машини і трактора.

Приведені експлуатаційні витрати розрахуємо як:

$$П = eK + C, \quad (5.9)$$

де  $П$ , грн/га – приведені експлуатаційні витрати;  $e$  – коефіцієнт нормативний ефективності використання капітальних вкладень ( $e = 0,15$ );  $K$ , грн/га – розмір капітальних вкладень.

Додаткові складові економічного ефекту будуть дорівнювати:

$$E_{d_i} = \frac{(P_{B_i} - P_{M_i}) U_{p_i}}{100\%} \cdot C_{p_i} \quad (5.10)$$

де  $E_{d_i}$ , грн/га – додаткова складова економічного ефекту від експлуатації

модернізованої машини (наприклад, від покращення якісних показників при збиранні ботвиння і т.ін);  $P_{B_i}, P_{M_i}, \%$  – пошкодження при збиранні ботвиння базовою і новою модернізованою машиною;  $U_{P_i}, \text{кг/га}$  – врожайність цукрового буряку;

$C_{P_i}, \text{грн/кг}$  – ціна цукрового буряку.

Додатковий ефект від зменшення пошкодження ботвиння та коренеплодів цукрового буряку буде  $E_d = \sum E_{d_i} = 96,5 \text{ грн/га}$ .

Загальний економічний ефект визначимо як суму зменшення прямих експлуатаційних витрат і додаткового ефекту від експлуатації модернізованої машини:

$$E_3 = (П_б - П_м) + E_d, \quad (5.11)$$

де  $E_3, \text{грн/га}$  – загальний економічний ефект;  $П_б, П_м, \text{грн/га}$  – приведені експлуатації витрати базової і удосконаленої машини.

Питома матеріалоємність процесу,  $\text{кг} \cdot \text{год} / \text{га}$ :

$$M_p = \frac{m_T + m_M}{W_o}, \quad (5.12)$$

Економічний ефект за рік,  $\text{грн}$ , буде дорівнювати:

$$E_p = E_3 Q_M. \quad (5.13)$$

У підсумку, за результатами автоматизованих розрахунків із застосуванням прикладних програм, було визначено, що застосування машини трирядної для збирання ботвиння з робочими органами вдосконаленої конструкції надає можливість досягти розрахунковий річний економічний ефект до 41 тис. грн.

Отже впровадження модернізованої машини для збирання ботвиння із удосконаленою конструкцією робочих органів для вивантаження ботвиння економічно доцільно.

## ВИСНОВКИ

1. Доцільним є збирання ботвиння цукрових буряків у дві стадії: суцільне зрізування основної маси роторним робочим органом, її збирання для подальшого використання (або розкидання по полю), і послідує доочищення (дообрізання) головок коренеплодів.

Для переміщення та вивантаження ботвиння, що її було зрізано, доцільним є застосовувати нескладні за конструкцією пристрої та робочі органи, що являють собою шнековий транспортер, що обертається на горизонтальній осі, та співвісну з ним кидалку лопатевою.

2. За результатами теоретичного моделювання руху частинки ботвиння по робочих органах механізму вивантаження та за допомогою чисельного моделювання встановлено раціональні конструкційні та технологічні його параметри: для лопаті кидалки довжина має становити як мінімум 0,4 м – 0,5 м, а ширина лопаті має становити 0,18 м; кутова швидкість валу лопатевої кидалки має становити більш ніж  $56 \text{ с}^{-1}$ , що забезпечить необхідну лінійну швидкість руху частинок ботвиння у напрямному хоботі завантажувального механізму, несуттєвим є вплив на час руху часток ботвиння вздовж поверхні лопаті кидалки кута відгину площини робочої поверхні лопаті до радіусу самої ж лопаті, а за умови збільшення зазначеного кута відбувається збільшення часу руху часток ботвиння. Враховуючі це та приймаючи до уваги технологічні умови щодо виготовлення кидалки, значення цього кута має становити менше ніж  $5^\circ$ .

3. Доцільно застосовувати кидалку з лопатями, що мають у своїй основі скошену частину на довжині, що не менша за радіус гвинтового конвеєра. Згідно конструкцій кожуха кидалки та хобота (вивантажувальної труби), доцільно використовувати кидалку з лопатями, кінці яких відігнуті. Цей кут забезпечує напрямлення ботвиння у хобот (вивантажувальну трубу), становить  $30 \dots 38^\circ$ .

4. Застосування машини трирядної для збирання ботвиння з робочими органами вдосконаленої конструкції надає можливість досягти розрахунковий річний економічний ефект до 41 тис. грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Присяжний В. Г., Березовий М. Г. Коливальний рух гичкозбиральної машини по нерівностях поверхні ґрунту. Вібрації в техніці та технологіях, №4 (68), 2012: С. 5-11.
2. Андреев Ю. М., Бойко А. В., Литвинов О. І., Березовий М. Г. Динамічний розрахунок машин. Вісник СевНТУ. Механіка, енергетика, екологія. Вип. 110, 2010. С. 61-69.
3. Березовий М. Г., Борис А. М., Кравченко І. Є., Цуркан О. В., Пришляк В. М. Визначення втрат гички цукрового буряку при коливаннях гичкорізального апарату. Вібрації в техніці та технологіях, №4 (64), 2011. С. 111-116.
4. Березовий М. Г., Черниш О. М., Пришляк В. М. Математична модель руху частинки по завантажувальному механізму гичкозбиральної машини. Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка : Механізація с.-г. виробництва. Т.124. Вип. 1, 2012. С. 247-254.
5. Березовий М. Г., Черниш О. М. Аналітичне дослідження очищення головок коренеплодів від залишків гички. Наук. вісник Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту ім. Дмитра Моторного. Зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 1. Т. 3., 2011. С. 234-241.
6. Булгаков В. М., Березовий М. Г. Експериментальні дослідження удосконаленої конструкції робочих органів для транспортування і завантаження гички. Науковий вісник НАУ. Київ, 2000. Вип. 33. С. 283-296.
7. Булгаков В. М., Березовий М. Г., Сипливець О. О. Сучасні тенденції розвитку технологій зрізування гички цукрового буряка. Механізація сільськогосподарського виробництва : Зб. наук. праць НАУ. Т. 2. Київ: Нац. аграр. ун-т, 1997. С. 3-25.
8. Булгаков В. М., Войтюк Д. Г., Березовий М. Г., Сипливець О. О. Універсальна косарка-подрібнювач для фермерських господарств. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві. Глеваха, 1997. С. 14-16.
9. Булгаков В. М., Головач І. В., Березовий М. Г., Борис А. М. Аналітичне

визначення втраченої гички при коливаннях гичкорізального апарата. Наук. вісник Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту ім. Дмитра Моторного. Мелітополь. ТДАТУ. Вип. 1. Т.3., 2011. С. 242-250.

10. Василенко А.А. Бурякозбиральні машини. Теорія, конструкція і розрахунок. Харків-Київ: ДНТВУ, 1937. 339 с.

11. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. Київ: Сільгоспсвіта, 1996. 252 с.

12. Василенко П. М. Теорія руху частинки по шорстких поверхнях сільськогосподарських машин. Київ: УАСГН, 1960. 283 с. (рос.).

13. Вовк П. Ф. Агрфізичні властивості коренів цукрових буряків у зв'язку з механізацією збирання. В зб. Теорія, конструкція та виробництво сільськогосподарських машин Т.2. Л.: Сельхозгиз, 1936. С. 269-284. (рос.).

14. Волоха М. П. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань. Київ: ЦУЛ, 2015. 220 с.

15. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Синій С. В. та ін. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки. Луцьк, ЛДТУ, 1999. 170 с.

16. Глуховский В.С. Комплексная механизация производства сахарной свеклы. Київ: Урожай, 1976. 220 с.

17. Головач І.В., Березовий М.Г., Прищляк В.М., Солтисюк В.І., Андреев Ю.М. Математична модель агрегування причіпних бурякозбиральних машин. Праці Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту ім. Дмитра Моторного. Т.12. №1, 2012. С. 109-115.

18. Головач І.В., Березовий М.Г., Солтисюк В.І. Теоретичне дослідження гичкорізального апарата роторного типу. Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Луцький НТУ. Вип. 21. Т.І., 2011. С. 64-751.

19. Денисенко І.І. Дослідження фізико-механічних властивостей цукрових буряків та механізованих операцій її збирання : Автореф. дис... канд. техн. наук Київ, 1965. 28 с. (рос.).

20. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.І. Ч.1. Харків: Око, 2001.

444 с.

21. Зуев Н. М. Методика досліджень якості роботи бурякозбиральних машин. Київ: ВНИС, 1989. 72 с. (рос.).

22. Ігнат'єва Т. Як і коли краще збирати цукрові буряки. Пропозиція №8-9, 2004.

23. Калетнік Г. М., Черниш О. М., Березовий М. Г. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства. Зб. наук. праць ВНАУ. Т1 (65). Вінниця, 2011. С.8-18.

24. Козіброда Я. І. Тенденції розвитку машин для збирання цукрових буряків. Тернопіль: Збруч, 1996. 92 с.

25. Литвинов О.І., Березовий М.Г., Андрєєв Ю.М. Аналітичне дослідження стійкості руху складних механічних систем. Наук. вісник Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту ім. Дмитра Моторного. Зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ. Вип.1. Т.3., 2011. С. 197-214.

26. Литвинов О. І., Михайлович Я. М., Бойко А. В., Березовий М. Г. Теоретична механіка Ч.І. Статика. Кінематика. Київ: Агроосвіта, 2013. 576 с.

27. Литвинов О. І., Михайлович Я. М., Бойко А. В., Березовий М. Г. Теоретична механіка Ч.ІІ. Динаміка. Основи аналітичної механіки. Київ: Агроосвіта, 2013. 576 с.

28. Мотрин М. Вимоги безпеки під час збирання цукрових буряків. URL: <https://nubip.edu.ua/node/100138> (дата звернення: 24.10.2023).

29. Основи теорії та розрахунку сільськогосподарських машин на міцність та надійність / Під ред. П. М. Волкова та М. М. Тененбаума. – М.: Машиностроение, 1977. 310 с. (рос.).

30. Погорельий Л. В., Тат'янюк Н. В. Бурякозбиральні машини: історія, конструкція, теорія, прогноз. Київ: Фенікс, 2004. 232 с. (рос.).

31. Погорельий Л. В. Інженерні методи випробувань сільськогосподарських машин. Київ: Техніка, 1991. 157 с. (рос.).

32. Полищук А.В. Влияние различных технологий заготовки силоса из ботвы сахарной свеклы, выращиваемой индустриально, на его качество и продуктивность коров: Автореф. дисс....канд. с.-х. наук. Дубровицы, ВИЖ,



1988. 18 с.

33. Примак І. Д., Гудзь В. П. Операційні технології вирощування кормових культур. Київ: Урожай, 1995. 286 с.

34. Бурякозбиральні машини: (конструювання та розрахунок) / Л. В. Погорелый, Н. В. Татянюк, В. В. Брей и др.; Під заг. ред. Л.В. Погорелого. Київ: Техніка, 1983. 168 с. (рос.).

35. Сивий С. В. Розробка і дослідження технологічного процесу збирання гички цукрових буряків механізмом стрічкового типу. Дисс... канд. техн. наук. Луцьк, 1996. 184 с.

36. Справочник по нормированному кормлению с.х. животных / Сост. и ред. Г. Ф. Степурин. – Кишинев: Картя Молдовененяскэ, 1986. 416 с.

37. Татянюк Н. В., Погорелый Л. В., Цымбал А. Г. Роздільне збирання цукрових буряків. Сахарная свекла. №1, 1972. С. 24-28. (рос.).

38. Топоровский С.А. Обоснование технологического процесса и основных параметров рабочего органа для уборки ботвы сахарной свеклы без копирования головок корнеплодов. Дисс... канд. техн. наук. Київ, 1988. 202 с.

39. Фізико-механічні властивості рослин, ґрунтів та добрив: методи дослідження, прилади, характеристики. М.: Колос, 1970. 417 с. (рос.).

40. Хелемендик М. М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. Київ: Аграрна наука, 2001. 279 с.

41. Черниш О. М., Березовий М. Г., Яременко В. В. Теорія механізмів і машин. Київ: ЦУЛ, 2018. 464 с.

42. Березовий М. Г. Обґрунтування технологічних і конструктивних параметрів робочих органів машини для збирання гички цукрового буряку. Дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва”. Київ: НАУ, 2007.

43. Bulgakov V.M., Holovach I.V., Beryozovy N.G. General-Purpose Set of Beet Harvesters for Farm Enterprises – KPF-1.5; KKP-3A. Scientists of Technical Institute in National Agrarian University to Production Operations. Agrarian engineering in globalisation environment. collection of finished research projects.

NAU: Kiev, Ukraine, 2008. P. 60-61.

44. Kromer K.-H., Schulze P. Entwicklung der Mechanisierung von 1950 bis 2000 // Zuckerrübe. 2001, №4. P. 254-259.

45. Merkes R. 50 Jahre Produktionstechnik im Zuckerrübenbau in Deutschland. Zuckerrübe. № 4, 2001. P. 214-217.

46. Bulgakov V., Berezovyy M., Sypliyvletz O., Wasilewski J. Analytical Research of The Movement of a Hinged Machine Unit. MOTROL. Vol. II. Lublin, Poland, 2002. P. 24-30.

47. Bulgakov V., Holovach I., Berezovyy M., Eremenko O. Development and Research of the New Harrow Gatherer. MOTROL – Motorization and Power Industry in Agriculture (Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa). Poland, Lublin, 2006. Vol. 8A. P. 80-97.

48. Цукровий буряк 2022. Посівні площі. Переробні потужності. Залишки й експорт. URL: <https://latifundist.com/spetsproekt/964-tsukrovij-buryak-2022-posivni-ploshchi-pererobni-potuzhnosti-zalishki-j-eksport> (дата звернення: 16.10.2023).