



**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин  
Освітній ступінь: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

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

\_\_\_\_\_ Лобаченко Олександр Миколайович \_\_\_\_\_

*(прізвище, ім'я, по батькові)*

керівник роботи \_\_\_\_\_ Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 12.11.2021 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Стан питання і завдання досліджень. Обґрунтування процесу та конструкційно-технологічних параметрів робочого органу для відокремлення гички. Програма та методика проведення експериментальних досліджень. Результати експериментальних досліджень. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Економічна ефективність впровадження

технологічного процесу відокремлення гички. Висновки. Бібліографічний список.

### **5. Перелік демонстраційного матеріалу**

1. Мета і задачі досліджень. 2. Класифікація процесу відокремлення гички. 3, технологічні схеми відокремлення гички. 4. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів робочого органу. 5. Теоретична модель копіювання різновисоких головок коренеплодів. 6. Дослідження процесу копіювання робочим органом різновисоких головок коренеплодів. 7. Програма експериментальних досліджень. 8. Обладнання експериментальних досліджень. 9. Результати польових експериментальних досліджень. 10. Результати випробувань копірно-роторного відокремлювача гички. 11. Загальні висновки.

### **6. Консультанти розділів роботи**

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

7. Дата видачі завдання: 20.09.2021 р.

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

п/п	Назва етапів дипломного Проекту	Строк виконання етапів роботи	<i>При мітка</i>
	Аналітичний (оглядовий)	до 30.08.2021 р.	
	Теоретичний	до 10.11.2021 р.	
	Експериментальний	до 29.11.2021 р.	
	Охорона праці	до 15.12.2021 р.	
	Економічний	до 22.11.2021 р.	
	Демонстраційна частина	до 29.11.2021 р.	

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Лобаченко О.М.

(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Пономаренко Н.О.

(прізвище та ініціали)



## Анотація

Обґрунтування технологічного процесу та параметрів робочих органів для зрізання гички.

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 50 найменувань. Основна частина роботи викладена на 102 сторінках машинописного тексту, містить 47 рисунків і 8 таблиць.

Магістерська робота присвячена підвищенню продуктивності та покращенню показників якості роботи машин для відокремлення гички шляхом удосконалення технологічного процесу та розробки і обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів копірно-роторного відокремлювача гички.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано та рекомендовано раціональні конструктивно-технологічні параметри і режими роботи копірно-роторного відокремлювача гички, що дозволило підвищити швидкість поступального руху машин для відокремлення гички, зменшити втрати цукроносної маси і залишки гички на головках коренеплодів. У результаті проведених виробничих випробувань та економічних розрахунків доведена ефективність застосування удосконаленого технологічного процесу.

Ключові слова: коренеплод, головка коренеплоду, гичка, процес комбінованого відокремлення гички, копірно-роторний відокремлювач, математична модель, параметри, режими роботи.

## Зміст

Вступ.....	7
1. Стан питання і завдання досліджень.....	8
1.1. Аналіз сучасних технологій видалення гички і підготовки коренеплодів цукрових буряків до збирання.....	8
1.2. Обґрунтування вибору технологічного процесу і конструкції нового робочого органу для відокремлення гички.....	20
1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу відокремлення гички.....	20
1.2.2. Обґрунтування вибору конструкції гичковиделяючого механізму.....	23
1.3. Мета і завдання дослідження.....	26
1.4. Висновки до розділу.....	27
2. Обґрунтування процесу та конструкційно-технологічних параметрів робочого органу для відокремлення гички.....	28
2.1. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів копінно-роторного відокремлювача гички.....	28
2.1.1. Загальне обґрунтування технологічної схеми та конструкційних параметрів робочого органу.....	28
2.1.2. Теоретичне дослідження процесу копіювання різновисоких головок коренеплодів копінно-роторним відокремлювачем гички.....	37
2.2. Висновки до розділу.....	53
3. Програма та методика проведення експериментальних досліджень.....	54
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	54
3.2. Методика та обладнання лабораторних досліджень.....	54
3.2.1. Конструкція лабораторної установки та методика моделювання вхідних параметрів експериментальних досліджень.....	55
3.2.2. Методика лабораторних досліджень.....	59
3.3. Методика та обладнання польових досліджень.....	62
3.3.1. Обґрунтування конструкції польової установки.....	62

3.3.2. Вибір факторів та плану польового експерименту.....	63
3.3.3. Методика проведення польових експериментальних досліджень.....	66
3.4. Висновки до розділу.....	69
4. Результати експериментальних досліджень.....	70
4.1. Лабораторні експериментальні дослідження.....	70
4.2. Польові експериментальні дослідження.....	81
4.2.1. Умови проведення досліджень.....	81
4.2.2. Результати польових досліджень.....	82
4.3. Висновки до розділу.....	88
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	89
5.1. Організація охорони праці в господарстві ПП «Ларіни».....	89
5.2. Аналіз виробничого травматизму.....	92
5.3. Заходи з поліпшення вимог охорони праці на ПП «Ларіни».....	93
6. Економічна ефективність впровадження технологічного процесу відокремлення гички.....	95
Загальні висновки.....	101
Список використаної літератури.....	103
Додатки.....	106

## Вступ

Завданням збирання цукрових буряків є отримання з одиниці площі максимуму цукроносної маси з її технологічно та економічно обґрунтованими втратами і допустимим вмістом у воросі коренеплодів шкідливих фізичних забруднювачів - гички та ґрунту.

На втрати цукроносної маси значно впливає процес відокремлення гички. Найменше втрачається цукроносна маса під час копінного зрізу гички. Але в даному випадку швидкість поступального руху машин для відокремлення гички не перевищує 1,5 м/с, що не відповідає швидкості поступального руху коренезбиральних машин - 2...2,5 м/с.

Безкопінний зріз основної маси гички на рівні високо виступаючих коренеплодів зменшує перепад висот виступання головок коренеплодів та інтервал копінного зрізу. Після наступного копінного дообрізання головок коренеплодів пасивними ножами покращується їх копіювання, що дозволяє збільшити швидкість поступального руху машин для відокремлення гички до 2 м/с. Негативною стороною такого робочого процесу є збільшення втрат цукроносної маси та погіршення якості зрізу. Використання роторних гичкозрізувачів для безкопінного зрізу значно збільшує енергоємність процесу.

Таким чином, технологічний процес відокремлення гички зі зменшеним інтервалом копінного зрізу на даний час недостатньо обґрунтований. Сучасні машини для відокремлення гички не досягнули рівня якісного виконання процесу на швидкостях поступального руху співрозмірних із швидкостями коренезбиральних машин. Тому, зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності робочих органів для відокремлення гички є актуальним науково-технічним завданням.



## 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Аналіз сучасних технологій видалення гички і підготовки коренеплодів цукрових буряків до збирання

Аналіз чисельних конструкцій робочих органів для видалення гички розглянуто досить детально в роботах Л.В. Погорілого, В.М. Булгакова, М.В. Татянюк, Р.Б. Гевко, В.Я. Мартиненка, М.М. Хелемендика, Я.І. Козіброди, С.В. Синього, М.Г. Березового та ін., але створення ефективних робочих органів, які б характеризувались невеликою енергомісткістю, високою продуктивністю та простотою конструкції, залишається актуальним виробничим та науковим завданням.

Найбільш повно наведено огляд конструкцій і технологічних схем та робочих органів для видалення гички в роботі [35]. Розглянуто історію створення та розвитку конструкцій, проаналізовано показники якості виконання технологічного процесу основними робочими органами, але відсутні показники енергоємності.

У роботі [5] проведено класифікацію робочих органів для відокремлення гички. У роботах [37, 39] наведено аналіз різних технологічних схем відокремлення гички, результати порівняльних випробувань машин західноєвропейських фірм Holmer, Ropa, Kleine, Matrot, Grimme, TIM-Thyregood. Слід відмітити, що оцінка показників якості процесу відокремлення гички за європейським стандартом носить характер візуальної оцінки, тому неможливо оцінити масовий вміст гички у воросі коренеплодів після різних машин. Потужність приводу наводиться тільки для окремих машин. Останнім часом з'явилися нові технічні рішення є зміни в технологічних схемах. Тому аналіз сучасних технологій і технічних засобів дозволить визначити перспективні конструкції та напрямки їх удосконалення.

Прослідкуємо основні тенденції розвитку робочих органів для видалення гички на прикладі сучасних бурякозбиральних комбайнів та

гичковідокремлювальних модулів ведучих вітчизняних та закордонних виробників. Внаслідок аналізу встановлено, що на сучасному етапі при видаленні гички можуть проводитись наступні операції [35, 37, 39]: зріз основної маси гички на коренеплоді, що росте; видалення основної маси гички ударними взаємодіями (дефоліація); дообрізання головок коренеплодів з рештками гички, що залишились після зрізу основної маси гички; очищення головок коренеплодів від залишків гички; подрібнення гички та розподілення її в рядках або міжряддях; часткове доподрібнення рослинних решток у міжряддях; видалення гички із зони рядків транспортування гички у транспортний засіб або на зібране поле.

Для проведення аналізу різних технологічних схем сучасних машин і визначення сучасних тенденцій розвитку конструкцій класифікуємо технологічний процес підготовки коренеплодів до викопування за вищенаведеними операціями (рис. 1.1).

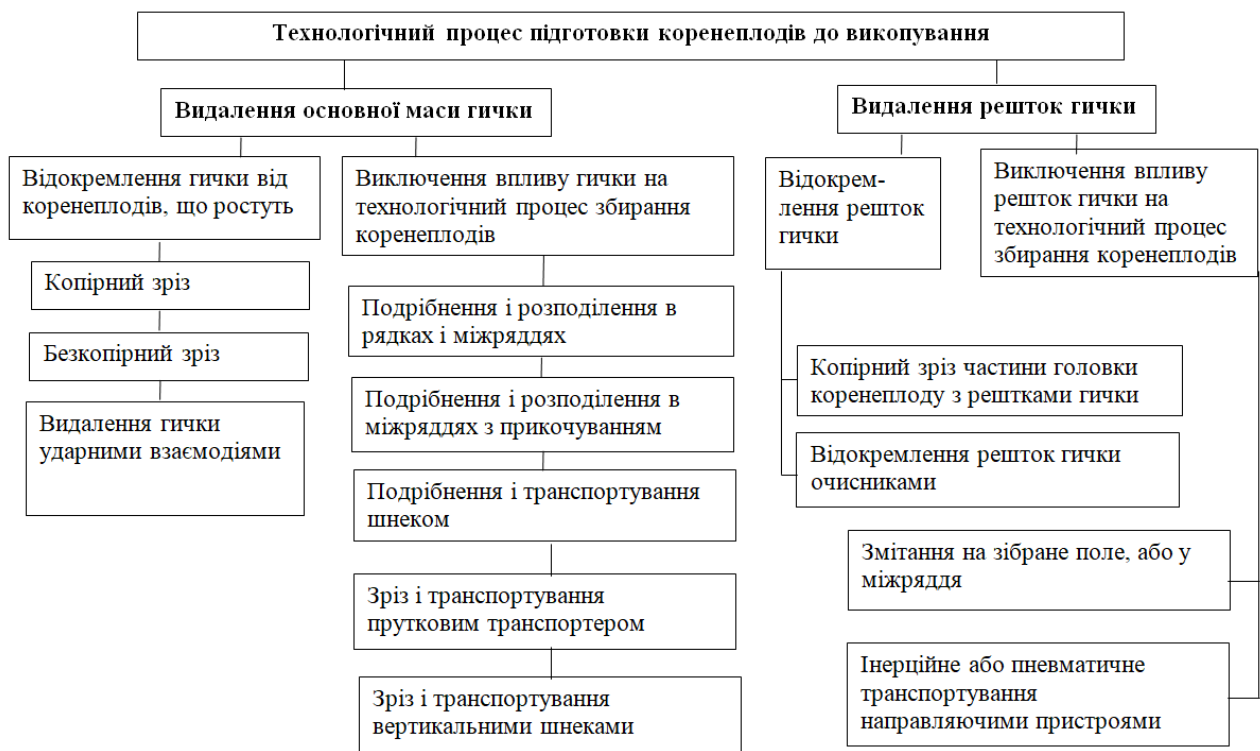


Рис. 1.1. Класифікація технологічного процесу підготовки коренеплодів до викопування.

На основі даної класифікації проаналізуємо застосування операцій

видалення гички у технологічних схемах машин провідних фірм світу. Також відобразимо конструкції робочих органів, за допомогою яких реалізуються дані операції. Зріз основної маси гички може здійснюватись з копіюванням головок коренеплодів або без їх копіювання на фіксованій висоті відносно поверхні ґрунту. Видалення гички ударними взаємодіями проводять за допомогою роторів-дефоліаторів 1 (рис. 1.4) з гнучкими елементами. При цьому переважно використовуються наступні механізми: ротори з нахилоною під кутом до горизонту (рис. 1.2), горизонтальною (рис. 1.3), або вертикальною (рис 1.5) осями обертання.

На прикладі комбайна Garford Victor (рис. 1.3) можна розглянути реалізацію даної технологічної схеми за допомогою принципово інших робочих органів.

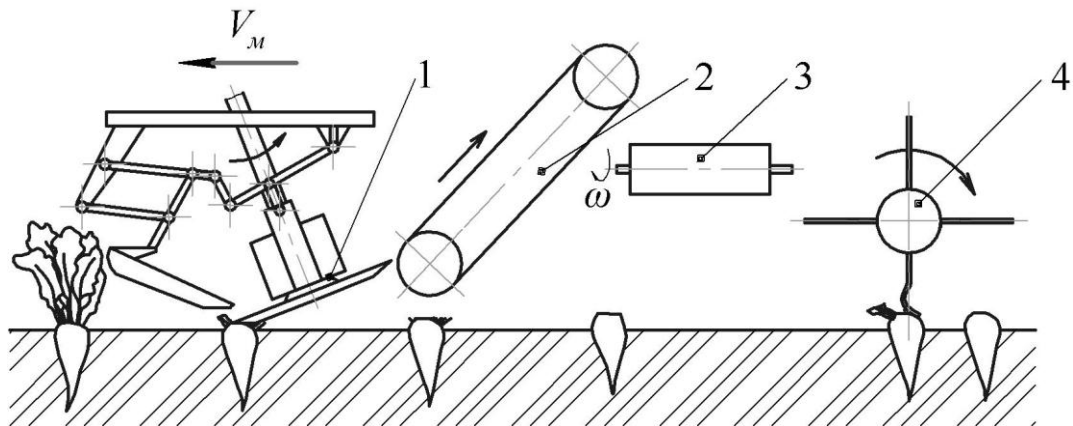


Рис. 1.2. Характерна технологічна схема видалення гички машиною БМ-6А.

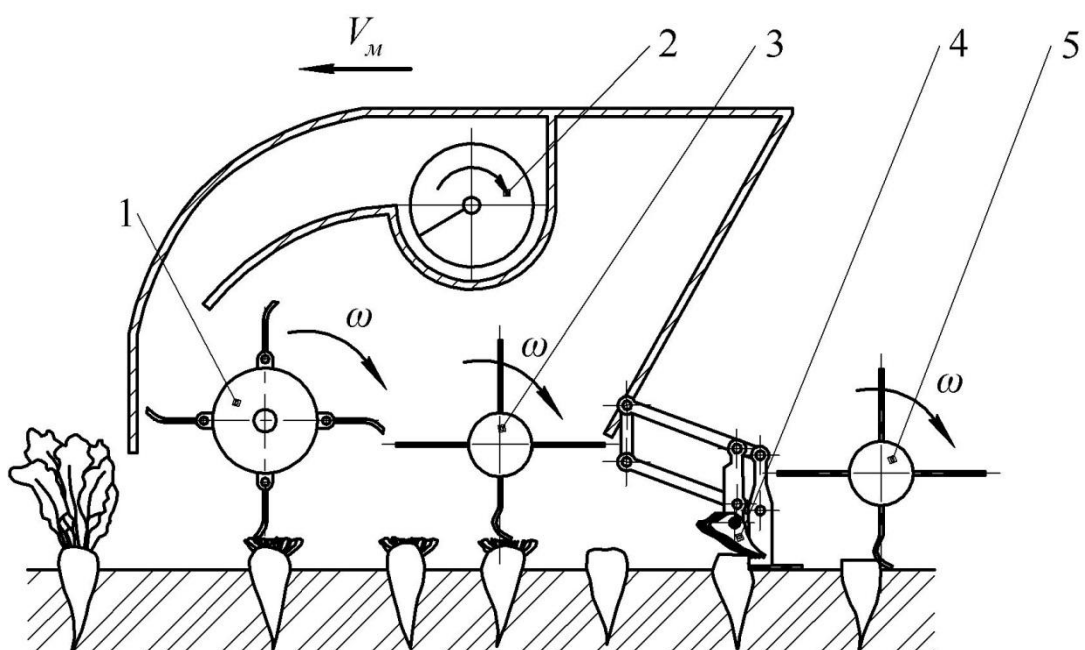


Рис. 1.3. Модуль для видалення гички фірми Kleine.

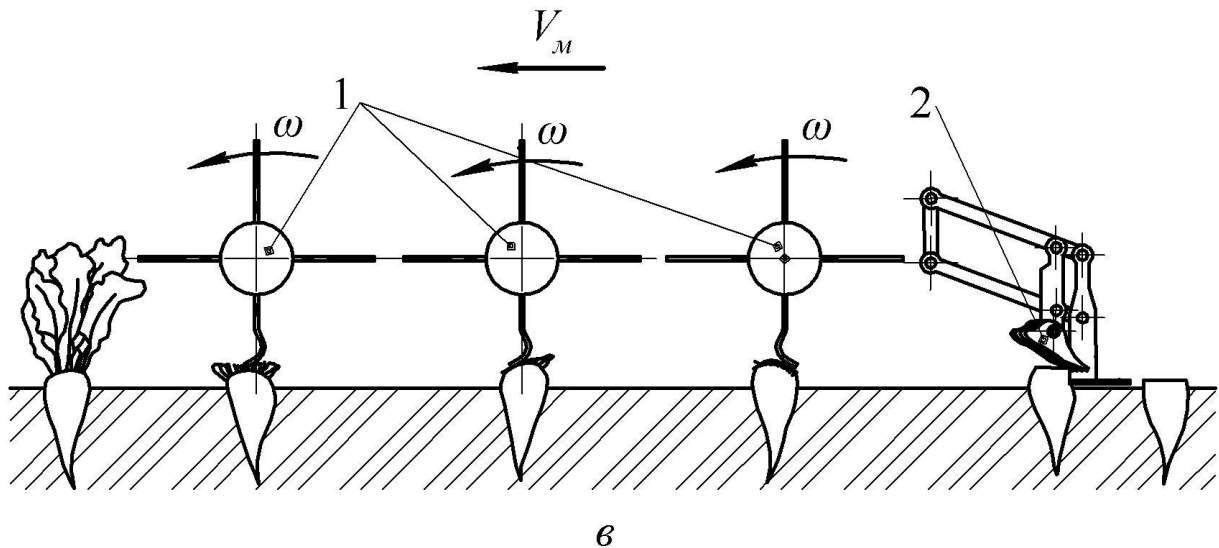


Рис. 1.4. Технологічна схема машини для видалення гички машиною WIC фірми Amity Technologi.

Зріз гички також відбувається шляхом безкопінного зрізу активними ножами з вертикально-шнековими транспортуючими робочими органами, а очищення решток гички на головках коренеплодів проводиться очисниками активного типу з жорсткою гіперболічною поверхнею.

Розподілення гички в міжряддях проходить одночасно з процесами зрізання та подрібнення шляхом застосування направляючих поверхонь у кожусі різального ротора. Також відома практика вдавлювання рослинних решток у ґрунт в міжряддях (рис. 1.6).

Для транспортування гички переважно застосовуються шнеки 2 (рис 1.3), пруткові транспортери 2, 3 (рис. 1.2) або набір вертикальних турбін 1 (рис. 1.5).

Видалення рослинних решток із зони міжрядь проводиться з використанням вентиляторного ефекту в роторних гичкорізах з горизонтальною віссю обертання (рис. 1.6).

Очищення головок коренеплодів від решток гички здійснюється роторами з гнучкими робочими органами очисниками (рис. 1.8). Найбільш поширені з них лопатеві очисники. Видалення залишків гички із зони рядків виконуються шляхом змітання на зібране поле або застосуванням інерційно-вентиляторного ефекту.

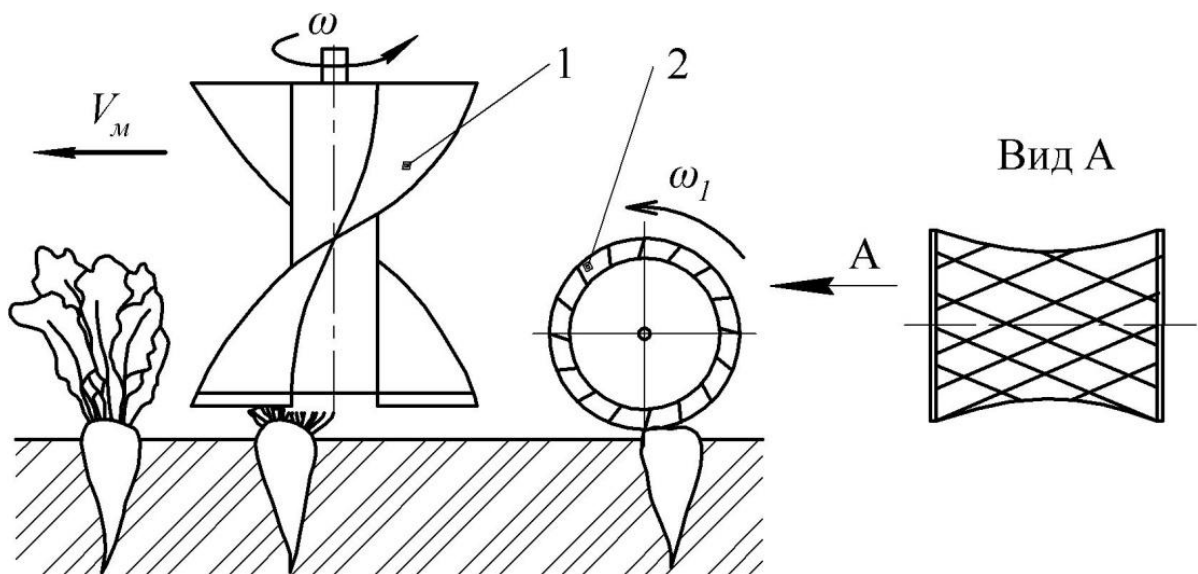


Рис. 1.5. Технологічна схема видалення гички комбайна Garford Victor.

Чітко прослідковується тенденція застосування у переважній більшості машин ведучих світових фірм Holmer, Rora, Kleine та Moreau та ін. безкопінного зрізу гички ротором з горизонтальною віссю обертання та копінного дообрізання головок коренеплодів пасивними дообрізувачами (рис. 1.3; рис. 1.6).

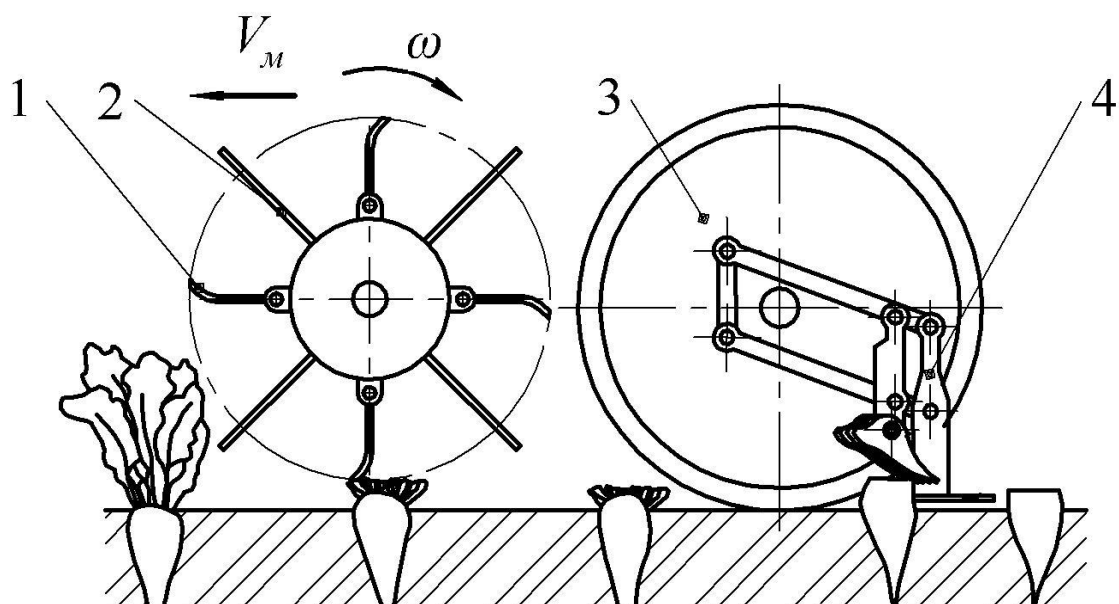


Рис. 1.6. Технологічна схема видалення гички фірми Grimme:

1 - робочі органи для відокремлення гички; 3 - котки для вдавлювання подрібненої гички в ґрунт.

В окремих комбайнах застосовується дещо змінена технологічна схема видалення гички. Замість дугоподібних ножів на роторному гичкорізі застосовуються ножі різних форм, що дозволяють подрібнювати гичку та залишати її в рядках і міжряддях, при цьому гичка подрібнюється до такого ступеня, що вже не впливає на роботу викопувальних робочих органів коренезбиральних машин.

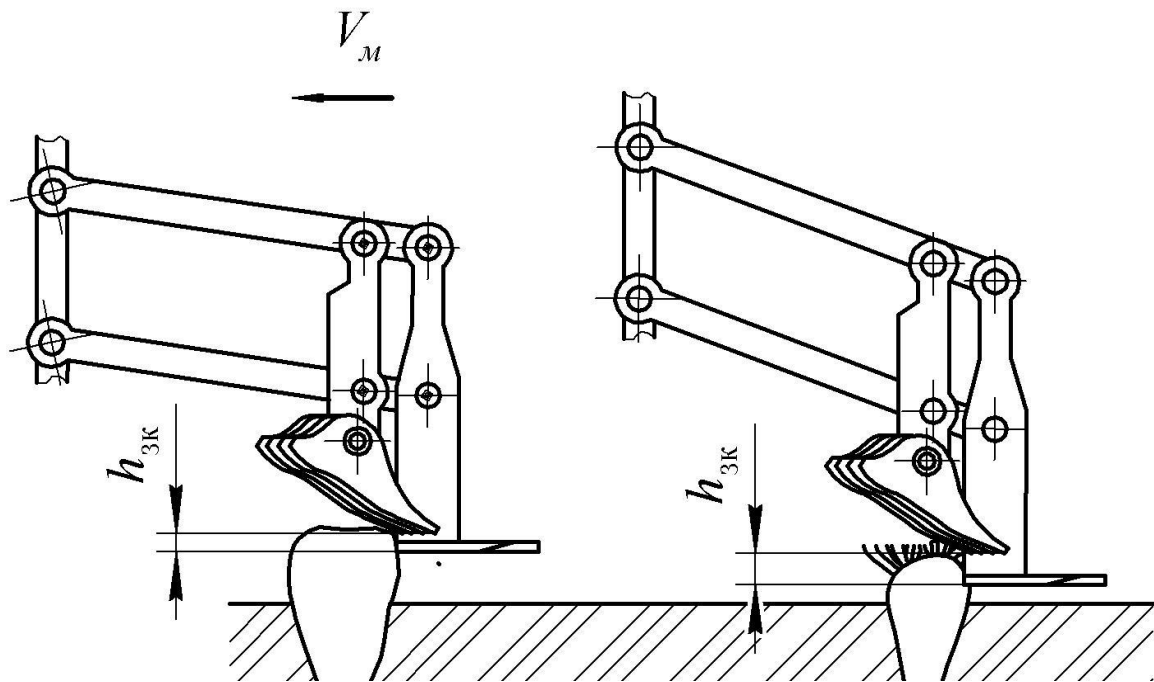


Рис. 1.7. Дообрізувач головок коренеплодів від решток гички пасивного типу зі зворотною вертикальною поправкою фірми Holmer.

Оригінальне технічне рішення для відокремлення гички використала фірма Grimme в своєму комбайні Maxtron 620. У ньому гичка зрізується лише над рядками, секційно розташованими дугоподібними ножами (рис. 1.6). На валу роторного гичкоріза в зоні міжрядь розміщені поліуретанові біла, що на 30 мм довші за ножі. Завдяки всмоктувальному ефекту, що створюють довші біла, рослинні рештки підбираються із зони рядків і подаються в зону ножів на доподрібнення. Подрібнена гичка за допомогою направляючих щитків, що розташовані на кожусі, розподіляється в міжряддях і вдавлюється в ґрунт стальними котками.

Фірма Grimme також випускає причіпні коренезбиральні машини Rootster 604. Вони працюють в комплексі з гичкозбиральною машиною BM 330/300. Технологічний процес відокремлення гички в даній машині проходить у три стадії (рис. 1.8).

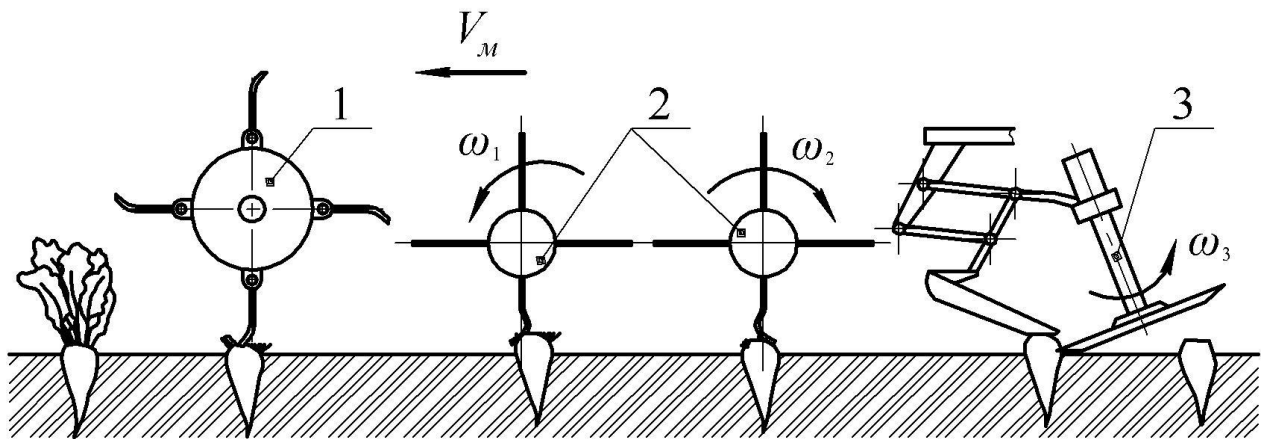


Рис. 1.8. Технологічна схема гичковідокремлювальної машини фірми Grimme BM 330.

Спочатку гичка зрізується роторним гичкорізом з металевими дугоподібними ножами. Ножі розміщені на валу ротора по гвинтовій лінії. Наступною операцією є очищення головок коренеплодів від решток не зрізаної гички двома валами, що обертаються в протилежних напрямках.

На валах шарнірно закріплені поліуретанові била. Після очищення коренеплоди додатково дообрізаються. Гичкорізальний апарат, що тут застосовується для дообрізання головок коренеплодів, складається з гребінчастого копіра та активного дискового ножа.

Гичкозбиральна машина WIC фірми Amity Technologi [16] має оригінальну конструкцію робочих органів. Замість традиційного роторного зрізувача гички в ній застосовано тривальний оббивач-подрібнювач гички (дефоліатор). Робочі органи (била) виготовлено з гуми високої механічної міцності.

Робоча частина бил містить металеві вставки, що збільшує силу удару бил під час їх входження в контакт з гичкою. За рахунок високої інтенсивності

дії бил гичка подрібнюється на частки малих розмірів і розпорошується в міжряддях, не чинячи негативного впливу на роботу коренезбиральної машини. Остаточне завершення процесу зрізування гички з коренеплодів здійснюється пасивними ножами-дообрізувачами, які рухаються над кожним з рядків і мають індивідуальну систему копіювання висоти головок коренеплодів.

З наведеного аналізу, можна зробити висновок, що основна маса гички видаляється: безкопінним зрізом гички з копінним дообрізанням головок коренеплодів (рис. 1.9); копінним зрізом гички з очищенням головок коренеплодів від решток гички (рис. 1.10); ударною взаємодією (рис. 1.11). Технологічна схема (рис. 1.9) характеризується складністю конструкцій, що застосовуються, металомісткістю та високими енерговитратами через застосування роторів з горизонтальним і вертикальним розташуванням осі обертання. Унаслідок застосування безкопінного зрізу якість видалення гички в даній технологічній схемі недостатня та можливі відходи цукроносної маси у гичку, що перевищують агротехнічні вимоги. Поступальна швидкість руху в даній схемі не перевищує 1,8 м/с, оскільки робочі органи для пасивного дообрізання головок коренеплодів при підвищенні швидкості вибивають коренеплоди та утворюють сколи зрізаної поверхні. Також слід відмітити, що нерівності ґрунту викликають коливання машини. У поєднанні з варіюванням висот виступання головок коренеплодів відносно ґрунту це суттєво погіршить якість зрізу.

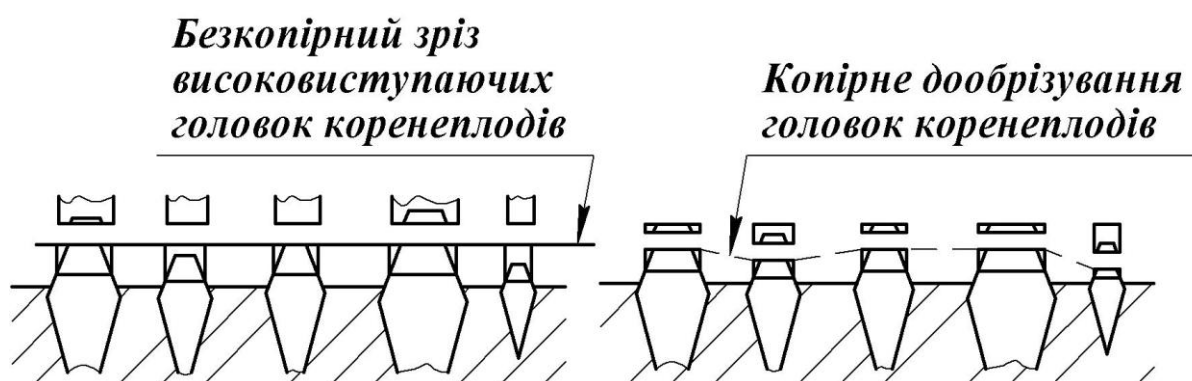


Рис. 1.9. Технологічна схема відокремлення гички безкопінним зрізом з копінним дообрізанням головок з рештками гички.



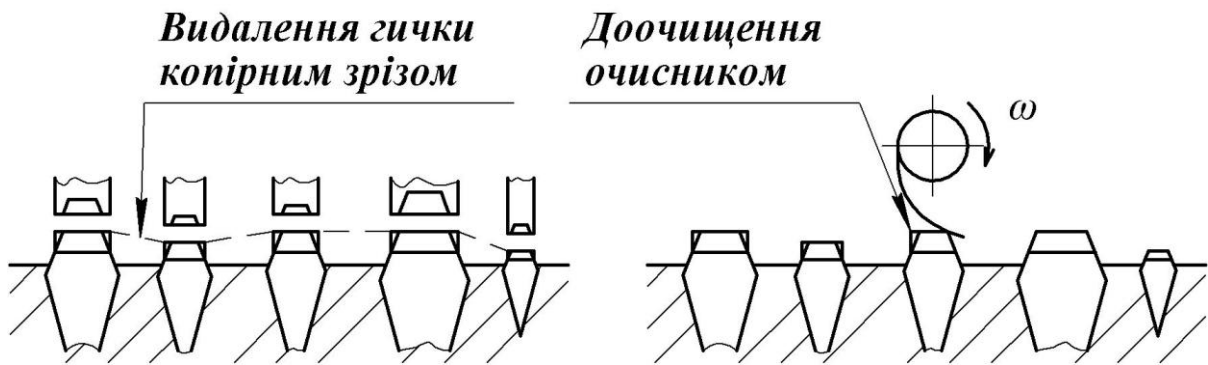


Рис. 1.10. Технологічна схема відокремлення гички копірним зрізом та доочищенням головок коренеплодів очисниками.

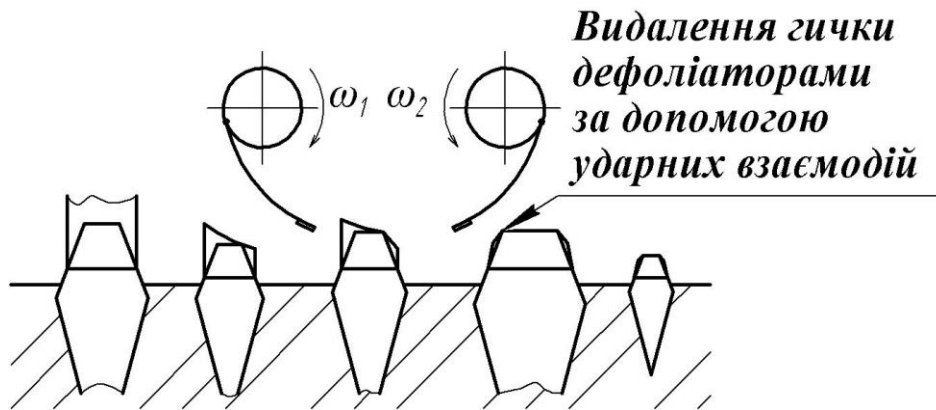


Рис. 1.11. Технологічна схема відокремлення гички дефоліацією з використанням ударних взаємодій.

Унаслідок збільшення товщини зрізу головки вміст залишків гички на коренеплодах знизиться, але підвищаться втрати цукроносної маси. За результатами незалежних випробувань [37] кількість коренеплодів з висотою гички більше 2 см становила в машин даної технологічної схеми в середньому 2%; високо зрізаних коренеплодів - 26,6%; низько зрізаних - 7,5%, а нормально зрізаних коренеплодів - 60,1%. Така статистика свідчить про наявність втрат цукроносної маси та значні залишки гички на коренеплодах. Ці результати наведені для середньої робочої швидкості руху машин 6 км/год., яка є невеликою швидкістю руху і вибір її зумовлений прагненням отримати якомога задовільнішу якість роботи пасивних дообрізувачів. Така технологічна схема дозволяє зменшити залишки гички на коренеплодах, але продуктивність процесу збирання коренеплодів залишається на невисокому рівні.

Завдяки застосуванню безкопінного зрізу ротором з вертикальною віссю обертання (рис. 1.5) в парі з очисником активного типу (комбайн Garford Victor) якість відокремлення гички покращується, але можливі пошкодження та вибивання коренеплодів з ґрунту. Враховуючи, що необхідна потужність приводу подібної машини МГШ - 6 становить 24,7 кВт, то на зрізання і транспортування гички затрачається значна кількість енергії.

Поєднання безкопінного зрізу з дообрізкою головок коренеплодів копірними різальними апаратами активного типу невеликої маси (машина Grimme VM 330) дає змогу більш якісно відокремлювати гичку на робочих швидкостях до 1,8 м/с, але при цьому необхідна потужність становить 75...90 кВт.

Технологічна схема (рис. 1.10) із застосуванням копінного зрізу та доочищення головок коренеплодів очисником (БМ-6Б) також характеризується складністю конструкції та металомісткістю через необхідність застосування копіювального пристрою в парі з різальним робочим органом. Якість видалення гички в такій технологічній схемі значно краща, проте поступальна швидкість руху машини при цьому не висока - до 1,5 м/с. Це зумовлено тим, що на підвищених швидкостях в ланках копіювального механізму і в різучому робочому органі виникають інерційні зусилля і копіювання головок погіршується. Повна потужність, необхідна для забезпечення технологічного процесу, складає 44 кВт.

Видалення гички ударними взаємодіями відзначається (окремі моделі машин WIC) значними витратами енергії, внаслідок додаткового подрібнення гички, малоефективної дії робочих елементів і, як наслідок, виникнення необхідності застосування трьох валів із різними напрямками обертання (рис. 1.11). У цьому випадку гичка подрібнюється і розподіляється на незібраному полі. При підвищенні робочої швидкості вище 1,8 м/с якість видалення гички залишається невисокою, необхідна потужність приводу становить 75-90 кВт. Але слід відмітити краще копіювання головок коренеплодів очисними робочими органами.

Окремі дослідники [4, 36] намагалися створити ефективні робочі органи, які об'єднують в собі добре копіювання очисників і низьку енергомісткість та високу якість роботи гичкорізальних апаратів. На (рис. 1.12) представлені “жорсткі” очисники, які, як правило, використовуються для доочищення головок цукрових буряків. Очисник з робочими органами, наведеними на (рис. 1.12 *a*), розроблявся на Тернопільському комбайновому заводі як дообрізка головок коренеплодів після попереднього зрізу гички іншими робочими органами.

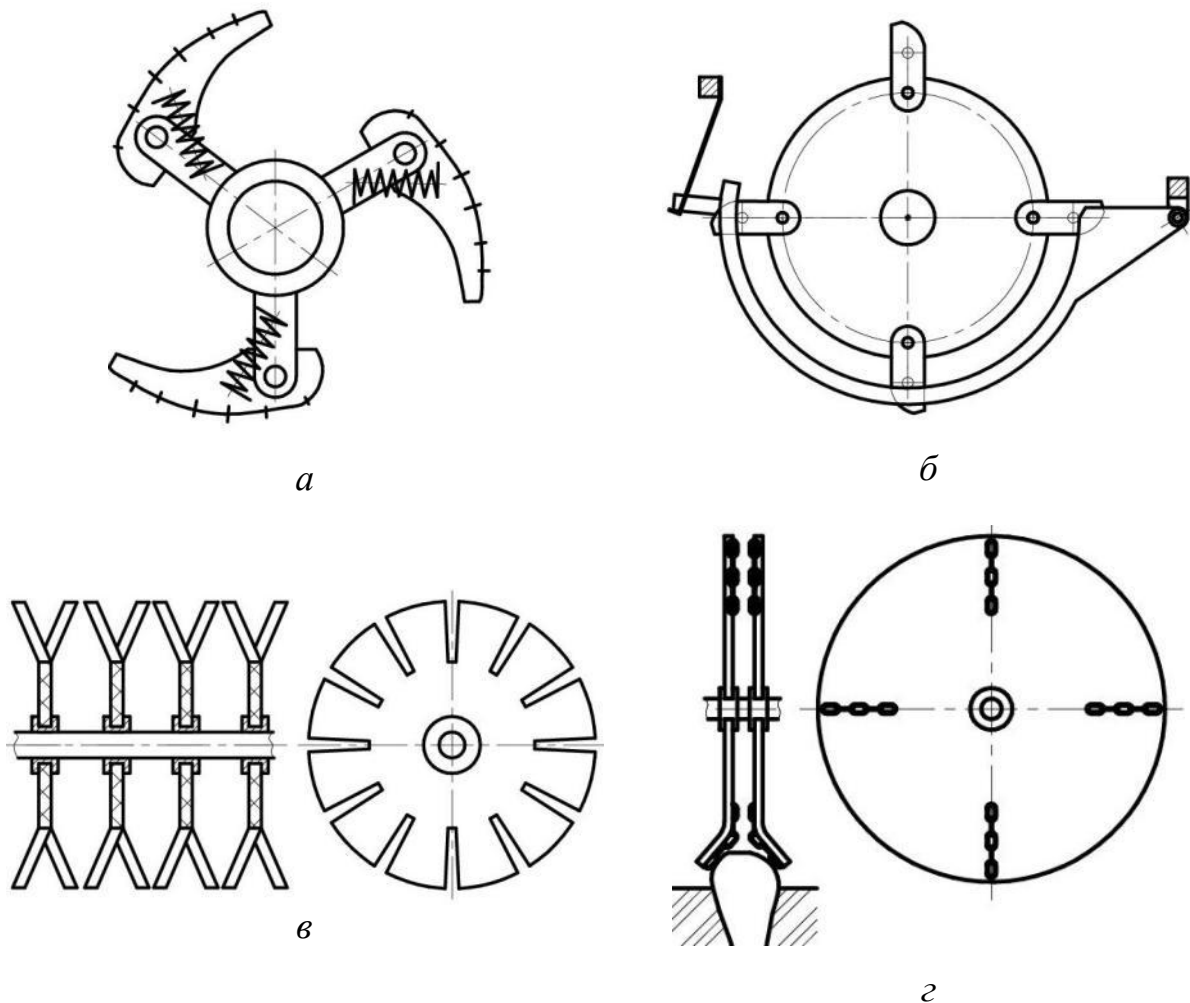


Рис. 1.12. Конструкції очисників головок коренеплодів жорсткої дії з горизонтальною віссю обертання: *a* і *б* - відцентрові; *в* - дисково-сегментний; *г* - дисковий.

Шарнірне закріплення жорсткої лопаті криволінійної форми (рис. 1.12 *б*) в обертовому русі дозволяє отримати ефект ковзання лопаті по головці

коренеплоду, відновлювати її вихідне положення під дією відцентрових сил. Крім цього, відцентрова сила притискає робочий елемент до головки коренеплоду. Недоліком такого робочого органу є зменшення його абсолютної швидкості в момент взаємодії з головкою коренеплоду.

При взаємодії гнучкого диска (рис. 1.12 з) з головкою проходить його деформація перпендикулярно до площини обертання. За допомогою пружних та відцентрових інерційних сил він притискається боковою поверхнею до головки. Швидкість ковзання завдяки боковій деформації диска досить висока, що сприяє більш інтенсивному очищенню. Аналізуючи роботу даних очисників, слід відмітити високу ступінь очищення коренеплодів від гички при підвищених швидкостях. Але використання таких робочих органів приводить до вибивання коренеплодів з ґрунту і подальших їх втрат. Доочищення сегментно-дисковим очисником (рис. 1.12 в) в основному відбувається за рахунок інтенсивної взаємодії торців сегментів з головками коренеплодів.

При цьому торці сегментів значно деформуються, проходить їх інтенсивне зношення і обривання країв. Використання таких робочих органів доцільне лише в зоні рядків, тому що інтенсивна взаємодія по всій ширині захвату може привести до непродуктивних затрат енергії. У переважній більшості бурякозбиральних машин провідних світових фірм Holmer, Rora, Kleine, Moreau та ін. чітко прослідковується тенденція застосування попереднього безкопірного зрізу гички ротором з горизонтальною віссю обертання та наступного копірного дообрізання головок коренеплодів пасивними дообрізувачами. При попередньому безкопірному зрізі високовиступаючих коренеплодів зменшується перепад висот виступання і відповідно діапазон копіювання головок коренеплодів.

Таким чином, на сучасному етапі загальними тенденціями розвитку технологічного процесу і робочих органів для видалення гички є:

- повернення окремих фірм (Grimme, Amity Technology) до копірного дообрізування головок коренеплодів активним ножом, як найбільш ефективного за енерговитратами та якістю, способу відокремлення гички;

- використання у конструкційно-технологічних схемах гичковидаляючих робочих органів способу зменшення діапазону копінного зрізу, що приводить до зменшення шкідливих інерційних зусиль у робочому органі та його динамічних навантажень на коренеплід і покращення точності копіювання головок коренеплодів;

- підвищення продуктивності та якості процесу відокремлення гички вирішується шляхом збільшення кількості операцій (Grimme, WIC), що є енерговитратним, матеріаломістким та високовартісним шляхом удосконалення технологічного процесу та робочих органів.

Отже, необхідно проводити лише технологічно необхідні операції з підготовки коренеплодів до збирання. Удосконалення технологічного процесу та пошук нових технічних рішень необхідно проводити у напрямку:

- обґрунтування технологічних параметрів комбінованого зрізу, що внаслідок зменшення інерційних навантажень підвищить робочу швидкість копінного зрізу;

- створення робочого органу, який поєднає в собі низьку енергомісткість різальних робочих органів і якісне копіювання головок коренеплодів очисними робочими органами.

## **1.2. Обґрунтування вибору технологічного процесу і конструкції нового робочого органу для відокремлення гички**

### **1.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу відокремлення гички.**

Робочі органи відомих ГЗА копінного типу розраховані на копіювання всього інтервалу розподілення висот виступання головок коренеплодів. Необхідність копіювання великого перепаду висот призводить до погіршення копіювання головок коренеплодів, збільшення динамічних навантажень з боку ГЗА на коренеплід, що приводить до вибивання коренеплоду або неякісного зрізу гички.

У бурякозбиральних машин ведучих світових фірм застосовується безкопірний зріз основної маси гички та наступне копірне дообрізання головок коренеплодів. Враховуючи конструкційно-технологічну особливість копірного дообрізувача, яка полягає в тому, що він не копіює ті головки коренеплодів, виступання яких над рівнем ґрунту є меншим за вертикальний зазор між копіром і ножем, а також ніж не може проходити нижче рівня ґрунту, то можна вважати, що в даному випадку проходить безкопірний зріз низьковиступаючих головок коренеплодів на рівні ґрунту. Таким чином при безкопірному зрізі високо- і низьковиступаючих коренеплодів зменшується перепад висот виступання і відповідно діапазон копіювання головок коренеплодів. Зменшення діапазону копірного зрізу приводить до покращення точності копіювання головок коренеплодів.

Допустимо, що висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту не заперечують нормального закону розподілу випадкової величини. Відомо, що в інтервалах  $[m; m + \sigma]$ ,  $[m + 2\sigma]$ ,  $[m + 3\sigma]$  знаходиться відповідно 34%, 14%, 2% коренеплодів [14]. Якщо 4% коренеплодів, з інтервалу  $[m - 2\sigma; m - 3\sigma]$  та  $[m + 2\sigma; m + 3\sigma]$ , зрізати безкопірним зрізом за допомогою більш простих пристроїв, то при цьому перепад висот виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту зменшиться. Зменшення діапазону копірного зрізу може привести до покращення показників якості відокремлення гички.

На даний час відсутнє наукове обґрунтування раціональних діапазонів безкопірного зрізу низько і високо виступаючих коренеплодів та копірного зрізу середньо виступаючих коренеплодів. Тому зменшення діапазону копірного зрізу шляхом обґрунтування раціональних параметрів комбінованого зрізу є актуальним виробничим і науковим завданням.

Для обґрунтування раціональних параметрів комбінованого зрізу необхідно вирішити наступні завдання:

- на основі методики [4] моделювання безкопірного зрізу необхідно охарактеризувати об'єкт дослідження (посів цукрових буряків) розробити алгоритм і програму копірного зрізу на фіксовану товщину;

- дослідити безкопірний і копірний зріз в різних інтервалах висот виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту і визначити можливість застосування комбінованого зрізу;

Моделювання впливу параметрів коренеплодів, характеристик посіву і технологічного параметра - висоти зрізу на процес безкопінного зрізу наведено в роботі [4]. При моделюванні прийнято наступні допущення:

- основні параметри головок коренеплодів та гички знаходяться у функціональній залежності від висоти їх виступання над рівнем ґрунту;

- висота виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту є випадкова величина і розподіляється за нормальним законом:

$$f(h) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1.1)$$

де  $m$  - математичне сподівання випадкової величини  $h$ ;

$\sigma$  - середньоквадратичне відхилення випадкової величини  $h$ ;

- поверхня ґрунту ідеально рівна;

- головки коренеплодів мають форму зрізаного конуса і максимальний діаметр коренеплодів розташований нижче рівня ґрунту (рис. 1.15);

- основні параметри коренеплоду знаходяться у наступних лінійних залежностях від висоти виступання головок коренеплодів:

$$h_{зл} = ah + b, \quad d_1 = ch + n, \quad (1.2)$$

де  $a, b, c, n$  - постійні величини;

- пучок гички біля головки коренеплоду має циліндричну форму;

- коренеплоди за розташуванням гички і головки відносно поверхні поля поділяються на три групи: вершина головки та гичка розташована над рівнем ґрунту; вершина головки розташована над рівнем ґрунту, а основа зелених листків гички нижче рівня ґрунту; вершина головки та основа зелених листків знаходяться нижче рівня ґрунту;

- інерційні коливання робочого органу відносно поверхні ґрунту відсутні;

- поверхня зрізу головки коренеплоду горизонтальна і рівна;

- рівень зрізу всіх головок коренеплодів паралельний поверхні ґрунту.

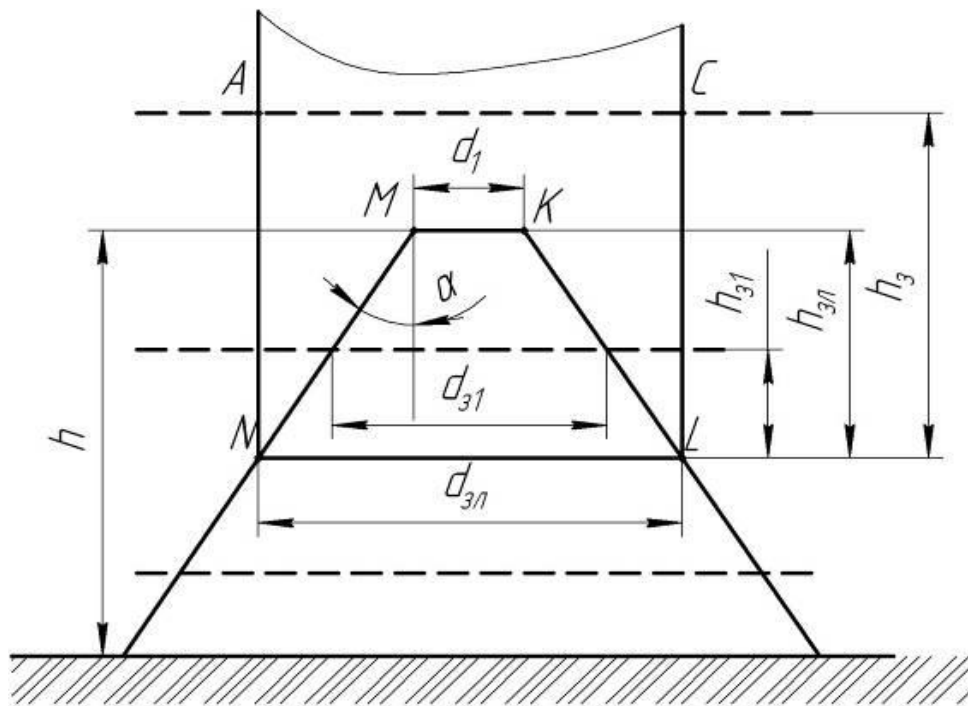


Рис. 1.13. Модель головки коренеплоду.

Основними параметрами коренеплодів, що використовуються при моделюванні є:  $h_{3л}$  - відстань від вершини головки до основи зелених листків;  $h_3$  - висота зрізаного циліндра гички;  $h_{3к}$  - висота зрізаної частини головки коренеплоду;  $h$  - висота виступання головки;  $d_1$  - діаметр вершини головки коренеплоду;  $d_{3л}$  - діаметр жмута гички;  $d_3$  - діаметр головки коренеплоду в площині зрізу;  $\alpha$  - половина кута конусності головки.

### 1.2.2. Обґрунтування вибору конструкції гичковидаляючого механізму.

Гичковідокремлювальні апарати копірного типу, які застосовуються в сучасних гичковідокремлювальних машинах мають розділені в часі операції копіювання головки коренеплоду та видалення основної маси чи решток гички. Також ці операції здійснюються різними робочими елементами, копіювальним та гичковидаляючим, між якими є необхідний кінематичний зв'язок. Тому гичковідокремлювальні апарати такої конструкції характеризуються невеликою продуктивністю через виникнення динамічних навантажень під час процесів копіювання головок коренеплодів на підвищених швидкостях. Даний недолік



приводить до вибивання коренеплодів з ґрунту і їх пошкодження. Задовільно такі гичковідокремлювальні апарати працюють лише з малою продуктивністю. В роботах [4] запропоновані гичковідокремлювальні апарати з поєднанням копірного елемента та гичковідокремлювального елемента. Такі гичковідокремлювальні апарати характеризуються: відсутністю складного кінематичного зв'язку між копірним та гичковидаляючим елементом; меншою масою гичковідокремлювального апарату; можливістю застосування відцентрової сили, а не сили ваги для керування копіювальним елементом і відповідно їм необхідно менше часу на відновлення вихідного положення після взаємодії з голівкою коренеплоду. Що дозволяє збільшити поступальну швидкість і продуктивність процесу відокремлення гички.

Можна окреслити два шляхи вдосконалення копірних гичковідокремлювальних апаратів. Перший це зменшення маси гичковидаляючих елементів, що є складно через потребу підведення індивідуального приводу до кожного елемента, наявність кінематичного зв'язку між копіювальним та гичковидаляючим елементами і необхідність забезпечення необхідної міцності конструкції самого гичковідокремлювального апарату. Тому доцільно піти по шляху поєднання копірного і гичковидаляючого елемента із застосуванням відцентрової сили, яка буде діяти на них, для забезпечення контакту комбінованого робочого елемента з коренеплодом та відновлення робочим елементом вихідного положення перед наступним копіюванням.

Обґрунтуємо встановлення осі обертання ротора по відношенню до умовної осі рядка. Вісь обертання ротора гичковідокремлювального апарату розташуємо паралельно умовній осьовій лінії рядка, щоби високі коренеплоди не створювали "тіньові зони" для наступних низьких і не погіршували копіювання їх головок.

При відхиленні шарнірно закріплених чи гнучких робочих елементів в площині обертання абсолютна швидкість контактної частини при взаємодії може знижуватись до нульового значення (для очисників це швидкість

ковзання, а для ріжучих елементів швидкість різання). Тому, нами пропонується застосувати для зрізу гички робочий орган з відхиленням робочих елементів від площини обертання (рис. 1.16), що буде складатись з набору шарнірно закріплених робочих елементів, які поєднують в собі копірну та ріжучу частину. В своїй сукупності дані елементи утворюють копірний конус, який може змінювати свій кут конусності при відхиленні робочих елементів головкою коренеплоду. В даному випадку абсолютна швидкість буде дорівнювати векторній сумі поступальної швидкості та лінійних швидкостей ріжучої частини в обертових рухах навколо осі обертання ротора і осі підвісу робочого елемента. Конструкційно-технологічні параметри ротора можна підібрати таким чином, що мінімальна швидкість ріжучої частини буде дорівнювати необхідній швидкості різання.

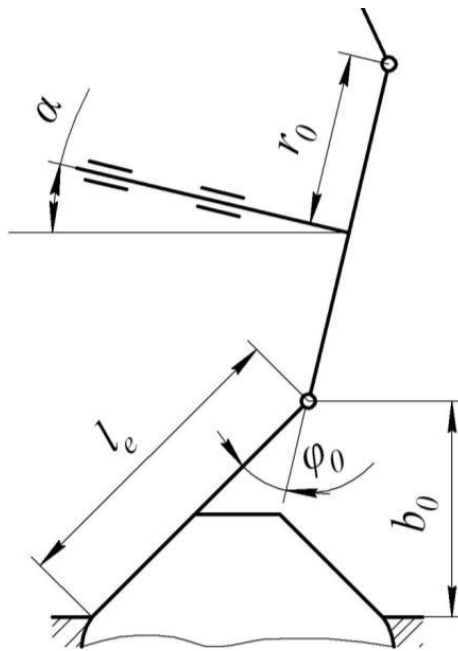


Рис. 1.14. Схема копірно-роторного робочого органу.

Основними конструкційно-технологічними параметрами робочого органу будуть (рис. 1.16): радіус осі підвісу робочих елементів  $r_0$ ; початковий кут відхилення робочого елемента від площини обертання  $\varphi_0$ ; висота розміщення осі підвісу робочого елемента над рівнем поверхні ґрунту  $b_0$ ; довжина робочого елемента  $l_e$ ; кут нахилу осі ротора  $\alpha$ .

Режимами роботи цього робочого органу є поступальна швидкість машини  $V$ , кутова швидкість обертання ротора  $\omega$ .

Таким чином, робота всіх копірних гичковидаляючих апаратів характеризується наступними фазами: фаза підйому на коренеплід, фаза руху по головці коренеплоду, фаза опускання. В кожній фазі копірна частина робочого елемента повинна забезпечити: в фазі підйому на головку коренеплоду - наведення ріжучої частини в оптимальну площину зрізу головки коренеплоду; в фазі руху по головці коренеплоду - горизонтальність площини зрізу та утримання ріжучого елемента в площині зрізу; в фазі сходу з головки коренеплоду - утримання ріжучого елемента в площині зрізу та відсутність підрізання основи головки коренеплоду; Отже, для вивчення процесу взаємодії та визначення раціональних параметрів робочого органу необхідно розробити теоретичні моделі взаємодії робочого органу з коренеплодами цукрових буряків.

### 1.3. Мета і завдання дослідження

**Мета роботи.** Зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності робочих органів для відокремлення гички шляхом обґрунтування технологічного процесу та параметрів копірно-роторного відокремлювача гички.

Відповідно до мети роботи визначено такі *завдання дослідження*:

- здійснити аналіз сучасних технологічних процесів та робочих органів для видалення гички і визначити напрями їх вдосконалення;
- розробити математичну модель процесу комбінованого відокремлення гички та обґрунтувати основні технологічні параметри робочого органу;
- обґрунтувати конструкційну схему копірно-роторного відокремлювача гички;
- розробити математичну модель копіювання робочим органом різновисоких головок коренеплодів;

- розробити математичну модель динамічної взаємодії робочого органу з гичкою та головкою коренеплоду;
- провести лабораторні та польові експериментальні дослідження для визначення раціональних параметрів та режимів роботи копінно-роторного відокремлювача гички;
- провести польові випробування розробленого пристрою та визначити показники технологічної ефективності процесу відокремлення гички;
- визначити техніко-економічну ефективність застосування робочого органу.

#### **1.4. Висновки до розділу**

Встановлено, що копінним зрізом при найменших втратах цукроносної маси гичка відокремлюється найбільш повно, але при цьому швидкість виконання технологічного процесу не перевищує 1,5 м/с.

Виявлено тенденцію застосування в сучасних гичковідокремлювальних машинах комбінованого способу зрізу, що дозволяє збільшити швидкість процесу до 2 м/с.

Обґрунтовано перспективність і необхідність дослідження технологічного процесу комбінованого відокремлення гички.

Обґрунтовано вибір конструкційної схеми робочого органу для відокремлення гички з відхиленням робочих елементів від площини обертання.

## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТА КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ГИЧКИ

### 2.1. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів копінно-роторного відокремлювача гички

#### 2.1.1. Загальне обґрунтування технологічної схеми та конструкційних параметрів робочого органу.

Таким чином, зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності процесу відокремлення гички можливе шляхом наукового обґрунтування технологічного процесу відокремлення гички із зменшеним діапазоном копінного зрізу. Реалізація такого технологічного процесу можлива шляхом створення нового високоефективного робочого органу, що поєднує операції копіювання та відокремлення гички (рис. 2.1).

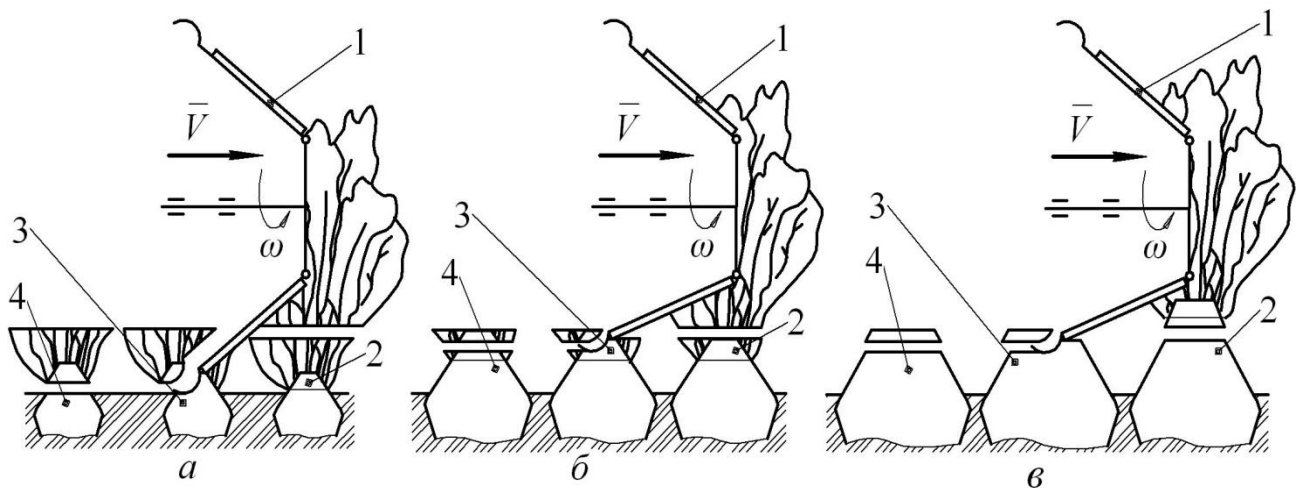


Рис. 2.1. Технологічна схема зрізу гички: *а, б, в* - відповідно низьких, середніх та високих коренеплодів.

Такий робочий орган може виконувати як самостійний копінний зріз так і комбінований зріз. При великому перепаді висот виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту застосовується комбінований зріз де

передбачається безкопінний зріз на рівні високих коренеплодів (позиція 2 на рис. 2.1 а, 2.1 б, 2.1 в), копінний зріз коренеплодів (позиції 3, 4 на рис. 2.1 б та 2.1 в) та безкопінний зріз низьких коренеплодів (позиція 3, 4 на рис. 2.1 а) робочим органом 1. При низькому розташуванні головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту відпадає потреба у безкопінному зрізі високовиступаючих коренеплодів і проводиться тільки безкопінний зріз низько виступаючих коренеплодів та копінний зріз решти коренеплодів.

Основними конструкційними параметрами, якими визначається робочий орган (рис. 2.2) є:  $\alpha$  - кут нахилу осі ротора до горизонталі;  $l_e$  - довжина робочого елемента;  $\varphi_0$  - кут встановлення робочого елемента до площини обертання;  $r_0$  - радіус осі підвісу робочих елементів. Режими роботи даного робочого органу визначаються кутовою швидкістю  $\omega$  ротора і поступальною швидкістю машини  $V$ .

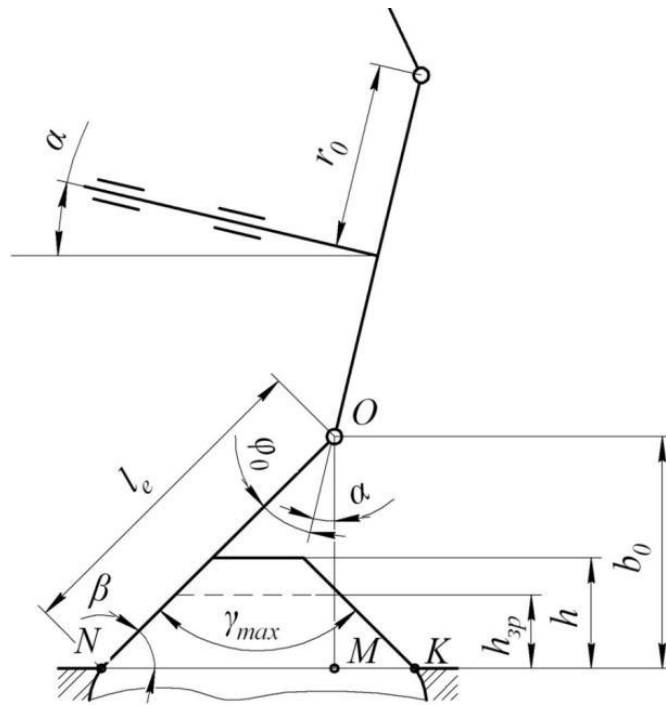


Рис. 2.2. Схема визначення основних конструкційних параметрів копінно-роторного відокремлювача гички.

Кут нахилу робочого елемента до горизонту  $\beta$  визначимо з умови не підрізання основи головки на початку фази копіювання головки коренеплоду. Для виконання цієї умови необхідно копірну частину робочого елемента

розмістити паралельно твірній умовного конуса коренеплоду. Відомі дослідження кута конусності коренеплодів  $\gamma$  згідно яких він складає  $60^\circ \dots 100^\circ$ . Для визначення кута встановлення робочого елемента до горизонту використаємо максимальне значення кута конусності головок коренеплодів  $100^\circ$ . Якщо кут при вершині конуса  $\gamma$  то відповідно кут  $\beta$ , що є кутом встановлення робочого елемента, буде відповідати куту нахилу твірної конуса до горизонту:

$$\beta = \frac{1}{2}(\pi - \gamma). \quad (2.1)$$

Підставивши значення, отримаємо  $\beta = 40^\circ$ .

Визначимо висоту розташування осі підвісу робочого елемента над рівнем ґрунту  $b_0$ . Значним чином на конструкційно-технологічні параметри ротора буде впливати максимальна висота виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту  $h$  (рис. 2.2). На основі досліджень процесу комбінованого зрізу гички цукрових буряків прийmemo значення  $h = 90$  мм, що відповідає висоті зрізу високо виступаючих коренеплодів і втратам цукроносної маси при зрізі менше 0,5% для всіх характеристик розподілу головок коренеплодів над рівнем ґрунту. Висота встановлення ротора над рівнем ґрунту буде визначатись також із умови не торкання шарніром головок максимально виступаючих коренеплодів. Враховуючи конструкційні розміри шарніра, прийmemo відстань від осі шарніра до поверхні ґрунту  $b_0 = 110$  мм.

Довжину робочого елемента  $l_e$  визначимо з умови мінімальної довжини та торкання кінцем елемента рівня ґрунту, тому що збільшення його довжини приведе до збільшення габаритних розмірів і зростання відцентрових сил інерції. При встановлених значеннях висоти розташування осі підвісу  $b_0$  та кута нахилу робочого елемента до горизонту  $\beta$  визначимо значення  $l_e$ , як гіпотенузи прямокутного трикутника  $NOM$  (рис. 2.2):

$$l_e = \frac{b_0}{\sin \beta}. \quad (2.2)$$

Провівши розрахунок, отримаємо  $l_e = 155$  мм.

Обґрунтування початкового кута відхилення робочого елемента від площини обертання  $\varphi_0$  виконаємо з умови стабільності контакту робочого органу з головкою коренеплоду. Стабільність контакту буде характеризуватись наявністю нормальної реакції достатньої величини. Основним силовим фактором, що буде впливати на нормальну реакцію є момент відцентрових сил інерції, які діють на робочий елемент. Внаслідок розрахунку визначено, що момент відцентрових сил інерції зростає від нуля, при радіальному розташуванні робочого елемента, до 5 Н м, при зміні кута відхилення робочого елемента від радіального положення до 1,16 рад або  $66^\circ$  (рис. 2.3). Стабільний контакт робочого органу з головкою коренеплоду буде при максимальних значеннях моменту відцентрових сил інерції, що відповідає куту повороту робочого елемента  $0,93 \dots 1,57$  рад. Звідси приймаємо значення початкового кута відхилення робочого елемента  $\varphi_0 = 0,93$  рад або  $50^\circ$ .

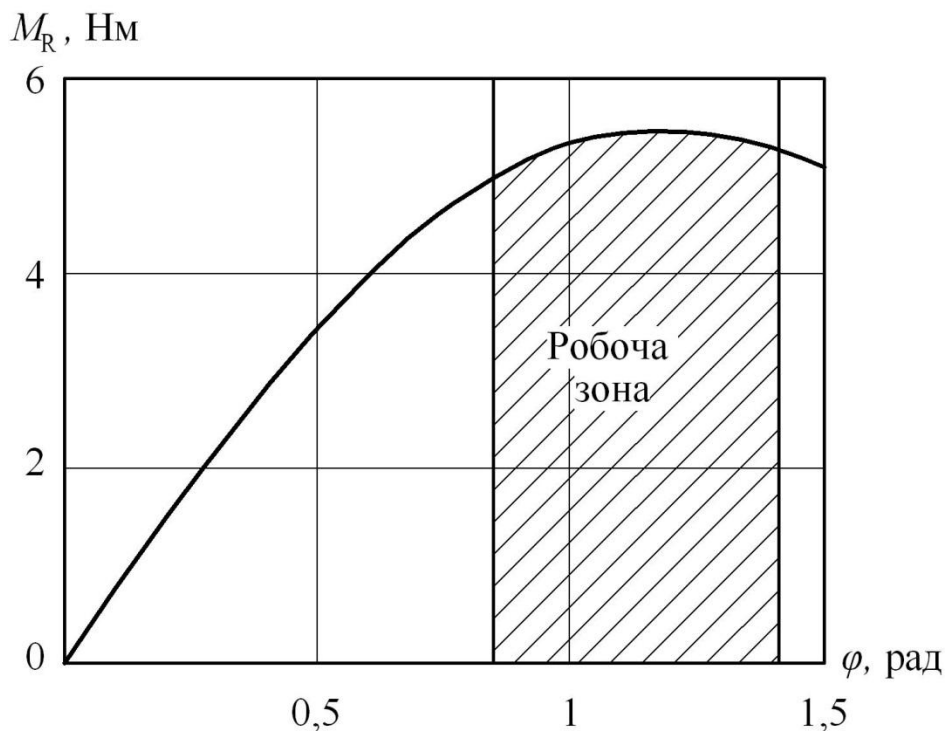


Рис. 2.3. Залежність моменту відцентрових сил інерції від кута повороту робочого елемента.

Обґрунтуємо кут нахилу осі ротора до горизонталі  $\alpha$ , з врахуванням значення початкового кута відхилення робочого елемента від площини



обертання  $\varphi_0$  та кута нахилу робочого елемента до горизонту  $\beta$ : із прямокутного трикутника  $NMO$  (рис. 2.2) визначимо значення кута нахилу осі ротора до горизонту:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi_0 - \beta. \quad (2.3)$$

Підставивши значення складових рівності (2.3) отримаємо  $\alpha = 0$ . Отже для забезпечення стабільного контакту робочого органу з головкою коренеплоду необхідно розташувати вісь обертання ротора горизонтально і паралельно умовній осьовій лінії рядка.

Відстань від осі ротора до осі підвісу робочого елемента  $r_0$  визначимо за необхідною швидкістю різання:

$$V_n \geq V_r, \quad (2.4)$$

де  $V_n$  - лінійна швидкість кінця робочого елемента;

$V_r$  - швидкість різання активними ножами різальних апаратів копінного типу  $V_r = 12$  м/с.

При заданому режимі  $\omega$  мінімальна лінійна швидкість різання буде за мінімального радіуса дуги, що описує кінець робочого елемента, при русі по поверхні зрізу, максимально виступаючої над рівнем ґрунту  $h_{зр}$  (рис. 2.4):

$$V_n = \omega (r_0 + b_0 - h_{зр}). \quad (2.5)$$

Максимальна висота комбінованого зрізу, при втратах цукроносної маси менше 2%, складає 60...70 мм. Приймаємо  $h_{зр} = 80$  мм.

З врахуванням виразу (2.5) умова забезпечення достатньої швидкості різання (2.4) набуде вигляду:

$$\omega (r_0 + b_0 - h_{зр}) \geq V_r. \quad (2.6)$$

Звідси визначимо значення  $r_0$  згідно наступного виразу:

$$r_0 \geq \frac{V_r}{\omega} + h_{зр} - b_0. \quad (2.7)$$

Приймемо значення кутової швидкості ротора  $\omega = 50...80$  с<sup>-1</sup>. Підставивши значення обчислимо значення  $r_0 = 0,15...0,24$  м. При конструюванні робочого органу нами вибрано значення близьке до середнього  $r_0 = 0,2$  м.

Таким чином, із вищенаведених умов визначаються наступні параметри механізму:

- кут нахилу робочого елемента до горизонту  $\beta = 40^\circ$ ;
- довжина робочого елемента  $l_e = 0,155$  м;
- радіус осі підвісу робочих елементів - 0,2 м;
- початковий кут відхилення робочого елемента від площини обертання -  $50^\circ$ ;
- діаметр ротора - 600 мм;
- при частоті обертання ротора 500,...,700  $\text{хв}^{-1}$  швидкість різання - не менше 12 м/с.

На основі даних обґрунтувань нами запропонована наступна конструкційна схема робочого органу (рис. 2.5-2.6).

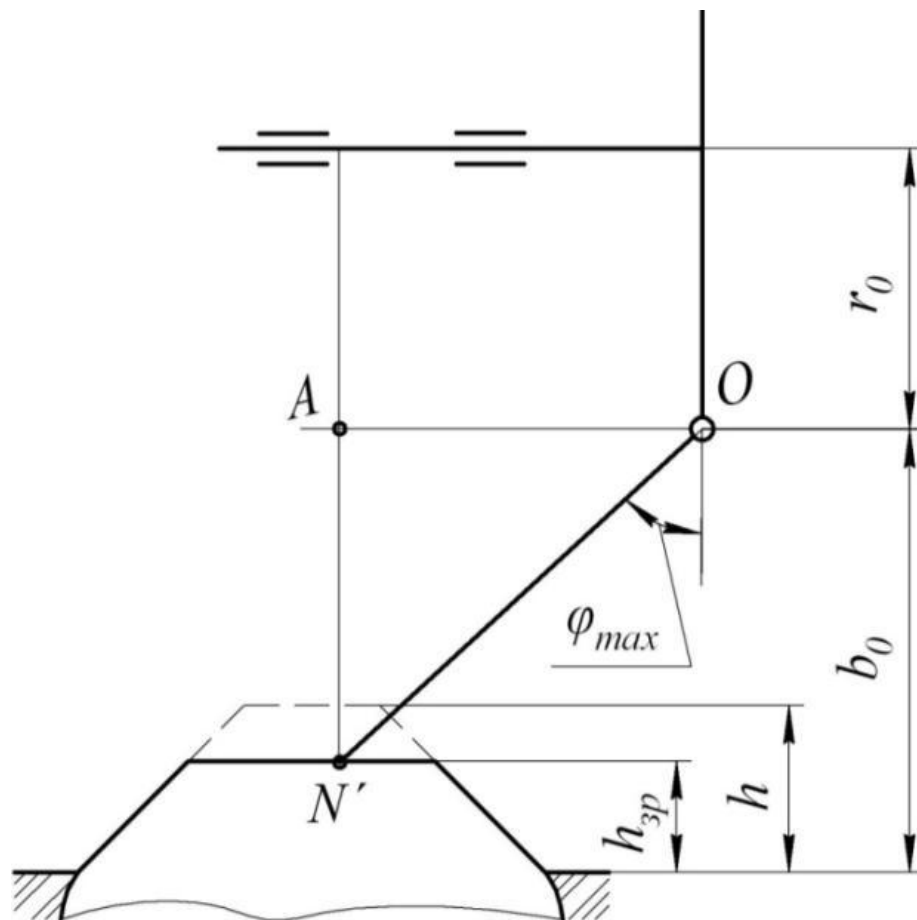


Рис. 2.4. Схема визначення відстані від осі ротора до осі підвісу робочого елемента.

Копірно-роторний відокремлювач гички (рис. 2.5) складається з несучого диска 1, встановлених на шарнірах 2 робочих елементів, що складаються з жорстко зв'язаних між собою копірної частини 3, упорів 4 та ріжучої частини 5. Між сусідніми робочими елементами існує кінематичний зв'язок за допомогою упорів 4. За напрямком обертання кожний наступний робочий елемент опирається на упор попереднього елемента. Обертання ротора відокремлювача гички здійснюється в площині перпендикулярній до умовної осьової лінії рядка. Процес відокремлення гички складається з фаз: копіювання копірною частиною головок коренеплодів, видалення гички ріжучою частиною та відновлення вихідного положення робочим органом. При наїзді на коренеплід робочий елемент відхиляється і за допомогою упорів з певною закономірністю починають відхилятися наступні елементи. Після проходження копірною частиною головки коренеплоду система робочих елементів орієнтується на необхідну висоту зрізу і порційно кожним робочим елементом видаляється частина головки коренеплоду з гичкою.

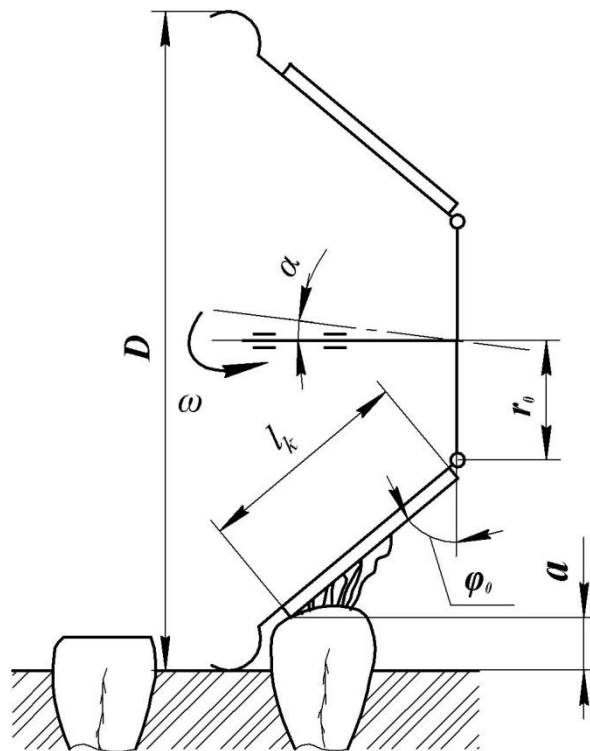


Рис. 2.5. Кінематична схема нового копірно-роторного відокремлювача гички.

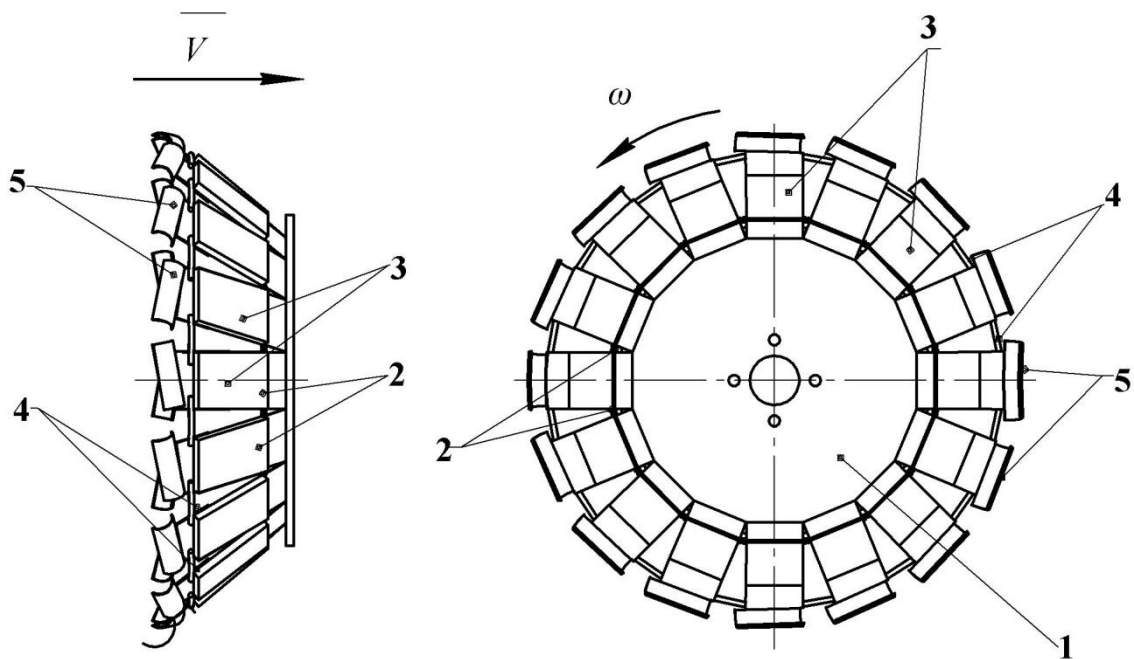


Рис. 2.6. Конструкційна схема нового копійно-роторного відокремлювача гички.

Після досягнення ріжучою частиною краю головки коренеплоду відбувається схід системи елементів з головки і відновлення вихідного положення відокремлювачем гички для взаємодії з наступною головкою коренеплоду.

У фазі взаємодії з копійною частиною відбувається зустріч робочого елемента із головкою коренеплоду та його рух по головці коренеплоду з одночасним відхиленням навколо власної осі обертання, на кут  $\varphi$ . Водночас відбувається перестроювання  $n$  - кількості наступних робочих елементів згідно закону кінематичного зв'язку між робочими елементами  $\Delta\varphi$ . Після переходу головкою коренеплоду міжелементного проміжку при взаємодії з наступним робочим елементом відбувається зрізання частини гички або головки. В даній фазі необхідно забезпечити стабільність контакту та копіювання головки з метою точного наведення ріжучого елемента на задану висоту зрізу.

Також для зрізу гички ребрами копійної частини потрібно забезпечити необхідне зусилля притискання копійної частини до головки коренеплоду. Тому для побудови математичної моделі у даній фазі необхідно визначити:

закономірність руху першого робочого елемента по головці коренеплоду  $\varphi_1 = f(h)$ ; визначити вплив руху першого робочого елемента на рух наступних робочих елементів; нормальні зусилля, що будуть діяти в контакті головки і копірної частини робочого елемента при різній висоті виступання головки коренеплоду; складові нормальної реакції робочого елемента на коренеплід в поздовжньому та поперечному напрямках до умовної осьової лінії рядка та порівняти їх з допустимими значеннями. У фазі сходу робочого органу з головки коренеплоду необхідно розглянути вільний рух робочого елемента для визначення часу відновлення робочим елементом свого вихідного положення. Після цього необхідно перевірити чи відновлює робочий орган вихідне положення до взаємодії з наступним поряд розташованим низьковиступаючим коренеплодом.

При побудові математичних моделей приймемо наступні припущення:

1. Робочий орган рухається поступально із швидкістю  $V = \text{const}$  та обертається навколо своєї осі із кутовою швидкістю  $\omega = \text{const}$ .
2. На початку фази сходу робочого елемента з головки коренеплоду кут відхилення робочого елемента від початкового положення  $\varphi = \text{const}$ , і відповідно його кутова швидкість  $\omega = 0$  і кутове прискорення  $\varepsilon = 0$ .
3. Сила ваги значно менша за інші силові фактори, що діють на робочий елемент, тому приймаємо  $G = 0$ .
4. Маса робочих елементів є постійною.
5. Момент сил реакції шарніра робочого елемента  $M = 0$ .
6. Робочий елемент та головка коренеплоду є абсолютно тверді тіла.
7. Коренеплід жорстко закріплений у ґрунті.

При комплектуванні машинно-тракторного агрегату передбачається 20...30 % запас номінальної потужності двигуна. Коефіцієнт опору кочення є постійний, схил поля змінюється не миттєво, середня потужність на зріз гички не перевищує 10% від номінальної потужності двигуна. Відповідно сумарне збільшення тягової та привідної складових ефективної потужності не буде перевищувати 20%, а отже правомірно прийняти  $V = \text{const}$  і  $\omega = \text{const}$ .

Відеоспостереженнями встановлено, що при закінченні взаємодії робочого органу з гичкою та головкою коренеплоду не спостерігалась зміна кута відхилення робочого елемента. Тому друге припущення є коректним.

Припущення 3, 4 і 5 є правомірними внаслідок того що, сумарний вплив силових факторів викликаних даними величинами змінює величину зовнішніх силових факторів не більше 2%.

При взаємодії робочого органу з головкою можливі її деформації, що не перевищують 1 мм. Вказані переміщення приведуть до зміни зусилля в контакті не більше 0,5%, що є незначною величиною, якою можна знехтувати. Тому припущення 6 в даному випадку є коректним.

За нормальних умов збирання зусилля, що діють в контакті робочий орган-коренеплід, не перевищують граничних зусиль стійкості коренеплоду у ґрунті. Отже переміщень коренеплоду не буде і тому припущення 7 є правомірним.

Отже за допомогою теоретичних моделей необхідно уточнити визначені конструктивні параметри робочого органу та обґрунтувати раціональні значення його технологічних параметрів та режимів роботи.

### **2.1.2. Теоретичне дослідження процесу копіювання різновисоких головок коренеплодів копірно-роторним відокремлювачем гички.**

Для перевірки даного робочого органу на здатність копіювати різновисокі головки коренеплодів необхідно вирішити наступні завдання: скласти розрахункову схему; побудувати теоретичну модель вільних коливань від площини обертання прямолінійного стрижня постійного поперечного перерізу; за конструкційно-технологічними параметрами визначити диференціальне рівняння вільних коливань реального робочого елемента; визначити залежність зміни кута відхилення від часу кожного робочого елемента при сході системи робочих елементів з головки коренеплоду; графічно промоделювати процес копіювання робочими елементами екстремального випадку розташування суміжних головок коренеплодів при різних режимах роботи.

Для виконання поставлених завдань розглянемо еквівалентну схему робочого органу, що складається із валу на якому жорстко закріплена маточина у вигляді диска і приєднаних до нього за допомогою циліндричних шарнірів робочих елементів (рис. 2.7).

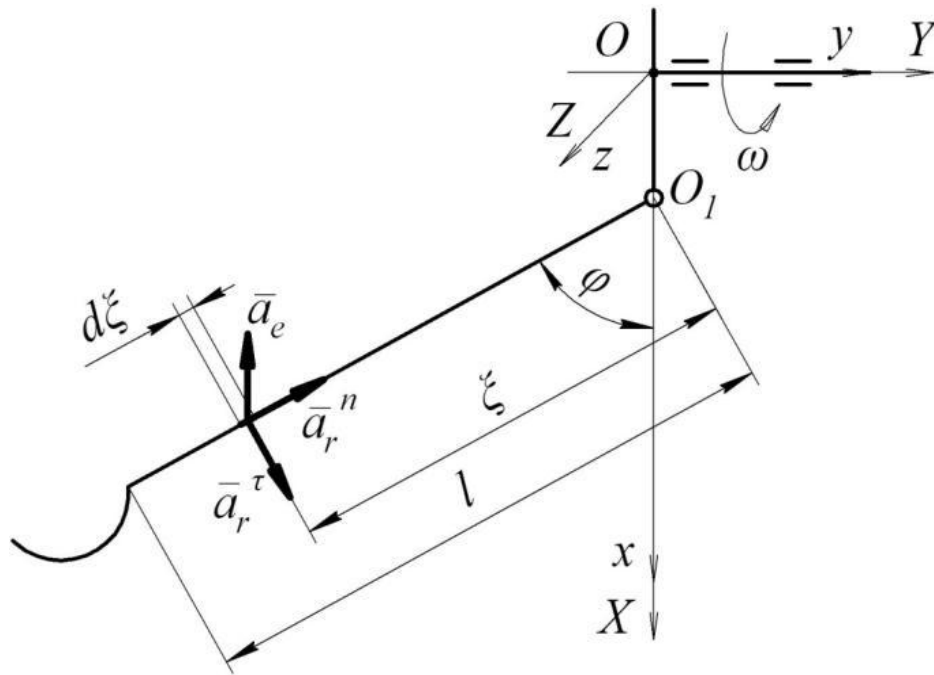


Рис. 2.7. Еквівалентна схема робочого органу.

Робочий елемент складається із копірної частини у вигляді стрижня постійного перерізу та дугоподібної ножової частини. В першому наближенні розглянемо коливання прямолінійного стрижня навколо осі підвісу. Введемо праві прямокутні системи координат:  $OXYZ$  - інерціальна система координат, пов'язана з геометричним центром маточини і  $Oxyz$  - жорстко пов'язана з валом ротора. Осі  $OY$  і  $Oy$  сумістимо з віссю обертання ротора, вісь  $Ox$  - з повздовжньою віссю стрижня у не відхиленому стані, тобто коли кут відхилення стрижня  $\varphi = 0$ . Ротор обертається з кутовою швидкістю  $\omega = \text{const}$  навколо своєї осі. Шарнірне закріплення стрижня дозволяє йому здійснювати маховий рух від площини обертання  $Oxz$ .

Для побудови рівняння руху стрижня, визначимо прискорення, з яким рухається її елемент  $d\xi$  та підрахуємо обумовлену ним силу інерції.

Вектор абсолютного прискорення елемента стрижня  $d\xi$  буде дорівнювати:

$$\bar{a} = \bar{a}_e + \bar{a}_r + \bar{a}_c, \quad (2.8)$$

де  $\bar{a}_e$ ,  $\bar{a}_r$  та  $\bar{a}_c$  - відповідно вектори переносного, відносного і коріолісового прискорення елемента стрижня.

Переносне прискорення елемента стрижня визначається за формулою

$$|\bar{a}_e| = (r_0 + \xi \cos \varphi) \omega^2, \quad (2.9)$$

де  $\xi$  - поточна координата елемента стрижня  $d\xi$ ;

$\varphi$  - відхилення стрижня від площини обертання.

Знайдемо проєкції вектора  $\bar{a}_e$  на осі системи  $Oxy$ :

$$a_{ex} = -\omega^2 (r_0 + \xi \cos \varphi). \quad (2.10)$$

$$a_{ey} = 0. \quad (2.11)$$

Відносне прискорення стрижня визначимо як векторну суму нормального і тангенціального прискорень:

$$a_r = a_r^n + a_r^\tau. \quad (2.12)$$

Нехай стрижень знаходиться у відхиленому стані і відцентрові сили інерції намагаються встановити його у площину обертання ротора. Очевидно, що в даному випадку лінійна швидкість його буде збільшуватись і кутове прискорення  $a_r^\tau$  буде додатнім і направлене згідно рисунка. У цій же системі координат визначимо складові вектора  $\bar{a}^r$ :

$$a_{rx}^n = -\varphi^2 \xi \cos \varphi, \quad a_{ry}^n = \varphi \xi \sin \varphi. \quad (2.13)$$

$$a_{rx}^\tau = \varphi \xi \sin \varphi, \quad a_{ry}^\tau = \varphi \xi \cos \varphi. \quad (2.14)$$

В даному випадку коріолісове прискорення направлене перпендикулярно площині рисунку, тому будемо вважати, що воно не впливає на маховий рух стрижня навколо осі підвісу.

З урахуванням рівностей (2.10) - (2.16) визначимо компоненти абсолютного прискорення елемента стрижня.



Спроекуємо складові абсолютного прискорення на осі  $x$  і  $y$ :

$$a_x = -r\omega^2 - \zeta \cos \varphi \omega^2 - \cancel{\varphi} \zeta \cos \varphi + \cancel{\varphi} \sin \varphi. \quad (2.15)$$

$$a_y = \cancel{\varphi} \zeta \sin \varphi + \cancel{\varphi} \cos \varphi. \quad (2.17)$$

Знаючи компоненти вектора  $a$ , знайдемо компоненти елементарної сили інерції:

$$dF_x^j = -dm a_x, \quad dF_y^j = -dm a_y,$$

де  $dm$  - маса елементарного перерізу стрижня.

Виразивши масу елементарного перерізу через густину та площу

$$dm = \gamma s d\zeta,$$

отримаємо

$$dF_x^j = -\gamma s a_x d\zeta, \quad dF_y^j = -\gamma s a_y d\zeta \quad (2.18)$$

де  $\gamma, s$  - щільність матеріалу і площа поперечного перерізу стрижня.

Для побудови рівняння руху стрижня визначимо елементарні моменти сил інерції відносно осі шарніра.

У даному випадку досліджується маховий рух стрижня в площині  $Oxy$ . В цьому випадку до рівняння рівноваги увійдуть елементарні моменти сил інерції  $F_x^j$  і  $F_y^j$ , що діють в цій площині.

Скориставшись звичайним правилом знаків: позитивним будемо вважати момент сил направлений проти ходу годинникової стрілки. Елементарний момент сил інерції, що діють в площині  $Oxy$ :

$$dM = -\gamma s (a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi) \zeta d\zeta. \quad (2.19)$$

Інтегруючи елементарний момент в межах від 0 до  $l$  отримаємо момент сил інерції, що діють на стрижень, відносно осі шарніра:

$$M = \int_0^l \left[ -\gamma s (a_x \sin \varphi + a_y \cos \varphi) \right] \zeta d\zeta. \quad (2.21)$$

Підставивши вирази (2.20) та (2.21) в (2.25) та спростивши, отримаємо:

$$M = -\gamma s \int_0^l \left( \zeta \cancel{\varphi} \omega^2 \sin \varphi r_0 - \frac{\zeta \omega^2 \sin 2\varphi}{2} \right) \zeta d\zeta, \quad (2.22)$$

$$\text{або} \quad M = -\gamma s \int_0^l \left( \xi^2 \omega^2 \sin \varphi r_0 - \frac{\xi^2 \omega^2 \sin 2\varphi}{2} \right) d\xi. \quad (2.23)$$

Після інтегрування в межах від 0 до  $l$  остаточно отримаємо:

$$M = \gamma s \left( \frac{r_0 l^2 \omega^2 \sin \varphi}{2} + \frac{r_0 \omega^2 l^3 \sin 2\varphi}{6} - \frac{\omega^3}{3} \right). \quad (2.24)$$

Використовуючи принцип Даламбера, запишемо рівняння динамічної рівноваги стрижня відносно осі підвісу  $O_1$  у наступному вигляді:

$$M + M_{uu} = 0, \quad (2.25)$$

де  $M_{uu}$  - момент сил реакції шарніра відносно осі шарніра.

Оскільки момент реакції шарніра відносно осі шарніра  $M_{uu} = 0$ , то із (2.25) отримуємо:

$$M = 0. \quad (2.26)$$

Або враховуючи (2.24) матимемо:

$$\gamma s \left( \frac{r_0 l^2 \omega^2 \sin \varphi}{2} + \frac{r_0 \omega^2 l^3 \sin 2\varphi}{6} - \frac{\omega^3}{3} \right) = 0. \quad (2.27)$$

Враховуючи, що  $\gamma s l = m$  запишемо:

$$m \omega^2 \left( \frac{l}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right) - m \frac{l^2}{3} \omega^3 = 0. \quad (2.28)$$

Друга складова рівності (2.28) є моментом сил інерції стрижня відносно осі підвісу. Логічно припустити, що перша складова є моментом відцентрових сил інерції і вираз (2.28) є диференціальним рівнянням обертального руху шарнірно закріпленого стрижня навколо осі підвісу, яка обертається навколо перпендикулярної осі, розташованої на віддалі  $r_0$ . Виходячи із даних міркувань та використовуючи принцип Даламбера, запишемо рівняння динамічної рівноваги для робочого елемента в наступному вигляді:

$$J \omega^2 - \sum M_R = 0, \quad (2.29)$$

де  $J$  - момент інерції робочого елемента відносно осі підвісу;

$\sum M_R$  - сума моментів відцентрових сил інерції складових робочого елемента відносно осі підвісу.

Робочий елемент складається з шарніра 1, копірної частини 2, пластинки 3 та ножа 4 (рис. 2.8).

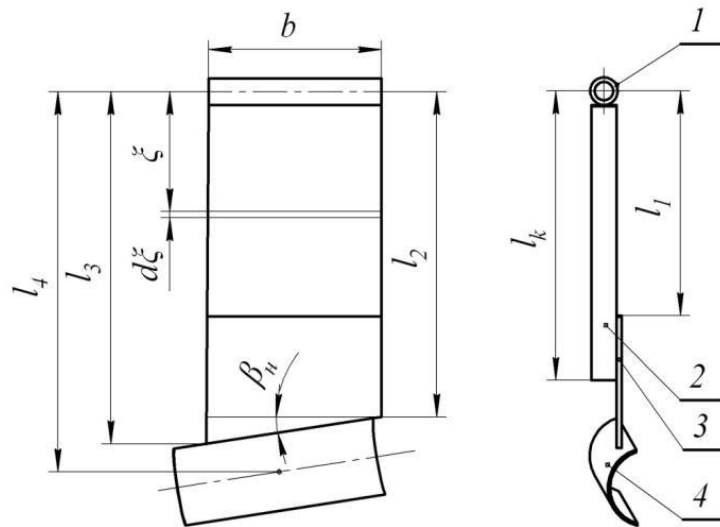


Рис. 2.8. Схема робочого елемента.

Враховуючи, що момент відцентрових сил інерції циліндричного шарніра буде рівним нулю, то сумарний момент інерції відцентрових сил робочого елемента визначимо, як:

$$M_R = M_K + M_{II} + M_H, \quad (2.30)$$

де  $M_K$ ,  $M_{II}$ ,  $M_H$  - відповідно моменти відцентрових сил інерції копірної частини, пластинки і ножа.

Для знаходження моменту відцентрових сил інерції копірної частини визначимо, обумовлену доцентровим прискоренням  $a_e$ , елементарну відцентрову силу інерції  $dF_e$ , що діє на елементарний переріз копірної частини (рис. 2.9), матимемо:

$$dF_e = -a_e dm, \quad (2.31)$$

де  $dm$  - маса елементарного перерізу.

Масу елементарного перерізу виразимо наступним чином:

$$dm = \gamma s d\xi, \quad (2.32)$$

де  $\gamma$  - густина матеріалу копірної частини;

Враховуючи вирази (2.10) і (2.42) рівняння (2.31) набуде такого вигляду:

$$dF_e = -\omega^2 \gamma s (r_0 + \xi \cos \varphi) d\xi. \quad (2.33)$$

Визначимо елементарний момент відцентрових сил інерції:

$$dM_k = -dF_e^\tau dm, \quad (2.34)$$

де  $dF_e^\tau$  - тангенціальна складова елементарної відцентрової сили інерції (рис. 2.9), яка буде дорівнювати:

$$dF_e^\tau = dF_e \sin \varphi. \quad (2.35)$$

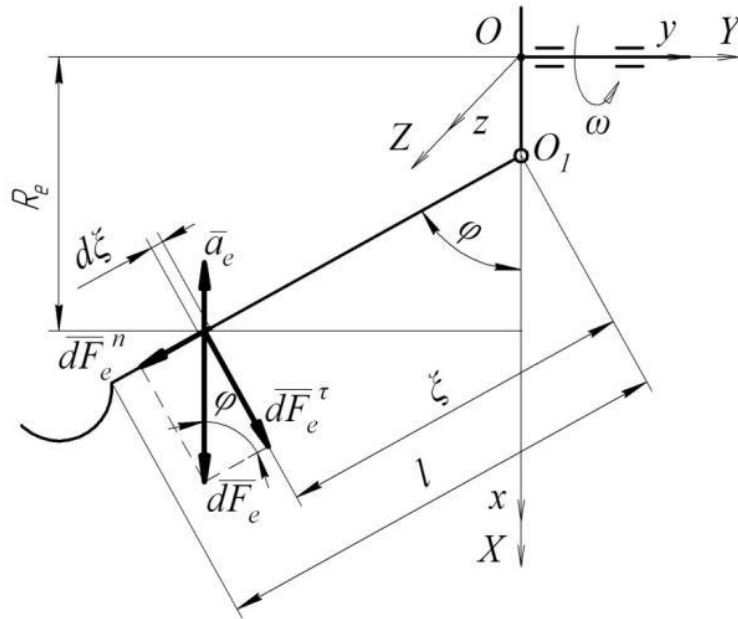


Рис. 2.9. Схема до визначення моменту відцентрових сил інерції прямолінійного стрижня постійного перерізу.

Враховуючи вирази (2.22) та (2.23) рівняння (2.24) запишемо у наступному вигляді:

$$dM_k = -\omega^2 \gamma s \sin \varphi (r_0 + \xi \cos \varphi) \xi d\xi. \quad (2.36)$$

Момент відцентрових сил інерції копірної частини визначимо шляхом інтегрування виразу (2.36), тобто:

$$M_k = \int_0^{l_k} \left[ -\omega^2 \gamma s \sin \varphi (r_0 + \xi \cos \varphi) \xi \right] d\xi. \quad (2.37)$$

Після інтегрування в межах від 0 до  $l_k$  отримаємо момент відцентрових сил інерції, що діють на копірну частину, відносно осі шарніра:

$$M_k = -\frac{\gamma s \omega^2 l_k^3 \sin 2\varphi}{6} - \frac{\gamma s r_0 \omega^2 l_k^2 \sin \varphi}{2}. \quad (2.38)$$

Враховуючи, що  $\gamma s l_k = m_k$  остаточно запишемо:

$$M_k = m_k \omega^2 \left( \frac{l_k}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l_k^2}{6} \sin 2\varphi \right). \quad (2.39)$$

Аналізуючи вираз (2.39), бачимо, що він аналогічний першому члену виразу (2.28). Отже припущення про те, що перший доданок виразу (2.28) є моментом відцентрових сил інерції стрижня прямокутного перерізу відносно осі підвісу підтверджено.

В результаті розрахунків моментів відцентрових сил складових реального робочого елемента, залежність (2.30) прийме наступний вигляд:

$$M_R = \omega^2 (a \sin 2\varphi + b \sin \varphi), \quad (2.40)$$

де  $a, b$  - постійні коефіцієнти, що враховують розмірно-масові параметри робочого елемента ( $a = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ Н м с}^2$ ,  $b = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Н м с}^2$ ).

В результаті розрахунків сумарний момент інерції робочого елемента відносно осі підвісу -  $J = 1,587 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^2$ .

З врахуванням конкретних значень конструкційних параметрів диференціальне рівняння коливань робочого елемента навколо осі підвісу (2.29) набуде остаточно вигляду:

$$J \ddot{\varphi} + \omega^2 (a \sin 2\varphi + b \sin \varphi) = 0. \quad (2.41)$$

Для вирішення задачі копіювання головок коренеплідів необхідно ввести окремі визначення та припущення. Останній ріжучий робочий елемент - робочий елемент, що зрізає під час фази різання останню частинку головки коренеплоду. Час закінчення фази різання - час коли останній ріжучий робочий елемент проходить крайнє нижнє положення на роторі. Час відновлення вихідного положення робочим елементом - час від закінчення фази різання до відновлення робочим елементом вихідного положення. Час відновлення робочим органом початкового положення  $t_v$  - час від закінчення фази різання до відновлення вихідного положення першим з робочих елементів, що рухаються слідом за останнім ріжучим елементом. Максимально виступаючий коренеплід - коренеплід у якого головка коренеплоду максимально виступає над рівнем ґрунту. За нашими

розрахунками при комбінованому зрізі це коренеплоди з висотою виступання головок над рівнем ґрунту більше 80 мм. Мінімально виступаючий коренеплід - коренеплід, у якого головка розташована на рівні ґрунту.

Звідси сформулюємо необхідну умову копіювання головок коренеплідів запропонованим робочим органом. Час відновлення робочим органом вихідного положення  $t_v$  повинен бути меншим за час від кінця фази різання максимально виступаючого коренеплоду до початку контакту з мінімально виступаючим коренеплодом  $t_d$  без пошкоджень основи головки максимально виступаючого коренеплоду або з допустимими, за агротехнічними вимогами, незначними пошкодженнями.

Перевірку виконання необхідної умови копіювання проведемо у наступній послідовності. Визначимо залежність зміни кута відхилення  $\varphi(t)$  для кожного з робочих елементів, що відновлюють своє вихідне положення після зрізу високо виступаючого коренеплоду. Визначимо момент часу проходження кожним з відхилених робочих елементів крайнього нижнього положення на роторі  $t_i$  і відобразимо їх на графіках (рис. 2.10):

$$t_i = \frac{2i\pi}{\omega z}, \quad (2.42)$$

де  $i$  - порядковий номер робочого елемента після останнього ріжучого робочого елемента (рис. 2.10). Для кожного  $i$ -го робочого елемента порівнюємо в момент часу  $t_i$  значення  $\varphi_i(t_i)$  із  $\varphi_0$  за умовою: якщо  $\varphi_i(t_i) > \varphi_0$ , то робочий елемент не відновив вихідне положення, а якщо  $\varphi_i(t_i) = \varphi_0$ , то робочий елемент відновив вихідне положення. Визначимо робочий елемент, що першим відновив вихідне положення, і таким чином, встановимо час відновлення робочим органом вихідного положення. у випадку взаємодії з коренеплодом  $h = 40$  мм.

Для перевірки не підрізання основи головки високо виступаючого коренеплоду проведемо графічний аналіз положень робочих елементів при проходженні ними крайнього нижнього положення у фазі відновлення вихідного положення при різних режимах роботи.

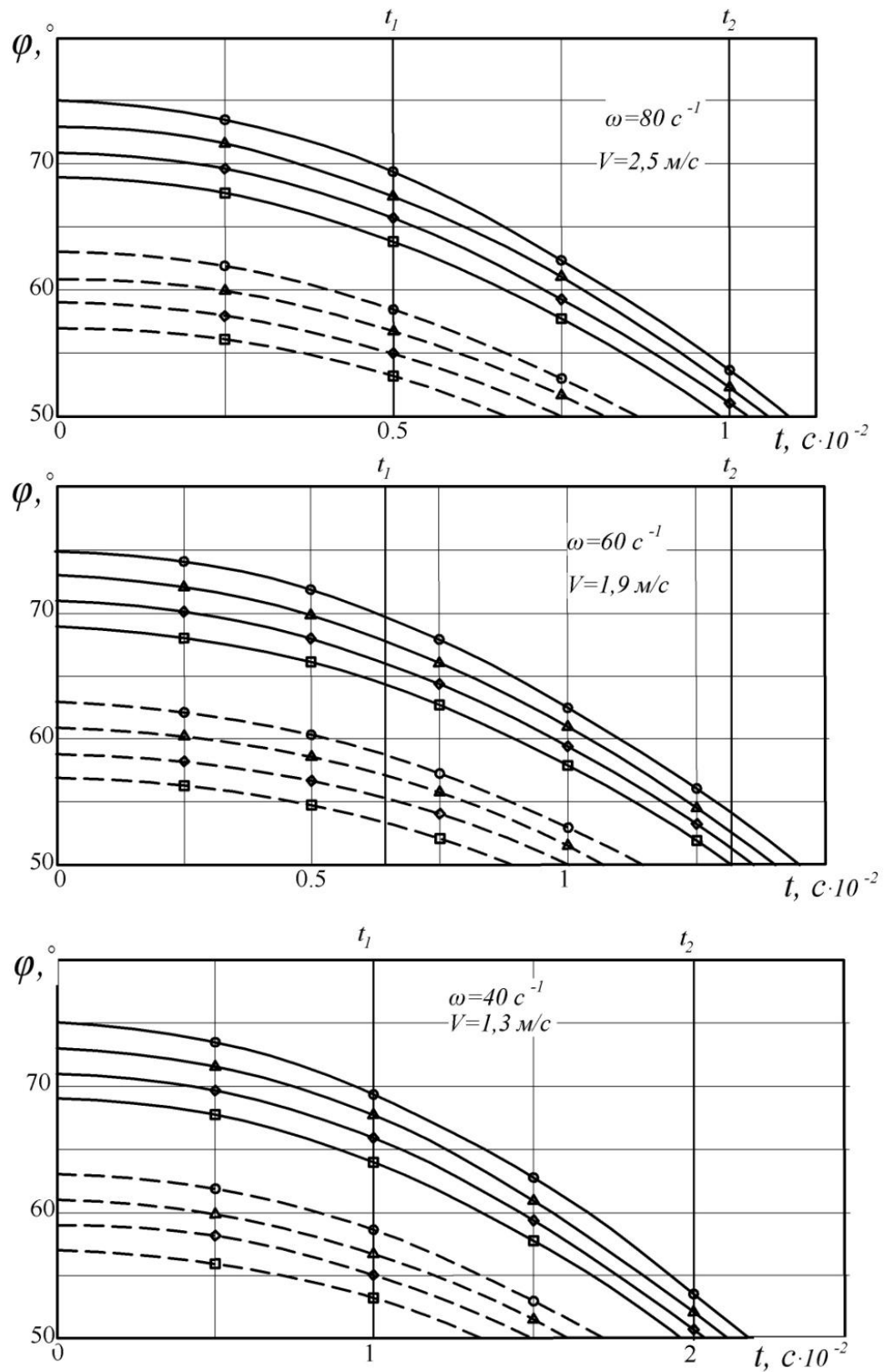


Рис. 2.10. Залежність кута відхилення робочого елемента від часу:

○ — відповідно останнього ріжучого та 1, 2, 3 наступних елементів системи;

— — взаємодія з коренеплодом  $h = 80 \text{ мм}$ ;

- - - взаємодія з коренеплодом  $h = 40 \text{ мм}$ .

Для визначення можливості копіювання екстремального випадку розташування суміжних головок коренеплодів у досліджуваному діапазоні робочих швидкостей необхідно: побудувати залежність допустимого часу відновлення вихідного положення  $t_d$  та фактичного часу від кутової швидкості  $t_v$ , що розраховані теоретично; порівняти отримані графічні залежності з експериментальними даними і визначити раціональні значення режимів роботи - поступальної швидкості та частоти обертання ротора робочого органу.

Для дослідження часу відновлення початкового положення робочим органом  $t_v$  визначимо вплив висоти виступання головок коренеплодів та кутової швидкості ротора на рух системи робочих елементів після сходу їх з головки коренеплоду.

За нашими розрахунками [6] висота безкопінного зрізу високо виступаючих коренеплодів над рівнем ґрунту не буде перевищувати 80 мм. Для порівняння результатів розрахунків виберемо дві висоти виступання коренеплодів  $h = 80$  мм і  $h = 40$  мм. З метою отримання горизонтальної поверхні зрізу нами конструкційно закладено співвідношення між кутовою швидкістю ротора і поступальною швидкістю робочого органу:

$$\omega = 10\pi V. \quad (2.43)$$

Тому, при поступальних швидкостях 1,0...2,5 м/с вибираємо значення кутової швидкості  $\omega = 40, 60, 80 \text{ с}^{-1}$ . Враховуючи початкові умови для кожного з робочих елементів, із диференційного рівняння (2.41), визначимо чисельними методами залежність  $\varphi(t)$  для останнього ріжучого та декількох наступних робочих елементів (рис. 2.10). Відмітимо на графіках час  $t_1$  і  $t_2$ , при якому перший та другий ріжучі елементи будуть проходити крайнє нижнє положення. При сходженні з головки коренеплоду висотою 40 мм до часу  $t_2$  всі робочі елементи відновлюють своє початкове положення. При сходженні з головки коренеплоду висотою 80 мм всі робочі елементи відновлюють своє вихідне положення між часом  $t_2$  і  $t_3$ .

Слід відмітити зменшення часу відновлення робочими елементами вихідного положення при збільшенні кутової швидкості ротора. Очевидно, це



пояснюється відомим із теорії коливань, зменшенням періоду коливань при збільшенні кутової швидкості. Проведемо додатково аналіз процесу взаємодії копінно-роторного робочого органу з головкою коренеплоду (рис. 2.11). Процес взаємодії буде складатись з фази копіювання  $t_k$ , фази різання  $t_r$  і фази сходження з головки  $t_c$ . Як бачимо із наведеного графічного аналізу (рис. 2.11), при сходженні робочого органу з головки коренеплоду робочі елементи, при проходженні крайнього нижнього положення, практично копіюють тильну сторону головки. Причому, при зміні кутової швидкості і відповідній їй швидкості поступального руху, положення робочих елементів практично не змінюється. Це свідчить про правильність вибору кінематичного режиму, нечутливість робочого органу до зміни поступальної швидкості та добре копіювання головок коренеплодів різної висоти виступання. Слід відмітити можливе підрізання тильної сторони головки при збільшених кутах конусності головки та підвищених значеннях кутової швидкості. Але даний недолік усувається зміною кінематичного режиму - збільшенням поступальної швидкості руху робочого органу або зменшенням кутової швидкості ротора. Можливі рішення конструкційного плану, наприклад, збільшення моменту інерції робочого елемента, що збільшить період коливань. При проведенні експериментальних польових досліджень підрізання спостерігалось лише в окремих випадках і глибина пошкоджень головок коренеплодів не перевищувала 5 мм, що є в межах допустимих вимог. Проведемо дослідження можливості якісного копіювання екстремального випадку розташування суміжних головок коренеплодів в рядку запропонованою конструкційною схемою (рис 2.11-2.12).

Введемо систему координат  $Oxy$ , центр якої розташуємо на рівні ґрунту в центрі основи головки коренеплоду. Вісь  $x$  направимо паралельно умовній осьовій лінії рядка в напрямку руху машини, а вісь  $y$  вертикально вгору.



При цьому визначимо мінімально допустимий час протягом якого робочий орган повинен відновити вихідне положення перед копіюванням наступного коренеплоду. Розглянемо період руху робочого органу від моменту сходу системи робочих елементів з вершини головки коренеплоду (точка  $M_1$ ) до повного відновлення робочим елементом вихідного положення - точка  $M_2$ . Подолавши відрізок  $M_1M_2$  робочий орган відновить вихідне положення безпосередньо після закінчення основи головки коренеплоду на рівні ґрунту. Час проходження робочим органом відстані  $M_1M_2$  буде необхідним часом  $t$  відновлення початкового положення робочим органом.

Цей час визначимо із залежності:

$$t_d = \frac{x_2 - x_1}{V}, \quad (2.44)$$

де  $V$  - швидкість поступального руху робочого органу, м/с.

Визначимо положення осі підвісу робочого елемента в момент сходу ножа з вершини головки коренеплоду, а саме положення точки  $M_1$ . Координата  $y_1$  цієї точки буде рівна відстані від осі підвісу до рівня ґрунту  $d$ . Координату  $x_1$  точки  $M_1$  визначимо з виразу:

$$x_1 = x_0 + AM_1, \quad (2.45)$$

де  $x_0$  - координата центру дуги ножа в положенні сходу з головки коренеплоду;  $AM_1$  - відстань від центру дуги ножа до точки  $M_1$  по горизонталі.

Координату  $x_0$  - визначимо, як половину діаметра коренеплоду в площині зрізу:

$$x_0 = d_1 + (h - h_{\text{сп}}) \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.46)$$

Відрізок  $AM_1$  - визначимо з прямокутного трикутника  $AO_1M_1$ :

$$AM_1 = \sqrt{l_k^2 - (d - h_{\text{сп}} + r_{\text{н}})^2}. \quad (2.47)$$

Підставивши у вираз (2.45) значення виразів (2.46) та (2.47), обчислимо координату  $x_1$ :

$$x_1 = d_1 + (h - h_{\text{сп}}) \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{l_k^2 - (d - h_{\text{сп}} + r_{\text{н}})^2}. \quad (2.48)$$

Визначимо положення точки  $M_2$ . Координата  $y_2$  буде рівна відстані  $d$ . Координату  $x_2$  визначимо з прямокутного трикутника  $A_1KM_2$ :

$$x_2 = x_k + \sqrt{l_k^2 - (d - r_n)^2}. \quad (2.49)$$

Визначимо координату центру дуги ножа  $x_k$  у вихідному положенні, як суму відрізків:

$$x_k = OB_1 + B_1C_1 + C_1M_1. \quad (2.50)$$

Враховуючи, що трикутники  $K_1B_1C_1$  та  $C_1O_1M_1$  прямокутні, визначимо значення складових рівності (2.50):

$$J_{\phi} \omega^2 (2a + b)\phi = 0, \quad (2.51)$$

де  $d_1$  - діаметр вершини головки коренеплоду.

Або з врахуванням значення виразу (1.2) та значень коефіцієнтів  $c = 0,11$  та  $b = 10$  [2] рівність (2.50) набуде вигляду:

$$OB_1 = \frac{1}{2}(0,11h + 10). \quad (2.52)$$

Відрізки  $B_1C_1$  та  $C_1M_1$  визначимо із виразів:

$$B_1C_1 = htga, \quad (2.53)$$

$$t_k = \frac{2\pi}{z\omega} - \frac{2 \arcsin\left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}}\right)}{\omega}. \quad (2.54)$$

Кут  $\beta$  визначимо шляхом наступних міркувань. З трикутника  $K_1B_1C_1$  визначимо кут  $\alpha_1$ :

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha. \quad (2.55)$$

Кут  $\gamma$  визначимо із залежності

$$\gamma = \pi + \alpha. \quad (2.56)$$

Проведемо бісектрису кута  $\gamma$ , яка пройде через центр дуги ножа. Тоді кут  $\beta$  визначимо, як половину кута  $\gamma$  і з врахуванням виразу (2.56) запишемо:

$$\beta = \frac{\pi + \alpha}{2}. \quad (2.57)$$

З врахуванням (2.57) вираз (2.44) набуде вигляду:

$$t_k = \frac{2\pi}{z\omega}. \quad (2.58)$$

Запишемо значення виразу (2.50) з врахуванням виразів (2.3), (2.4) та (2.58) матимемо:

$$x_k = \frac{0,11h + 10}{2} + htg\alpha + r_H \arctg \frac{\alpha}{2}. \quad (2.59)$$

Після цього визначимо значення  $x_2$  враховуючи вираз (2.59):

$$x_2 = \frac{0,11h + 10}{2} + htg\alpha + r_H \arctg \frac{\alpha}{2} + \sqrt{l_k^2 - (d - r_H)^2}. \quad (2.60)$$

Тоді з використанням виразів (2.48), (2.59) та (2.60) запишемо значення виразу (2.44):

$$t_d = \left( \frac{10\pi}{\omega} \right) \left[ \frac{0,11h + 10}{2} + htg\alpha + r_H \arctg \frac{\alpha}{2} + \sqrt{l_k^2 - (d - r_H)^2} - d_1 + (h - h_{зр})tg\alpha + \sqrt{l_k^2 - (d - h_{зр} + r_H)^2} \right]. \quad (2.61)$$

Для дослідження вибраний випадок максимально виступаючого коренеплоду  $h = 0,08$  м у якого висота в зрізаному стані буде становити  $h_{зр} = 0,06$  м.

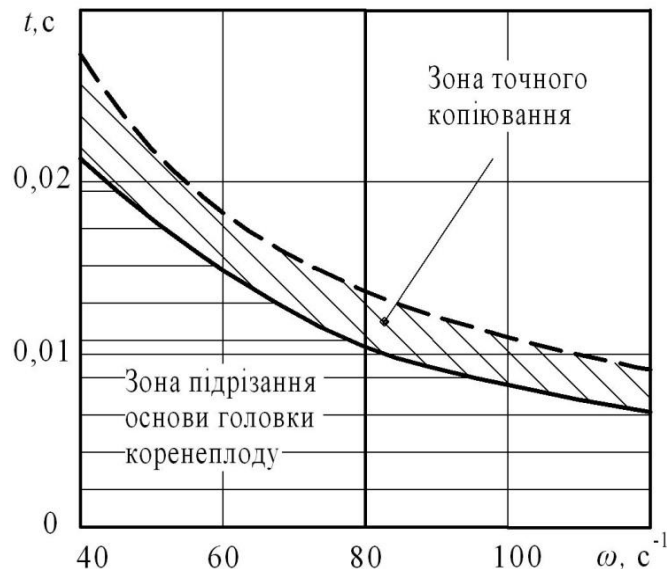


Рис. 2.13. Залежність часу відновлення робочим органом вихідного положення від кутової швидкості ротора:

(—) час розрахований теоретично;

(- -) необхідний час.

З графіків рис. 2.13 зробимо висновок про те, що розрахунковий час відновлення вихідного положення реального робочого органу  $t_v$  дещо менший від необхідного, але слід зауважити, що ця різниця досить мала і складає 0,006 с. За даний час робочий орган змінює своє положення по куту відхилення робочих елементів менше 1 (рис. 2.13), що є допустимим і значних пошкоджень основи головки коренеплоду не буде. Таким чином встановлено, що робочий орган забезпечує точність копіювання зі швидкістю поступального руху  $V = 1,3 \dots 3,8 \text{ м/с}$ .

## 2.2. Висновки до розділу

1. Встановлено, що запропонована конструкційна схема копірно-роторного відокремлювача гички цукрових буряків забезпечує точність копіювання головок коренеплодів при швидкості поступального руху робочого органу  $V = 1,3 \dots 3,8 \text{ м/с}$  і відповідній кутовій швидкості обертання ротора  $\omega = 40 \dots 120 \text{ с}^{-1}$ .

2. Визначений час відновлення робочим органом вихідного положення, що змінюються в межах  $0,01 \dots 0,03 \text{ с}$ , що забезпечує відновлення вихідного положення при сході його з високовиступаючого коренеплоду до взаємодії з наступним розташованим поряд низьковиступаючим коренеплодом.

3. Виявлено можливість підрізання бокової поверхні коренеплоду, але встановлено, що глибина пошкоджень у цьому випадку не спричиняє сильних механічних пошкоджень коренеплоду.

### **3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1. Програма експериментальних досліджень**

Відповідно до поставленої мети та наукових завдань магістерської роботи, а також для перевірки отриманих теоретичних моделей процесу відокремлення гички розроблена програма проведення експериментальних досліджень, якою передбачалося:

- розробити конструкцію установки та розробити методику проведення лабораторних експериментальних досліджень;
- провести лабораторні експериментальні дослідження для визначення впливу конструктивних, кінематичних та технологічних параметрів робочого органа на показники якості процесу відокремлення гички;
- розробити конструкцію польової установки та методику проведення польових досліджень;
- провести експериментальні польові дослідження.

#### **3.2. Методика та обладнання лабораторних досліджень**

Для розробки методики лабораторних досліджень та конструкції установки необхідно:

- спроектувати і виготовити лабораторну установку з моделюванням вхідних параметрів експериментальних досліджень, в якій необхідно передбачити зміну конструктивних параметрів та режимів роботи відокремлювача гички та можливість використання натуральних коренеплодів;
- визначити агрофізичні параметри коренеплодів та посівів, що моделюються в лабораторних умовах;
- розробити методику проведення, визначення та аналізу показників експериментальних досліджень.

### 3.2.1. Конструкція лабораторної установки та методика моделювання вхідних параметрів експериментальних досліджень.

Нами розроблено та виготовлену лабораторну установку (рис. 3.1-3.2), де передбачено можливість моделювання режимів роботи і конструкційно-технологічних параметрів робочих органів а також агрофізичних характеристик посівів та параметрів коренеплоду.

Лабораторна установка для дослідження гичковидаляючих робочих органів складається з основної рами 1 (рис. 3.1), електродвигуна 3, клинопасової передачі 4, ланцюгово-планчатого варіатора 5, поворотного пристрою 6, конічного редуктора 7 та закріпленого на його валу робочого органу 8, рами “рухомого поля” 9 (рис. 3.4), механізму приводу рамки “рухомого поля” 10, рамки рухомого поля 11, коренеплоду 12, стійок 13. Механізм приводу рамки “рухомого поля” складається з рами електродвигуна та барабана для намотування троса, що з’єднаний з рамкою 11.

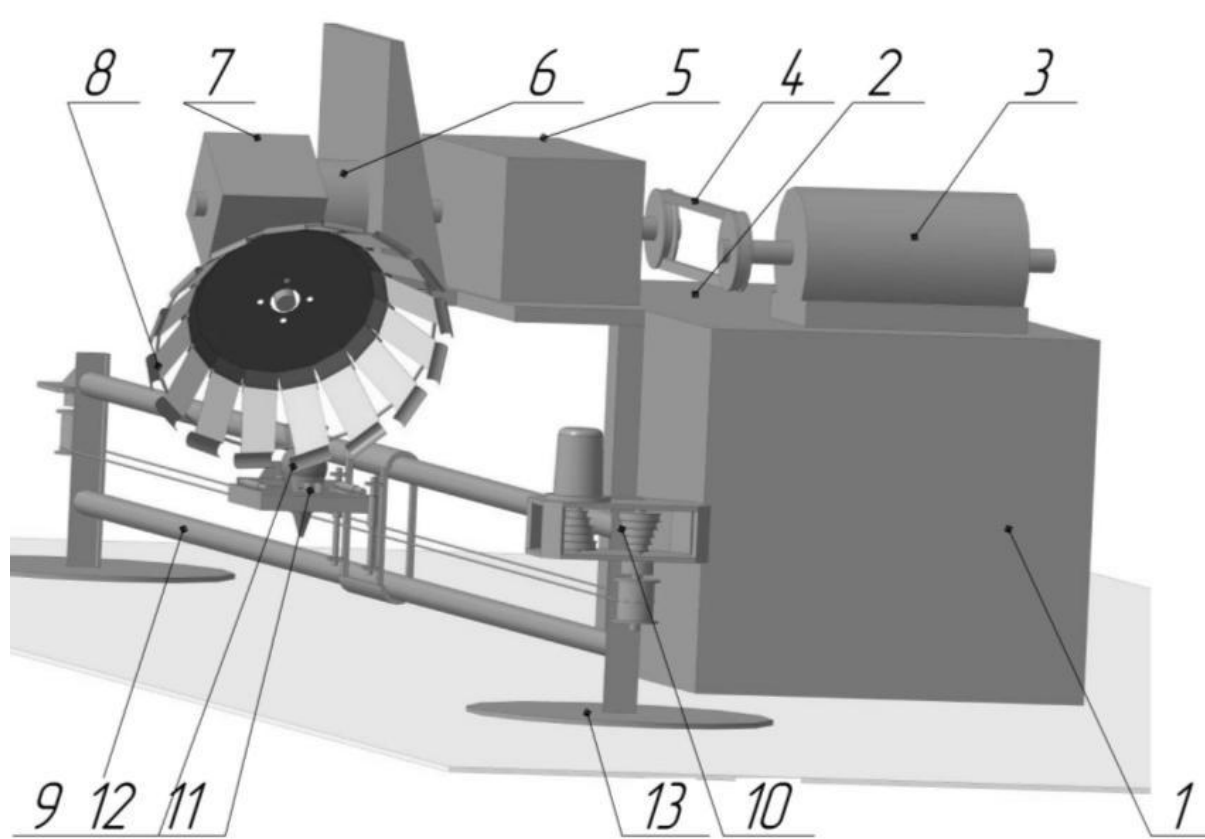


Рис. 3.1. Конструкційна схема лабораторної установки.





Рис. 3.2. Загальний вигляд лабораторної установки.

Особливістю конструкції є можливість зміни наступних параметрів (рис.3.3): частоти обертання ротора  $\omega$ , швидкості поступального переміщення коренеплоду  $V$ , кута нахилу ротора до горизонту  $\beta$ , кута атаки ротора  $\alpha$ , відстані між коренеплодами в рядку  $S$ , відхилення коренеплоду від умовної осьової лінії рядка  $\delta$ , висоти виступання головки коренеплоду над умовною поверхнею ґрунту  $h$  та ін. Схема керування двигуном 3 передбачає реверсивний режим руху. Керування приводами ротора з робочими органами та “рухомого поля” здійснюється з ящика управління.

Рамка рухомого поля складається з направляючої частини 1 та тримача коренеплоду 2. Направляюча частина служить для переміщення коренеплоду вздовж рами “рухомого поля” та переміщення його у вертикальному напрямі. Тримач коренеплоду фіксує коренеплід у рамці “рухомого поля”.

Поступальна швидкість робочого органу визначалась наступним чином.

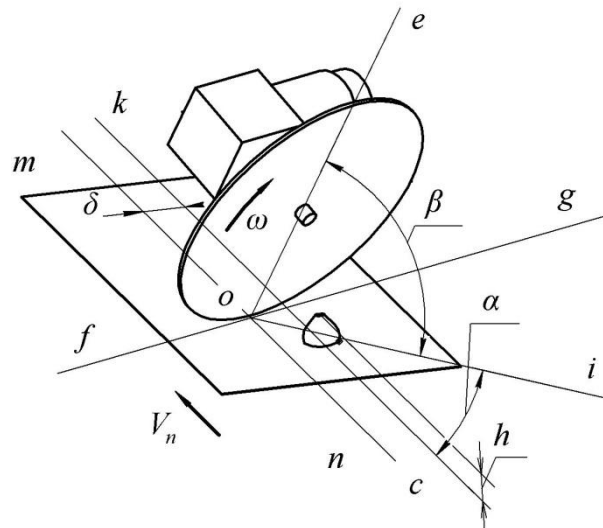
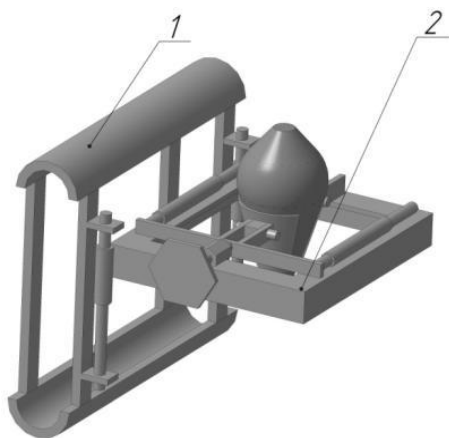


Рис. 3.3. Схема визначення вхідних параметрів процесу взаємодії робочих органів з коренеплодом.

На рамку “рухомого поля” (рис. 3.4), біля зони робочого органу, наносилась спеціальна шкала, а на рамку “рухомого поля” - показчик. При включенні приводу рухомого поля починалась швидкісна відеозйомка процесу цифровим фотоапаратом Casio Exilim EX-FH20. За допомогою покадрового перегляду відеоматеріалу фіксувалось положення показчика на шкалі, що відповідало початку і кінцю взаємодії робочого органу з коренеплодом, а потім визначалось переміщення.



а



б

Рис. 3.4. Кріплення коренеплоду у рамці “рухомого поля”:

а) схема пристрою; б) загальний вигляд рамки “рухомого поля” із закріпленим коренеплодом.

У лабораторних умовах моделювались наступні агрофізичні характеристики посіву: висоту виступання головки коренеплоду над рівнем ґрунту, відхилення коренеплоду від умовної осьової лінії рядка, відстань між коренеплодами в рядку. Проведення експериментальних досліджень планувалось з використанням натуральних коренеплодів, різних за агрофізичними параметрами. Основні розмірні характеристики коренеплоду визначаються згідно рис. 3.5.

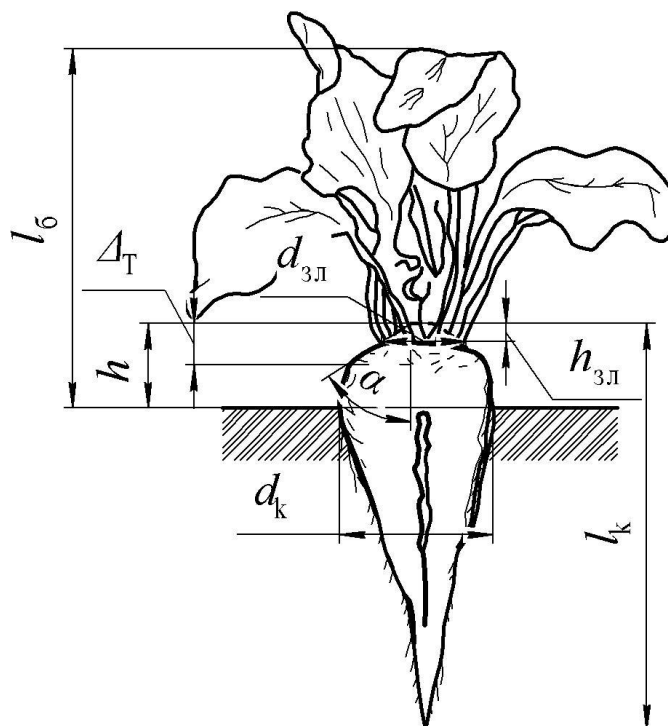


Рис. 3.5. Геометричні параметри коренеплоду цукрових буряків :

$l_6$  - висота гички;  $d_{3Л}$  - діаметр пучка гички;  $h$  - висота виступання головки коренеплоду над рівнем ґрунту;  $h_{3Л}$  - товщина зони зелених листків;  $\Delta_m$  - товщина зони сплячих вічок;  $d_k$  - максимальний діаметр коренеплоду;  $l_k$  - технічна довжина коренеплоду;  $\alpha$  - половина кут конусності головки коренеплоду.

Проведення досліджень за допомогою лабораторної установки здійснювалось наступним чином. Коренеплід вибирався за необхідною висотою виступання над рівнем ґрунту, закріплювався затискачами на відповідній висоті в рухомій рамці, що знаходилась у вихідному положенні на рамі 12 (рис. 3.1).

Встановлювались відхилення коренеплоду від осьової лінії рядка, величина вертикального зазору, частота обертання та поступальна швидкість руху коренеплоду. Відповідна комбінація факторів досліду заносились у журнал проведення експериментів (додаток В). Вмикалась освітлювальна апаратура. Вмикався привід робочих органів. Після цього вмикався привід «рухомого поля». Вимикання приводу рухомого поля і робочих органів відбувалося автоматично за допомогою кінцевого вимикача.

Дані вимірювань безпосередньо заносились в комп'ютер у журнал проведення досліджень, де автоматично проводився розрахунок всіх показників. При цьому контролювалось значення показника точності досліду при входженні його в діапазон від 1 до 5%.

За аналізом цілої групи показників визначалась раціональні значення параметрів або встановлювалась причина їх відхилень від нормативних та робились висновки про можливі шляхи удосконалення робочих органів та процесу.

### **3.2.2. Методика лабораторних досліджень.**

Для проведення лабораторних досліджень процесу відокремлення гички проводимо відбір факторів, врахувавши наступні вимоги: незалежність факторів один від одного; фактори повинні допускати можливість їх поєднання для дослідження їх взаємного впливу; керованість факторів протягом всього періоду досліду; кожен фактор повинен безпосередньо впливати на параметр оптимізації; для фіксації та зміни значень факторів вони повинні допускати можливість їх точних вимірювань, а також мати стабільні значення на певних інтервалах варіювання.

Для перевірки теоретичної моделі відхилення площини зрізу від горизонтального положення будемо вивчати вплив на процес відокремлення гички таких факторів як відхилення від умовної осьової лінії рядка  $\delta$ , поступальна швидкість машини  $V$  та висота виступання головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту  $h$ . Для перевірки теоретичних моделей втрат

цукронової маси, залишків гички, пошкоджень головок коренеплодів будемо вивчати вплив таких факторів як величина вертикального зазору  $a$ , поступальна швидкість машини  $V$  та висота виступання головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту  $h$ .

Поставленим завданням лабораторних досліджень та вибраному числу факторів може задовольнити центральна-композиційна план-матриця (Додаток Б). Дану план-матрицю використовуємо для перевірки математичних моделей втрат цукронової маси, залишків гички, відхилення площини зрізу від горизонтальності та висоти зрізу головок коренеплодів.

Оскільки, одним із завдань досліджень є збільшення поступальної швидкості  $V$ , вибираємо межі варіювання поступальної швидкості в межах від 1,6 до 2,4 м/с. Конструкція лабораторної установки дозволяє досліджувати даний параметр у цьому діапазоні. Висота виступання головок коренеплодів  $h$  може варіювати в межах 0...90 мм. При відокремленні гички з головок коренеплодів цукрових буряків ротор розташовується на мінімально можливій висоті відносно поверхні ґрунту. При експериментальній перевірці роботоздатності конструкції встановлено можливі межі зміни відхилення коренеплоду від умовної осьової лінії рядка - від 0,04 до 0,08 м.

Таким чином, для перевірки теоретичної моделі відхилення площини зрізу від горизонтального положення приймаємо наступні рівні варіювання факторів:  $X_1$  - швидкість руху машини,  $X_1 = 1,6...2,4$  м/с;  $X_2$  - відхилення від умовної осьової лінії рядка,  $X_2 = -0,04...0,08$  м;  $X_3$  - висота виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту,  $X_3 = 0...0,09$  м.

При перевірці теоретичних моделей втрат цукронової маси, залишків гички, пошкоджень головок коренеплодів рівні варіювання факторів визначається так:  $X_1$  - швидкість руху машини,  $X_1 = 1,6...2,4$  м/с;  $X_2$  - величина вертикального зазору,  $X_2 = 0,01...0,04$  м;  $X_3$  - висота виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту,  $X_3 = 0...0,09$  м.

Для проведення дослідів згідно вибраного плану-матриці визначимо кодовані значення факторів на всіх рівнях варіювання [1].

Визначимо допустимі величини похибок вимірювань при яких відкидається його результат [1]. Для подальшої обробки експериментальних даних необхідно перевірити однорідність дисперсій за критерієм Кохрена.

Для кожної точки плану проводилась перевірка гіпотези про відтворюваність досліджень. Задавшись необхідним рівнем значущості, визначивши число ступенів свободи знаходилося табличне значення критерію Кохрена. Після чого визначене значення порівнювалось з табличним на виконання умови  $G < G_{табл.}$ . При виконанні умови робився висновок про однорідність дисперсій.

Отримані результати розрахунків зводили у журналі планування експерименту, наведеному у додатках Г.

Для опису функцій відгуку емпіричних моделей параметрів оптимізації вибрана апроксимуюча модель повного квадратичного полінома [1]

Для отримання емпіричної математичної моделі визначимо коефіцієнти апроксимуючого полінома [1]

Для перевірки значимості коефіцієнтів рівняння регресії  $b_i$  за  $t$  - критерієм Стьюдента використали наступний алгоритм [1]:

- визначили дисперсію параметра оптимізації;
- визначили в усіх точках плану-матриці дисперсію помилки визначення коефіцієнта регресії;
- визначили середньоквадратичне відхилення дисперсії похибки визначення коефіцієнта регресії;
- визначили  $t$ -критерій Стьюдента;
- визначили число ступенів свободи.

При невиконанні умови значимості коефіцієнтів коефіцієнт  $b_i$  рівняння регресії приймався рівним нулю, а відповідний член рівняння регресії виключався.

Для перевірки адекватності отриманої емпіричної моделі спочатку визначали дисперсію адекватності [1]. Адекватність моделі перевіряється за критерієм Фішера: визначали табличне значення критерію Фішера  $F_T$  за заданим рівнем значимості  $\alpha$  і двома ступенями відповідності [1].

Отримане значення  $F_p$  порівнювали з табличним  $F_T$ . Якщо умова виконувалась, тобто розрахункове значення  $F_p$  - критерію Фішера менше табличного  $F_T$  при 5% - му рівні значимості, числі ступенів вільності дисперсії адекватності та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності, то рівняння регресії адекватне експериментальним даним.

### 3.3. Методика та обладнання польових досліджень

#### 3.3.1. Обґрунтування конструкції польової установки.

Нами розроблено та виготовлено польову установку (рис. 3.6, 3.7), де передбачено можливість зміни режимів роботи та конструкційно-технологічних параметрів робочого органу.

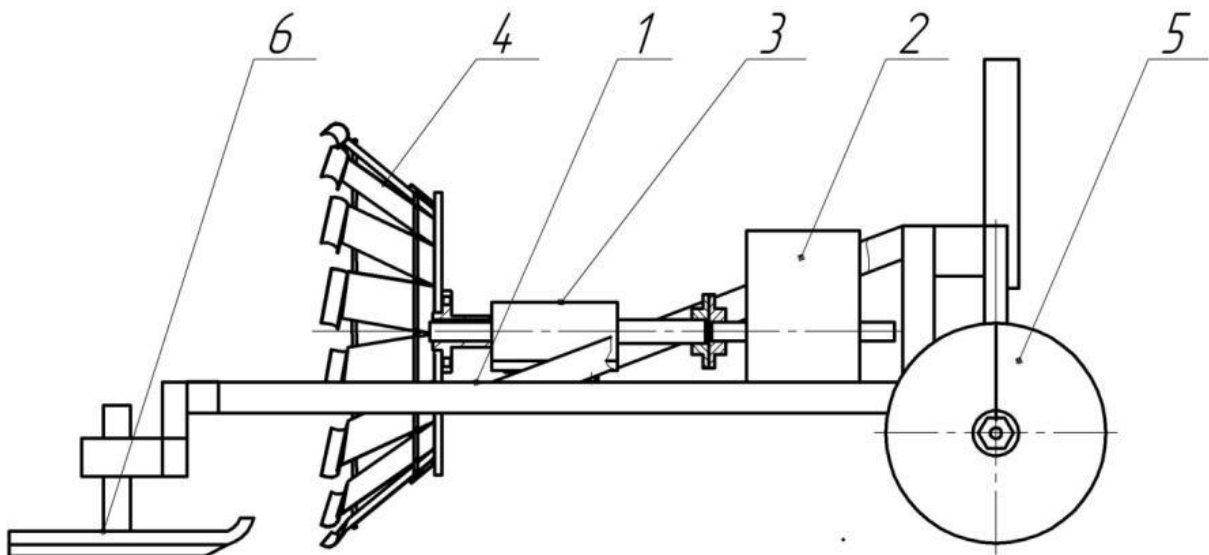


Рис. 3.6 Компонувальна схема польової установки для відокремлення гички.

Польова установка для дослідження гичковидаляючих робочих органів (рис. 3.6) складається з основної рами 1, ланцюгово-планчатого варіатора 2, проміжної опори приводу 3, робочого органу 4 та копірив ведення по рядках коренеплодів 6. Польова установка агрегатується з тракторами вал відбору потужності яких обертається з частотою  $548 \text{ хв}^{-1}$ . Зміна частоти обертання ротора проводиться з допомогою ланцюгово-планчатого варіатора 2. Швидкість

поступального руху змінюється шляхом підбору відповідних передач трактора. Зміщення робочого органу відносно умовної осьової лінії рядка здійснюється за допомогою пересування кронштейнів копирів 6 відносно осі симетрії установки в повздовжньому напрямі.



Рис. 3.7. Загальний вигляд польової установки для відокремлення гички.

### 3.3.2. Вибір факторів та плану польового експерименту.

При проведенні польових досліджень визначали залишки гички  $G$  (%), пошкодження коренеплодів  $P$  (%), вибивання коренеплодів з ґрунту  $V$  (%), кількість косообрізаних коренеплодів  $H$  (%) залежно від швидкості руху очисника  $V_n$  та вертикального зазору  $a$ . У зв'язку з тим, що конструкційне виконання робочого органу не дозволяє визначити прямо втрати цукроносної маси, проводимо додатково оцінку показників якості технологічного процесу після проходження робочого органу за Євростандартом. При цьому, враховуючи результати теоретичних та лабораторних досліджень, кількість робочих елементів на роторі дорівнювала 16.

Відповідно до кількості факторів та з врахуванням умов досліджень нами прийнято ПФЕ  $3^2$  - двофакторний експеримент на трьох рівнях варіювання. Перехід від натуральних значень до кодованих проводили відповідно до залежності (3.1). Результати кодування вхідних факторів представлені в



таблиці 3.1. Для отримання необхідної точності результатів дослідів та враховуючи умови досліджень нами вибрана трикратна повторність. Результати досліджень заносили в додаток Г. Вибір необхідної кількості паралельних дослідів, перевірку однорідності дисперсій за критерієм Кохрена, перевірку значимості коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Стюдента, перевірку гіпотези адекватності моделі за критерієм Фішера проводили за допомогою методики пункту 3.2.

Таблиця 3.1

### Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтервал варіюв.	Рівні варіювання: натур./кодовані		
	Натур.	Код.				
Початковий вертикальний зазор, $a$ , хв <sup>-1</sup>	X1	$x_1$	0,015	0,04/+1	0,025/0	0,01/-1
Робоча швидкість руху, $V_p$ , м/с	X2	$x_2$	0,4	2,2/+1	1,8/0	1,4/-1

При відборі проб та визначенні показників якості керувались методикою [38]. При проведенні польових досліджень визначались: час проходження агрегатом залікової ділянки; маса гички у воросі коренеплодів; маса коренеплодів, вибитих робочими органами; маса коренеплодів з сильно пошкодженими головками. Для визначення якості очищення коренеплодів від гички користувались залежністю:

$$W = \frac{m}{m_k} 100\%, \quad (3.1)$$

де  $m$  - маса гички у воросі коренеплодів;

$m_k$  - маса коренеплодів у пробі.

Показник вибивання коренеплодів визначали за залежністю

$$Z = \frac{m_z}{m_k} 100\%, \quad (3.2)$$

де  $m_z$  - маса вибитих коренеплодів.

Таблиця 3.2.

Матриця планування експерименту  $3^2$  в кодованих значеннях

№ точки плану	Порядок реалізації дослідів			Фактори процесу					
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$
1	1	1	7	1	-1	-1	1	0,33	0,33
2	3	6	3	1	1	-1	-1	0,33	0,33
3	7	5	9	1	-1	1	-1	0,33	0,33
4	2	9	2	1	1	1	1	0,33	0,33
5	8	8	1	1	-1	0	0	0,33	-0,67
6	6	2	8	1	1	0	0	0,33	-0,67
7	5	7	6	1	0	-1	0	-0,67	0,33
8	4	4	5	1	0	1	0	-0,67	0,33
9	9	3	4	1	0	0	0	-0,67	-0,67

Показник пошкодження коренеплодів визначався за залежністю:

$$V_k = \frac{m_{\Pi}}{m_k} 100\%, \quad (3.3)$$

де  $m_{\Pi}$  - маса пошкоджених коренеплодів.

Отримані результати розрахунків зводили у журнал планування експериментальних досліджень (Додаток Г). Для побудови поверхонь відгуку та ліній однакового рівня використовували пакет стандартних програм для ПК „Matlab 6.0”. Емпіричну математичну модель представляли у вигляді повного полінома другого ступеня [1]:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (3.4)$$

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

$x_1, x_2$  - кодовані фактори.

### **3.3.3. Методика проведення польових експериментальних досліджень.**

При розробленні методики проведення польових експериментальних досліджень використаємо попередні дослідження [21] та загальноприйняті методики [38].

Агротехнічна характеристика посіву, ґрунту та поля, згідно методики, розробленої в Інституті цукрових буряків УААН [38], визначається наступними показниками: відхиленням коренеплодів від осі рядка, розподілом головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту, фактичною шириною основних і стикових міжрядь, відстанню між коренеплодами в рядках, густиною посіву, висотою масиву та формою гички, геометричними розмірами та формою коренеплодів, біологічною врожайністю коренеплодів та гички, типом ґрунту та його характеристиками (вологістю, твердістю), рельєфом поля, забур'яненістю ділянки. Досліди проводились на ділянці поля посіву коренеплодів гібриду “Настя” фірми КВС.

Якість роботи робочого органу оцінювалась за наявністю гички у воросі коренеплодів після коренезбиральної машини, пошкодженнями коренеплодів і їх вибиванням робочими органами очисника з ґрунту та відхиленням площини зрізу від горизонтальності.

Для експериментальних досліджень готували ділянку довжиною 40 м і шириною у три рядки, що відповідає числу повторностей дослідів. Початкова смуга ділянки протяжністю 10 м відводилась для розгону агрегату, а наступних 30 м було заліковою ділянкою. Кількість ділянок визначалась згідно плану-матриці проведення лабораторно-польових експериментальних досліджень.

Розгін і введення копирів в рядок - виконувався на початковій ділянці довжиною 10 м. Початок руху налаштованою установкою виконувався на зменшеній швидкості, достатній для стабільного ведення агрегату оператором трактора. Перед проходженням дослідної ділянки на її початку встановлювались розміточні таблички із надписом відповідної комбінації факторів. Так як конструкція робочого органу запропонована вперше, то для

вивчення можливості застосування його в загальній технологічній схемі збирання коренеплодів цукрових буряків під час проведення досліду рух агрегату і процес відокремлення гички фіксувався на відео. Після проходження кожної дослідної ділянки на фото фіксувався її загальний стан та проводилась оцінка наявності гички в зоні міжрядь і коренеплодів, а також ступеня її подрібнення. Усі показники проведення дослідів заносились у таблиці 3.3 і 3.4. Для оцінки показників процесу відокремлення гички міжряддя очищались від вільної гички і фіксувався на фото стан коренеплодів на ділянці зі зв'язаною гичкою. Фіксувалася також кількість пошкоджених та вибитих коренеплодів, стан поверхні зрізу та загальна кількість коренеплодів. Для оцінки якості копіювання фіксувались на фото випадки відокремлення гички на різновисоких близькорозташованих коренеплодах.



### 3.4. Висновки до розділу

1. Для проведення лабораторних експериментальних досліджень розроблено методику та лабораторну установку для дослідження процесу відокремлення гички, що дозволяє:

- моделювати в широкому діапазоні параметри робочого органу, характеристики поля та застосовувати для досліджень реальні коренеплоди;

- вивчати вплив окремих факторів, дослідження яких неможливе в польових умовах;

- виконати великий обсяг експериментальних досліджень при значному зменшенні трудомісткості, затрат праці і коштів.

2. Розроблено польову експериментальну установку та методику проведення польових експериментальних досліджень запропонованого робочого органу.

3. На основі існуючих методик планування експерименту розроблено план-матриці досліджень, наведено послідовність обробки отриманих експериментальних даних з перевіркою відтворюваності за критерієм Кохрена, адекватності – за критерієм Фішера, а значущості коефіцієнтів регресії – за критерієм Стьюдента.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Лабораторні експериментальні дослідження

У результаті попереднього аналізу факторів, що впливають на процес відокремлення гички, були визначені основні фактори та обґрунтовані інтервали їх варіювання.

Фіксування всіх результатів дослідів проводилось у зведеному журналі лабораторних випробувань, який наведений у додатку Г.

Наведемо послідовність обробки результатів експериментальних досліджень на прикладі визначення залишків гички на коренеплодах. Для перевірки відтворюваності результатів досліджень проведена перевірка на однорідність дисперсій, яка є достатньою умовою для проведення подальшого аналізу. Для перевірки цієї умови використано критерій Кохрена. Порядок проведення перевірки наведений в розділі 3.

Визначено середнє значення показника  $\bar{y}$ . Відхилення значень кожного з показників дослідів від середнього значення визначене із залежності:

$$\Delta y_z = y_z - \bar{y}_z. \quad (4.1)$$

Дисперсія відтворюваності визначена із виразу (3.4). Результати розрахунку наведені в таблиці 4.1.

Критерій Кохрена визначений за залежністю (3.3):

$$G = \frac{0,040}{0,007} = 0,186. \quad (4.2)$$

Для визначення табличного значення критерію Кохрена визначене число ступенів вільності. Число ступенів вільності:

$$V_1 = m - 1 = 5 - 1 = 4. \quad (4.3)$$

Число ступенів вільності дослідів:

$$V_2 = N = 15. \quad (4.4)$$

Табличне значення критерію Кохрена для даних умов становить 0,242. Так, як  $G < G_{кр}$  умова про однорідність дисперсій виконується.

**Результати розрахунку дисперсій, що обумовлені похибками дослідів при визначенні якості відокремлення гички в лабораторних умовах**

$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$\bar{Y}$	$S_y^2$
15,27	15,16	15,21	15,17	15,11	15,184	0,0035
12,17	12,09	12,09	12,06	12,09	12,100	0,00191
24,73	24,49	24,56	24,59	24,60	24,596	0,00735
21,14	20,94	20,99	21,09	20,96	21,025	0,00746
0,94	0,93	0,91	0,93	0,93	0,927	9,5E-05
0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,343	2,1E-06
2,90	2,88	2,87	2,88	2,88	2,883	9,1E-05
1,81	1,80	1,81	1,80	1,80	1,804	3,6E-05
6,17	6,14	6,15	6,15	6,13	6,148	0,00031
3,64	3,60	3,63	3,62	3,62	3,621	0,00017
3,08	3,06	3,07	3,07	3,07	3,071	9,3E-05
9,73	9,64	9,65	9,63	9,63	9,657	0,00154
23,12	23,07	23,01	23,00	22,97	23,034	0,00393
2,68	2,65	2,65	2,66	2,66	2,661	0,00011
6,29	6,26	6,23	6,26	6,26	6,259	0,00037

Так як умова однорідності дисперсій підтверджена, є можливість проведення подальшого аналізу дослідних даних.

Для інтерпретації результатів дослідів використаний регресійний аналіз та отримані емпіричні математичні моделі процесу відокремлення гички. Зокрема, в результаті проведеного регресійного аналізу було отримано наступні апроксимуючі квадратичні форми, що визначають залежності від факторів  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  залишків гички на головках коренеплодів  $G$ , втрат цукроносної маси  $B$ , відхилення площини зрізу від горизонтальності  $H$ , та товщини зрізу  $H_z$ , в кодованому вигляді:



$$G = 6,23 - 1,04X_1 + 2,72X_2 - 8,37X_3 - 0,12X_1X_2 + 0,62X_1X_3 - 1,87X_2X_3 - 0,93X_1^2 + 0,07X_2^2 + 4,46X_3^2, \quad (4.5)$$

$$B = 2,725 + 0,246X_1 - 0,475X_2 + 1,645X_3 + 0,203X_1X_3 - 0,366X_2X_3 - 0,275X_1^2 - 0,627X_2^2, \quad (4.6)$$

$$H = X_2 + 2,586X_3 + 0,405X_1X_2 - 0,340X_2X_3 + 1,340X_1^2 + 1,233X_2^2 - 4,523X_3^2, \quad (4.7)$$

$$H_z = 13,62 + 4,24X_1 - 4,98X_2 + 13,01X_3 + 1,78X_1X_3 - 1,92X_2X_3 + 0,41X_2^2 - 2,55X_3^2. \quad (4.8)$$

Для визначення дійсних значень незалежних факторів використаємо наступні залежності:

$$x_1 = \frac{V - 2}{0,4}; \quad x_2 = \frac{\delta - 40}{40}; \quad x_3 = \frac{h - 50}{40}; \quad (4.9)$$

де  $V$  - швидкість руху машини, м/с;

$\delta$  - відхилення від умовної осьової лінії рядка, мм;

$h$  - висота виступання головок коренеплодів, мм.

Розкодовані регресійні залежності мають наступний вигляд:

$$G = -0,0116\delta h + 0,08\delta V + 1,06\delta + 0,0279h^2 + 0,387hV - 5,195h - 60V^2 + 191,18V + 45,26, \quad (4.10)$$

$$B = -6,94 + 0,03\delta + 0,03h + 0,013hV - 1,75V^2, \quad (4.11)$$

$$H = 21,1 + 24,8V + 8,38V^2 + 0,245h + 0,026hV + 0,0028h^2 - 0,08\delta, \quad (4.12)$$

$$H_z = -10,64 + 6,05V - 0,01\delta + 0,28h + 0,11hV - 0,001V\delta - 0,003\delta h - 0,002h^2. \quad (4.13)$$

Розгорнуті результати регресійного аналізу та перевірки адекватності емпіричних моделей, які отримані за допомогою прикладних програм на ПК наведені в додатку Б.

Статистичну значимість коефіцієнтів  $b_i$  отриманих рівнянь регресії проводили у відповідності до залежностей (3.8 - 3.13). Згідно розрахунку всі коефіцієнти значимі, крім коефіцієнта  $b_{33}$  у рівнянні регресії відхилення площини зрізу від горизонтальності, який є не значимим.

Адекватність апроксимуючої квадратичної залежності експериментальним даним визначено за критерієм Фішера. У результаті співставлення табличних значень критерію Фішера з розрахунковими всі регресійні моделі виявились адекватними.

Проведемо аналіз емпіричних моделей процесу відокремлення гички в наступному порядку:

- побудуємо графічну інтерпретацію емпіричних моделей у вигляді графіків поверхонь відгуку та графіками ліній однакового рівня;
- визначимо ступінь впливу та ефекти взаємного впливу на показники якості виконання процесу досліджуваних факторів;
- визначимо шляхи підвищення швидкості в контексті кожного показника якості виконання процесу відокремлення гички;
- визначимо значення параметрів процесу при яких можливе суттєве збільшення швидкості процесу відокремлення гички та підвищення його показників якості.

На початковому етапі в лабораторних умовах проводилась перевірка функціональної придатності відокремлювача гички та первинна оцінка правильності теоретичного обґрунтування основних конструкційних параметрів. При проведенні первинних досліджень фіксувались параметри поступальної швидкості  $V = 2$  м/с, вертикального зазору  $a = 25$  мм і висоти виступання  $h = 60$  мм. Відхилення робочого органу від умовної осі рядка  $\delta$  змінювались в межах від -80 мм до +80 мм від середнього положення. Оцінка якості роботи проводилась візуально шляхом безпосереднього спостереження

процесу та за допомогою швидкісного відео. Унаслідок спостережень виявлено наступне:

- стабільний контакт системи робочих елементів у всіх фазах взаємодії з головкою коренеплоду;
- відновлення початкового положення відокремлювачем гички за час достатній для якісного копіювання головок коренеплодів в рядку;
- поверхня зрізу, утворена ріжучою частиною, рівна, без сколів і пошкоджень;
- відсутність пошкоджень на інших поверхнях коренеплодів;
- відсутність підрізання основи головки коренеплоду ріжучою частиною.

Дані показники попередньо засвідчили функціональну придатність робочого органу, правильність теоретичного обґрунтування основних конструкційно-технологічних параметрів та необхідність проведення подальших досліджень з метою визначення раціональних параметрів процесу та робочого органу. Але слід відмітити значне відхилення площини зрізу від горизонтального положення при окремих значеннях  $\delta$ , що вимагає окремого дослідження впливу даного параметра на процес відокремлення гички.

За результатами лабораторних досліджень отримано регресійні залежності показників якості процесу від поступальної швидкості  $V$ , вертикального зазору  $a$ , висоти виступання головок коренеплодів  $h$ , відхилення робочого органу від умовної осі рядка  $\delta$ .

Виявлено, що всі фактори впливають на появу косоного зрізу. За результатами досліджень побудовано поверхню відгуку відхилення площини зрізу від горизонтального положення (рис. 4.1) при поступальній швидкості 1,8 м/с. Аналізуючи поверхню відгуку, видно чітко виражений мінімум функції при певних значеннях зміщення  $\delta$ . Так як одним із завдань роботи є підвищення продуктивності процесу відокремлення гички, то проведемо аналіз функції відгуку за допомогою двомірних перетинів в області підвищених швидкостей при  $V = 1,8 \dots 2,2$  м/с (рис 4.1 б, в, г). Із збільшенням фактора висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту зростають відхилення площини зрізу

від горизонтального положення та втрати цукроносної маси, а залишки гички на коренеплодах зменшуються. Відхилення площини зрізу не перевищує агротехнічних вимог для низьковиступаючих коренеплодів, для коренеплодів середнього діапазону висот виступання відхилення площини зрізу збільшуються понад рівень агротехнічних вимог, але враховуючи випадковий характер розподілення цукроносних мас відносно поверхні ґрунту в польових умовах слід очікувати значно менших усереднених значень даного показника.

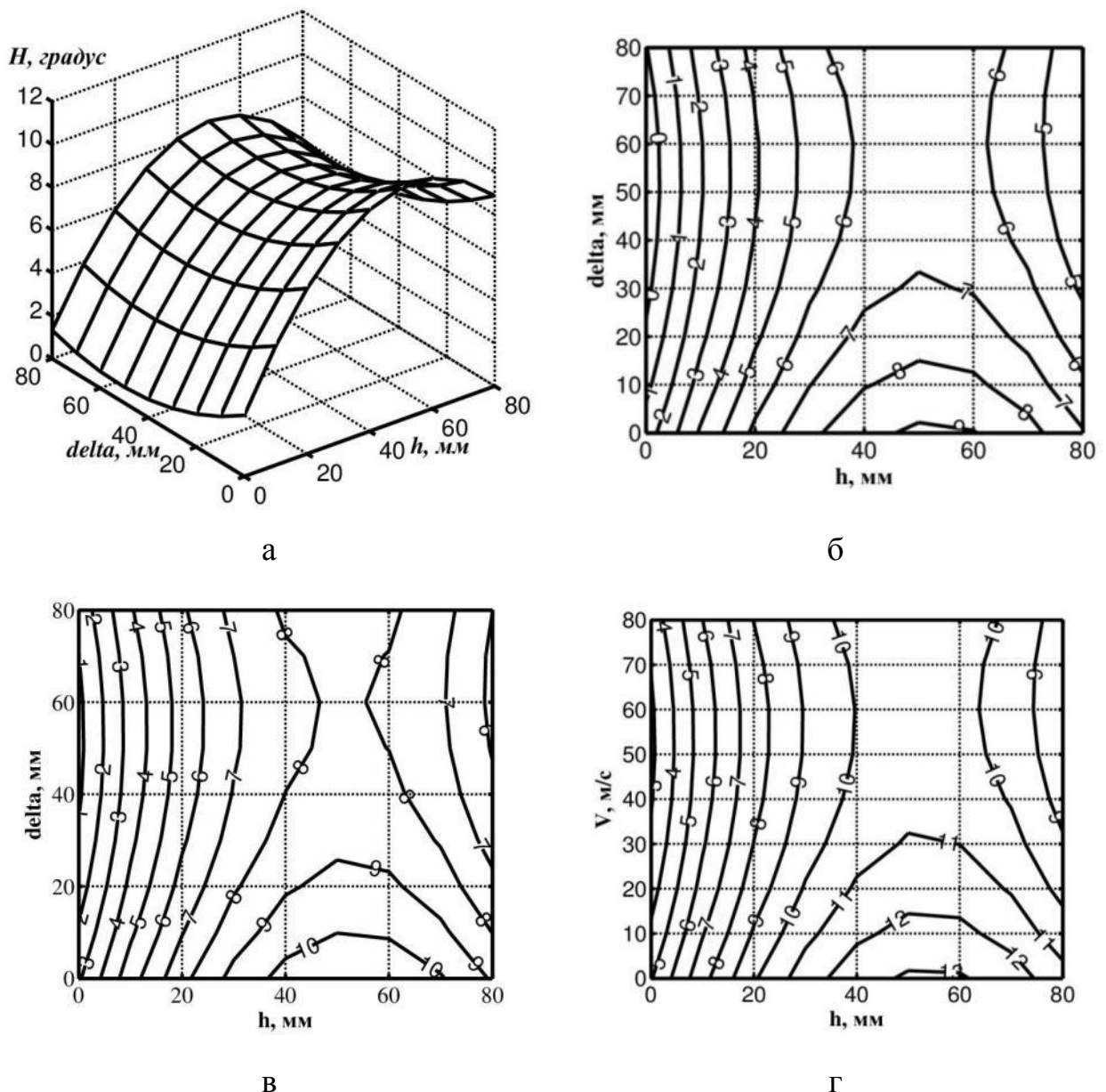


Рис. 4.1. Відхилення площини зрізу від горизонтального положення:

а - поверхня відгуку; б, в, г - двомірні перетини поверхонь відгуку з поступальними швидкостями відповідно 1,8 м/с, 2,0 м/с, 2,2 м/с.

Отже, при поступальних швидкостях менших ніж 2 м/с можливі значення  $\delta$ , при яких коренеплоди всього діапазону висот виступання будуть нормально зрізані -  $H < 10^\circ$ . Мінімальні відхилення площини зрізу при поступальній швидкості робочого органу близько 2 м/с будуть в діапазоні  $\delta = 50...60$  мм. Допустимі відхилення площини зрізу будуть при  $\delta > 30$  мм. Очевидно, що подальше збільшення відхилення робочого органу від осі рядка приведе до збільшення залишків гички на низько розташованих головках коренеплодів (рис. 4.2).

Втрати цукроносної маси при  $\delta = 20...50$  мм збільшуються, що свідчить про активізацію процесу відокремлення гички (рис. 4.3). При зрізі гички за межами даного діапазону втрати цукроносної маси зменшуються, але це пояснюється появою косих зрів головок коренеплодів. Отже, з врахуванням вищевикладеного, раціональним діапазоном зміщення осі ротора від умовної осі рядка можна вважати  $\delta = 30...50$  мм.

При лабораторних дослідженнях процесу взаємодії робочого органу і головок коренеплодів різних висот виступання нами виявлено відхилення фактичних висот зрізу головок коренеплодів від розрахункових (рис. 4.4-4.6).

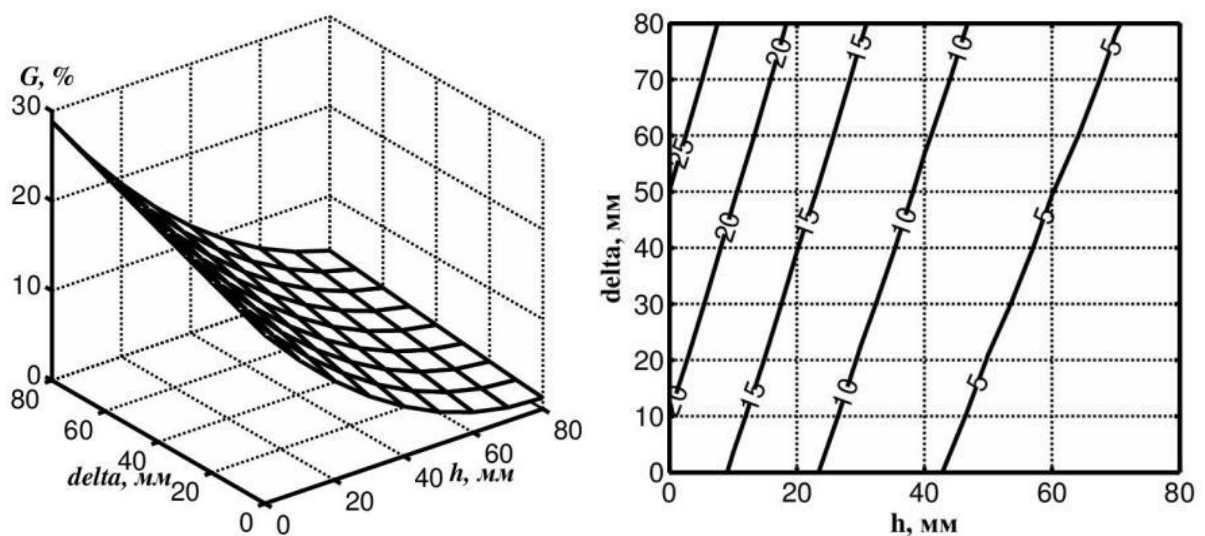


Рис. 4.2. Залишки гички на коренеплодах при фіксованій поступальній швидкості 2 м/с і вертикальному зазорі 25 мм.

Висота зрізу низьковиступаючих коренеплодів менша за вертикальний зазор ріжучої частини, а високовиступаючих - значно перевищує вертикальний зазор.

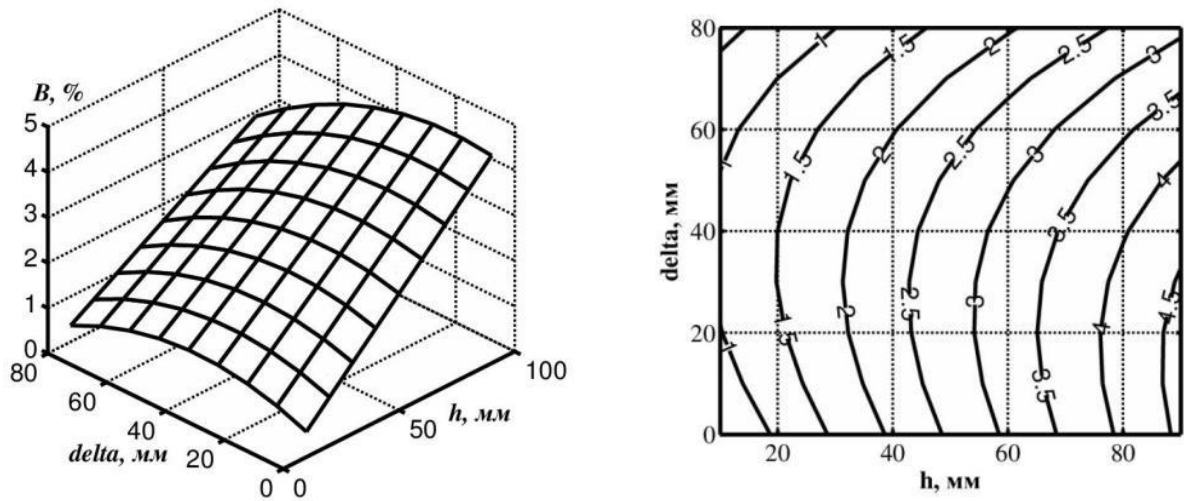


Рис. 4.3. Втрати цукронової маси при фіксованій поступальній швидкості 2 м/с і вертикальному зазорі 25 мм.

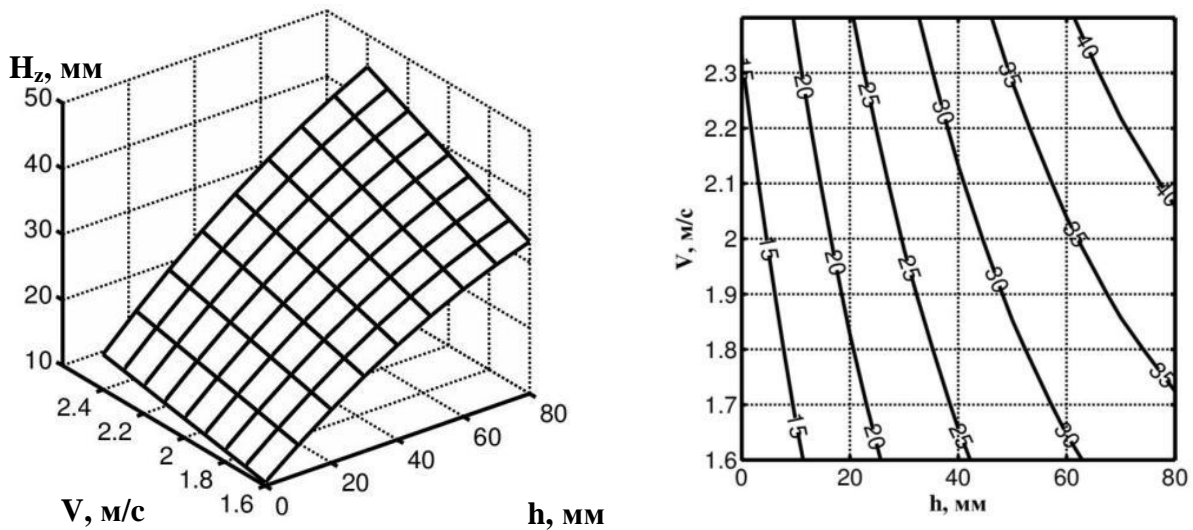


Рис. 4.4. Висота зрізаного шару головки коренеплоду при вертикальному зазорі 40 мм.

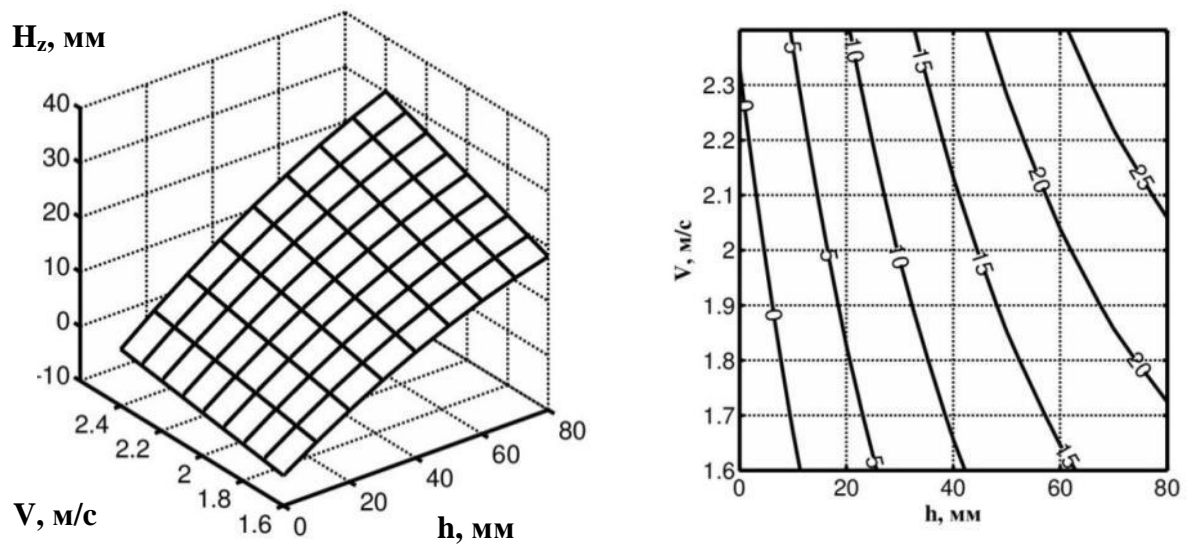


Рис. 4.5. Висота зрізаного шару головки коренеплоду при вертикальному зазорі 25 мм.

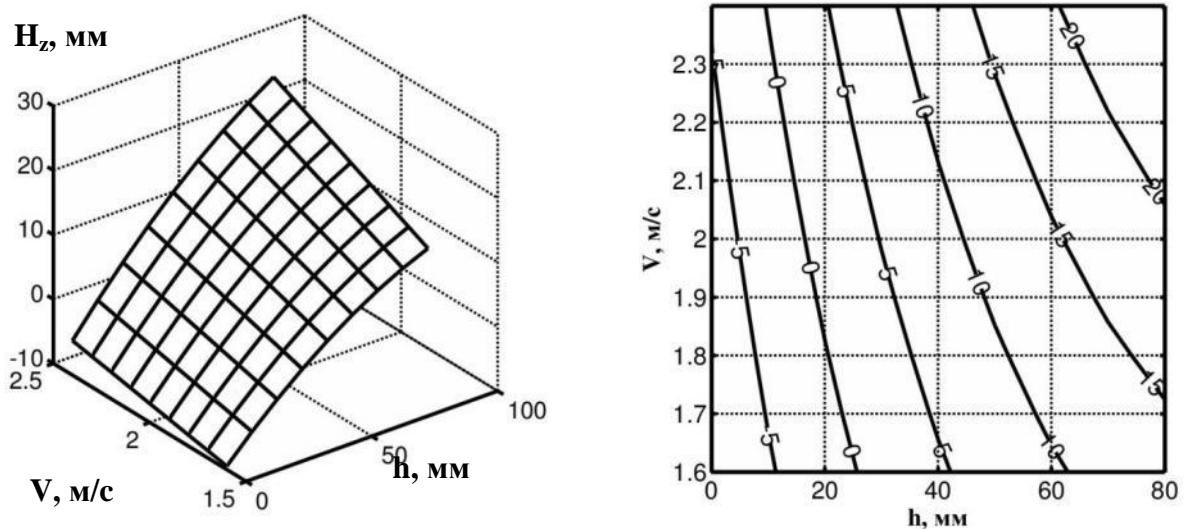


Рис. 4.6. Висота зрізаного шару головки коренеплоду при вертикальному зазорі 10 мм.

За короткий час взаємодії з копірною частиною робочий орган не встигає знімати шар гички на головках низьковиступаючих коренеплодів і тому зрізується менший шар головки. При взаємодії високо виступаючих коренеплодів із великою кількістю лопатей копірної частини знімається весь шар гички і верхівкова частина головки. Очевидно, що даний ефект необхідно врахувати при виборі раціональних параметрів копінного і комбінованого зрізів.

Отримані емпіричні залежності висоти зрізу головки від конструкційно-технологічних параметрів та режимів роботи робочого органу можна використати при розрахунках показників якості процесу відокремлення гички та технологічних регулюваннях робочого органу.

У результаті проведених досліджень було виявлено суттєвий вплив висоти виступання головок коренеплодів на основні показники процесу відокремлення гички - втрати цукроносної маси та залишки гички на головках коренеплодів. Для дослідження цього ефекту нами було проведене додаткове дослідження взаємодії копірної та ріжучої частин робочого органу з гичкою та головкою коренеплоду. Для цього під час проведення процесу відокремлення гички з головок коренеплодів експериментальним робочим органом з допомогою спеціальних екранів фіксувались видалені структурні частини гички та головки коренеплоду. Після цього штучно із зібраних структурних частин відновлювалась первинна структура головки коренеплоду з гичкою. Ці заходи дали можливість оцінити поверхню головки коренеплоду, яка отримана в результаті взаємодії з копірною частиною робочого органу. На фото рис. 4.7 наведено приклад взаємодії робочого органу з головкою коренеплоду середнього діапазону розподілення висот виступання. У результаті даних досліджень встановлено наступний характер проходження процесу видалення гички: при взаємодії копірної частини з головкою коренеплоду останньою видаляється основна маса гички у високо виступаючих коренеплодів та коренеплодів середнього діапазону висот виступання. Для низьковиступаючих коренеплодів характерні залишки гички на головці коренеплоду висотою 10...20 мм. Це пояснюється різницею в тривалості та інтенсивності взаємодії головок коренеплодів різних груп висот виступання з робочими елементами відокремлювача гички, що підтверджено виявленим відхиленням фактичних висот зрізу головок коренеплодів від заданого вертикального зазору (рис. 4.1). Так для низьковиступаючих коренеплодів висота зрізу менша за вертикальний зазор ріжучої частини, а високовиступаючих - значно перевищує вертикальний зазор. При взаємодії високовиступаючих коренеплодів із великою кількістю



лопатею копірної частини знімається весь шар гички і верхівкова частина головки. Кожен робочий елемент по чергові, рухаючись по поверхні головки коренеплоду, знімає порцію гички, утворюючи при цьому поверхню головки, наведену на рис. 4.7. Отримані емпіричні залежності висоти зрізу головки від конструкційно-технологічних параметрів та режимів роботи робочого органу можна використати при розрахунках показників якості процесу відокремлення гички копірним чи комбінованим способом і технологічних регулюваннях відокремлювача гички.

Слід відмітити, що при лабораторних дослідженнях неможливо відтворити реальні умови закріплення коренеплоду в ґрунті, випадковий характер розташування коренеплоду відносно умовної осі рядка та головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту.



Рис. 4.7. Вигляд головки коренеплоду після взаємодії з копірною частиною робочого органу (головка штучно відновлена після зрізу).

Тому для визначення раціональних параметрів процесу в польових умовах слід додатково дослідити вплив вертикального зазору та поступальної швидкості на показники якості процесу.

## 4.2. Польові експериментальні дослідження

### 4.2.1. Умови проведення досліджень.

Характеристика умов проведення польових експериментальних досліджень показників якості процесу відокремлення гички, наведена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

#### Характеристика посіву цукрових буряків

Показники	Значення показників
Характеристика культури:	
Відхилення коренеплодів від умовної осі рядка, %	
0	3,4
±10	22,6
±20	43,1
±30	26,4
±40 мм і більше	4,5
Виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту, %	
- від 0 до -20 вкл.	0,9
- від 0 до +20 вкл.	41,3
- більше +20 до +40 мм вкл.	24,1
- більше +40 до +60 мм вкл.	18,2
- більше +60 до +80 мм вкл.	11,9
- більше +80 мм	3,6
Густота насадження рослин, тис. шт./га	91,3
Біологічна урожайність коренеплодів, т/га	51,4
Біологічна урожайність гички, т/га	20,2
Стан гички на коренеплодах по формі розміщення листя, %:	
- розетка	20,2
- напіврозетка	43,7
- конус	36,1
Тип ґрунту і його назва за механічним складом	Чорнозем глибокий малогумусний
Схил поля	1
Вологість ґрунту, %: 0-10 см	21,5

#### 4.2.2. Результати польових досліджень.

Польові дослідження експериментальних робочих органів для відокремлення решток гички цукрових буряків проводилися на базі спроектованої та виготовленої польової установки (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Копірно-роторний гичкозрізальний апарат.

За результатами математичної обробки експериментальних даних побудовано поверхні відгуків (рис. 4.9-4.13) та отримано рівняння регресії (табл. 4.4) показників якості процесу відокремлення гички. Перевірку результатів польових експериментальних досліджень провели наступним чином: відтворюваності - за критерієм Кохрена, адекватності – за критерієм Фішера, а значущості коефіцієнтів регресії – за критерієм Стюдента. Результати перевірки наведені у таблиці 4.3. Повні відомості про результати перевірки відтворюваності, значущості коефіцієнтів та адекватності емпіричних моделей наведені в додатках Г.

**Результати перевірок відтворюваності та  
адекватності експериментальних даних**

Критерій	Розрахунковий	Табличний	Висновок
<b>Вибивання коренеплодів</b>			
Значимість коефіцієнтів	-	-	Всі значимі
Кохрена G	0,26	0,478	Дисперсії однорідні
Фішера F	2,45	2,93	Модель адекватна
<b>Пошкодження</b>			
Значимість коефіцієнтів	-	-	Всі значимі
G	0,43	0,478	Дисперсії однорідні
F	2,81	2,93	Модель адекватна
<b>Забрудненість гичкою</b>			
Значимість коефіцієнтів	-	-	Всі значимі
G	0,39	0,478	Дисперсії однорідні
F	2,61	2,93	Модель адекватна
<b>Кількість нормально обрізаних коренеплодів</b>			
Значимість коефіцієнтів	-	-	Всі значимі
G	0,36	0,478	Дисперсії однорідні
F	2,18	2,93	Модель адекватна
<b>Кількість низько обрізаних коренеплодів</b>			
Значимість коефіцієнтів	-	-	Всі значимі
G	0,37	0,478	Дисперсії однорідні
F	2,81	2,93	Модель адекватна

Таблиця 4.4.

**Регресійні залежності показників якості**

Функція відгуку	Рівняння регресії	
	в кодованому вигляді	в натуральних величинах
Вибивання коренеплодів	$V = 2,5 + 1,3X_1 - 0,26X_2 + 0,14X_1X_2 + 0,73X_1^2$	$V = 14aV - 13,5V - 35,6a + 4,56V^2 + 12,3$
Пошкодження	$P = 1,5 + 1,6X_1 + 0,62X_2 + 1,23X_1^2 - 0,17X_2^2$	$P = -272a^2 + 38,4a + 7,688V^2 - 23,675V + 18,42$
Забрудненість гичкою	$G = 2,4 - 0,7X_1 - 2,1X_2 + 0,42X_1X_2 - 0,81X_1^2 + 1,7X_2^2$	$G = 2720a^2 + 42aV - 295,6a - 5,0V^2 + 15,4V - 5,2$
К-сть нормально обрізаних коренеплодів	$N_n = 79,8 - 5X_1 - 38,76X_2 - 5,52X_1X_2 - 25,67X_2^2$	$N_n = -10,64 + 6,05V - 6,0d + 0,28h + 0,1Vh - 0,0012dh - 0,0016h^2$
К-сть низько-обрізаних коренеплодів	$N_m = 16 + 5,6X_1 + 38,98X_2 + 5,33X_1X_2 + 25,18X_2^2$	$N_m = 0,675V + 533aV + 40288a^2 + 0,985$

З аналізу залежностей рис. 4.12 і рис. 4.13 видно, що після проходу робочого органу показники якості, кількість пошкоджених та кількість вибитих коренеплодів, не перевищують допустимих меж у всьому діапазоні зміни факторів: поступальної швидкості  $V$  та вертикального зазору  $a$ .

Кількість косообрізаних коренеплодів у всіх проведених дослідях не перевищувала 1%.

В результаті вивчення отриманих регресійних залежностей показників якості процесу відокремлення гички встановлено наступне. Пошкодження та вибивання не перевищують агротехнічних вимог у всьому діапазоні зміни факторів.

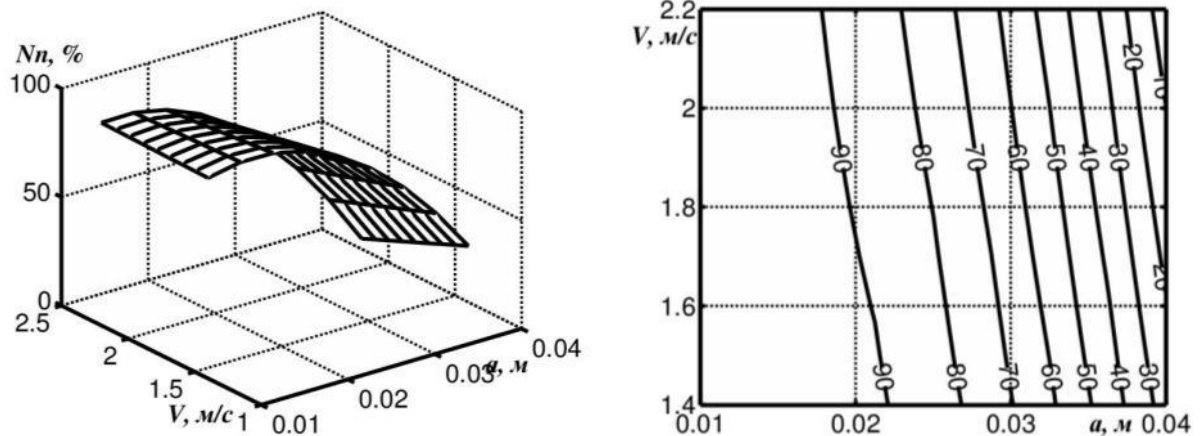


Рис. 4.9. Кількість нормальнообрізаних коренеплодів, %.

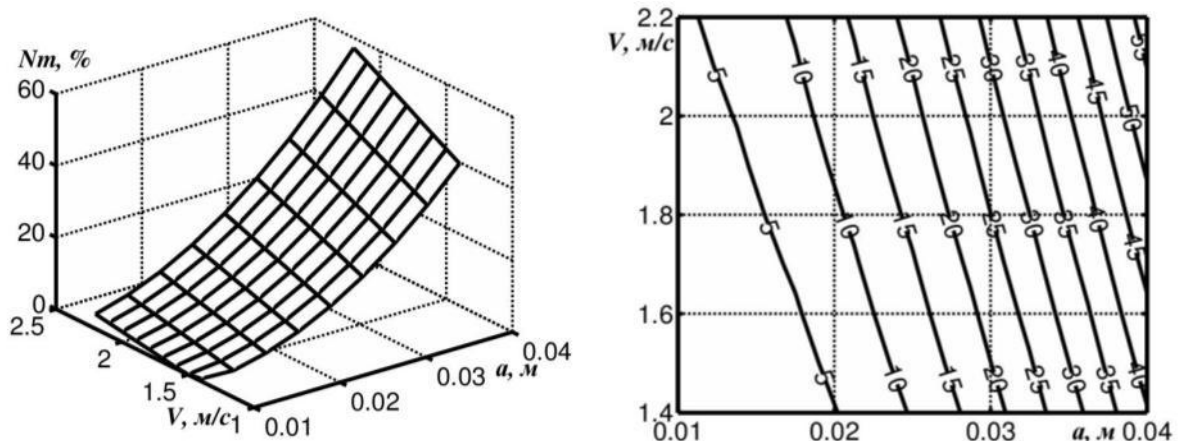


Рис. 4.10. Кількість низькообрізаних коренеплодів, %.

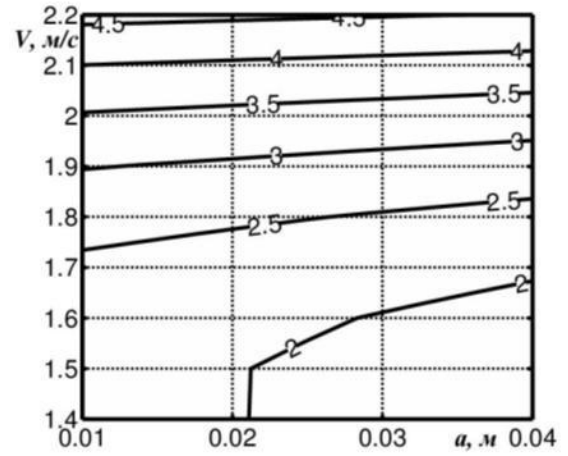
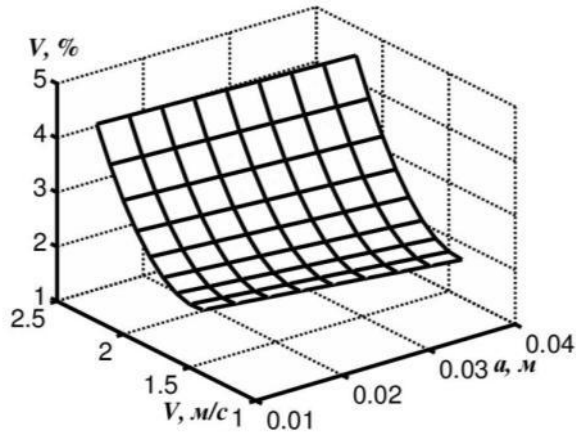


Рис. 4.11. Кількість вибитих коренеплодів, %.

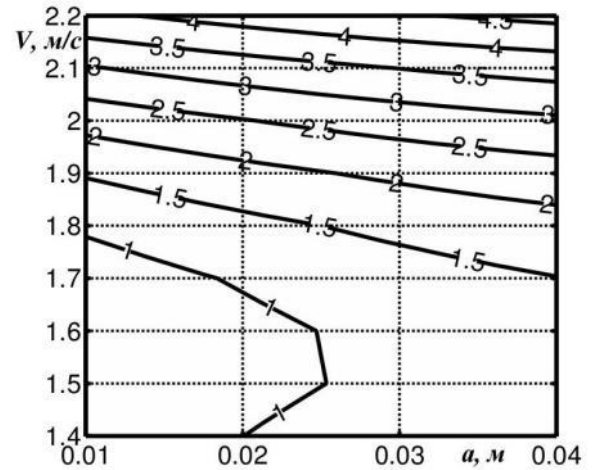
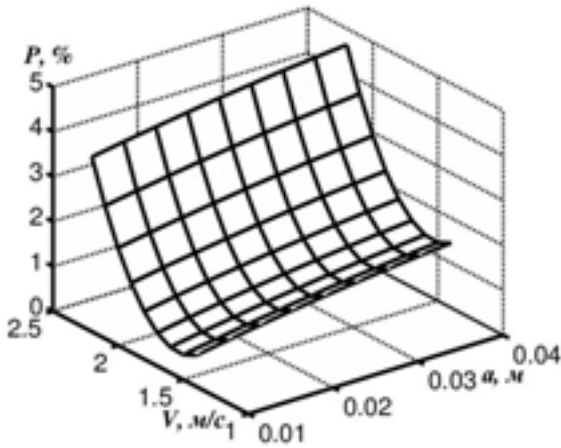


Рис. 4.12. Кількість пошкоджених коренеплодів, %.

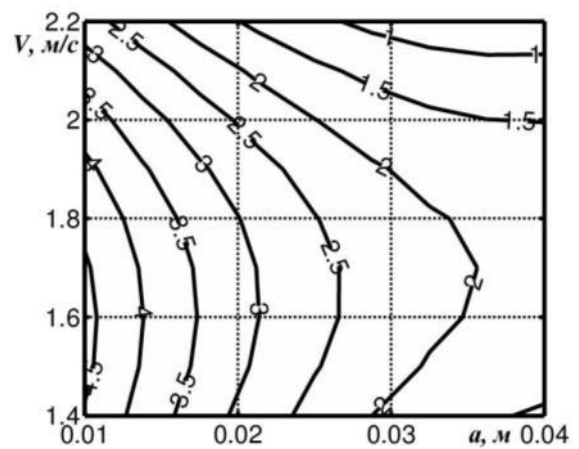
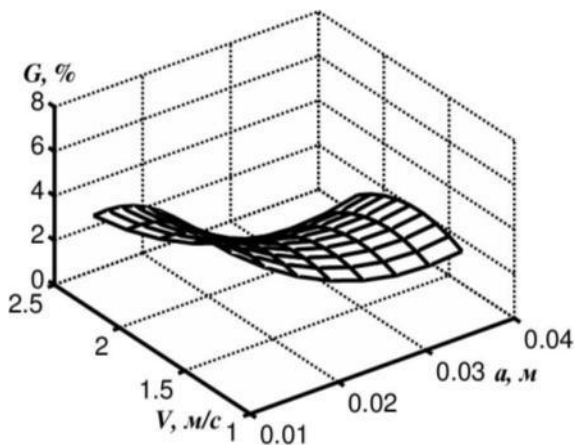


Рис. 4.13. Маса залишків гички на коренеплодах, %.

На всьому інтервалі зміни факторів вибивання коренеплодів не перевищує допустимих агротехнічних вимог, тому можна зробити висновок про повне їх дотримання при збільшенні швидкості до 2,2 м/с. При подальшому збільшенні швидкості слід очікувати збільшення кількості вибитих коренеплодів через збільшення кутової швидкості і відповідно відцентрових сил в контакті робочий елемент - головка коренеплоду. Це в свою чергу, приведе до збільшення критичних зусиль вибивання в повздовжньому та поперечному напрямках.

Для показника кількості пошкоджених коренеплодів можна зробити висновок про повне дотримання агротехнічних вимог при збільшенні швидкості до 2,2 м/с, але при подальшому збільшенні швидкості слід очікувати збільшення показника вибивання коренеплодів понад агротехнічні вимоги.

Для показника залишків гички на коренеплодах суттєвий вплив мають обидва фактори процесу - початковий вертикальний зазор та швидкість. Рівень агротехнічних вимог 2% виконується при значенні вертикального зазору менше 30 мм.

При збільшенні швидкості від 1,4 до 1,8 м/с для задоволення вимог стандарту необхідно збільшити вертикальний зазор до 35 мм, а при подальшому збільшенні швидкості до 2,2 м/с вертикальний зазор необхідно зменшити до 15 мм.

Отже, збільшення швидкості поступального руху машини потребує зміни попереднього вертикального зазору в межах від 35 мм до 15 мм.

Виходячи з вищенаведеного слідує, можна зробити наступні висновки. За кількістю нормально обрізаних коренеплодів агротехнічні вимоги (85%) виконуються при величині початкового вертикального зазору 18...20 мм.

Для виконання агротехнічних вимог за кількістю низько обрізаних коренеплодів, для збільшення поступальної швидкості до 2,2 м/с, необхідний початковий зазор повинен становити 10...12 мм. При збільшенні зазору до 20 мм перевищуємо вимоги стандарту вдвічі. Кількість низько обрізаних коренеплодів становить близько 10%.

За кількістю пошкоджених та вибитих коренеплодів агротехнічні вимоги виконуються при всіх значеннях початкового зазору та поступальної швидкості. При збільшенні швидкості до 2,2 м/с наближаємось до агротехнічних вимог 5%.

Фактор вертикального зазору збільшує кількість вибитих коренеплодів на 0,5%, а у випадку пошкоджень коренеплодів зменшує на 0,5%. Тому, працюючи на границі агротехнічних вимог 5%, для зменшення вибивання необхідно вибирати якомога менші значення вертикального зазору, а для зменшення пошкоджень його необхідно дещо збільшувати.

При дотриманні агротехнічних вимог за залишках гички на коренеплодах, в підвищеному діапазоні швидкостей 2...2,2 м/с вертикальний зазор можна зменшити від 25 до 15 мм.

При збільшенні вертикального зазору до 20 мм на швидкості 2,2 м/с ми отримуємо 1,5% залишків гички у воросі коренеплодів.

Із загального аналізу впливу збільшення швидкості на показники якості виконання процесу можна зробити висновок про необхідність зменшення початкового вертикального зазору до 10...12 мм, виходячи з вимог за кількістю низько обрізаних коренеплодів. З іншого боку за показником залишків гички величина початкового вертикального зазору повинна бути не менше 15 мм. Кількість низько обрізаних коренеплодів при цьому складе близько 7%. Так як показники залишків гички є дуже важливими в процесі подальшої переробки вороху коренеплодів зменшення вертикального зазору понад 15 мм вважаємо недоцільним. Рівень агротехнічних вимог за кількістю низькообрізаних коренеплодів при мінімальному зазорі 15 мм може бути досягнений на швидкості до 2,2 м/с. Отже, можна зробити висновок про те, що при відокремлені гички експериментальним відокремлювачем гички можливе збільшення швидкості поступального руху машини до 2,2 м/с. Подальше збільшення швидкості поступального руху приведе до підвищених втрат цукроносної маси внаслідок збільшення кількості низькообрізаних коренеплодів.



### 4.3. Висновки до розділу

Експериментальними дослідженнями підтверджена правильність теоретичного обґрунтування основних конструкційно-технологічних параметрів робочого органу, при яких можливе якісне виконання технологічного процесу: вісь ротора паралельна умовній осьовій лінії рядка, діаметр ротора - 600 мм, відстань від осі ротора до осі підвісу робочих елементів - 200 мм, початкове відхилення робочого елемента від площини обертання - 50°.

Мінімальні відхилення площини зрізу від горизонтального положення при поступальній швидкості робочого органу близько 2 м/с будуть в діапазоні  $\delta = 50...60$  мм. Допустимі відхилення площини зрізу будуть при  $\delta > 30$  мм. Збільшення відхилення робочого органу від осі рядка більше 50 мм може привести до збільшення залишків гички на низькорозташованих головках коренеплодів. Втрати цукроносної маси при збільшенні  $\delta$  від 20 до 50 мм збільшуються, але це свідчить про активізацію процесу відокремлення гички. Отже, з врахуванням вищевикладеного, раціональним діапазоном зміщення осі ротора від умовної осі рядка є  $\delta = 30...50$  мм.

Після проходу гичковідокремлювального апарату кількість пошкоджених та кількість вибитих коренеплодів не перевищують допустимих меж у всьому діапазоні зміни факторів: поступальної швидкості  $V$  та вертикального зазору  $a$ . Кількість косообрізаних коренеплодів у всіх дослідах не перевищувала 1%.

Агровимоги за кількістю зв'язаної гички на коренеплодах (2%) при швидкостях 2,0...2,2 м/с витримуються при вертикальних зазорах ріжучої частини  $a = 15...20$  мм.

## 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

### 5.1 Організація охорони праці в господарстві ПП «Ларіни»

У господарстві за стан охорони праці відповідає директор господарства. За охорону праці у підрозділі господарства відповідає уповноважена особа – керівник виробничої ділянки, на якій він закріплений наказом. В галузі рослинництва відповідальність за охорону праці несе - головний агроном, в механізації та на транспорті – інженер механік, на машинному дворі - завідувач машинного двору, на пункті ТО тракторів та майстерні - бригадир механізованого загону та майстерні, за електробезпеку – головний енергетик, за організацію охорони праці в господарстві – інженер з охорони праці. Відповідальний за пожежну безпеку та охоронну службу - начальник охоронної служби та за сумісництвом інструктор з пожежної безпеки.

З працівниками, які поступають на роботу інженер з охорони праці проводить вступний інструктаж.

Вимоги безпеки праці – це сукупність правил і прийомів, спрямованих на створення безпечної праці, збереження здоров'я людей і підвищення продуктивності праці. Виконання правил безпеки праці дає змогу запобігти виробничим травмам і усунути причини, які можуть породжувати шкідливі впливи на організм робітників.

Директор господарства:

- забезпечує виконання першочергових заходів галузевої програми поліпшення стану охорони праці і безпеки праці, гігієни праці та виробничого середовища;

- впроваджує «Положення про систему управління охороною праці на підприємстві»;

- згідно з чинним законодавством забезпечує ефективну діяльність служби охорони праці та пожежної безпеки;

- забезпечує функціональне та раціональне використання коштів фонду охорони праці;

- створює ефективну роботу кабінету з охорони праці;
- створює постійно діючу комісію по перевірці знань працівників підприємства з питань охорони праці та пожежної безпеки;
- забезпечує працівників відповідно з типовими, галузевими нормами засобами індивідуального захисту, в першу чергу спецодягом, милом, обеззаражуючими миючими засобами.
- при необхідності створює комісію з розслідування нещасних випадків професійних захворювань та аварій на підприємстві.

Інженер з охорони праці:

- проводить навчання та перевірку знань законодавчих актів з охорони праці працівників та керівників виробничих ділянок;
- забезпечує працюючих правилами, стандартами, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами з охорони праці;
- розробляє правила, вимоги, положення, інструкції з охорони праці;
- аналізує причини нещасних випадків та професійних захворювань, для розробки рекомендацій і заходів щодо їх зниження;
- забезпечує кабінет з охорони праці необхідною документацією, плакатами, навчальними посібниками та іншим.

Головні спеціалісти господарства:

- забезпечують безпечне проведення робіт і культуру виробництва на кожних робочих місцях ввіреному об'єкті;
- оформляють перед початком виконання робіт акти - допуски про виконання заходів з безпеки праці, та після закінчення робіт акти про виконання заходів з безпеки праці;
- беруть участь у розробці нових і перегляд діючих інструкцій з охорони праці для працівників ввіреному об'єкті;
- беруть безпосередню участь у проведенні атестації робочих місць за умовами безпеки праці у ввірених їм об'єктах;

- систематично інформують на оперативних виробничих нарадах посадових осіб, про стан техніки безпеки на робочих місцях, виявлені порушення та контролюють усунення виявлених порушень;

- беруть участь у нарадах з охорони праці.

Керівники виробничих ділянок:

- забезпечують проведення навчання, інструктажу, перевірки знань, стажування працівників свого підрозділу згідно з порядком навчання з охорони праці та перевірку знань вимог охорони праці працівників організацій, а саме: проводить вступні, первинні, повторні, позапланові інструктажі на робочому місці з усіма працівниками, в встановлені терміни з оформленням інструктажів у відповідних журналах, не допускає працівників до виконання робіт без інструктажу, стажування, навчання безпечних методів і прийомів ведення робіт;

- здійснюють періодичний оперативний контроль за станом техніки безпеки на ділянці;

- забезпечують безпечне проведення робіт на кожному робочому місці ввіреної йому ділянки;

- здійснюють щоденний, особистий, періодичний протягом дня контроль за станом умов праці;

- забезпечують дотримання робітниками трудової і виробничої дисципліни, правил та інструкцій з охорони праці;

- своєчасно оформляють оперативну, поточну документацію з охорони праці, а саме: акти - допуски, наряди - допуски, акти приймання в експлуатацію, журнали інструктажу на робочому місці, вступного інструктажу, з пожежної безпеки, журнал видачі нарядів - допусків, журнал суміщених робіт і т. д.

- забезпечують ділянку робіт заборонними, попереджувальними знаками і плакатами;

- не допускають працівників до виконання ними трудових обов'язків без проходження обов'язкових медичних оглядів, а також у випадку медичних протипоказань;

- беруть участь у розробці нових і перегляд діючих інструкцій з охорони праці для працівників ввіреної йому ділянки.

## 5.2 Аналіз виробничого травматизму

Охорона праці крім соціального, має важливе економічне значення - це і висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних, компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо. За розрахунками вчених наслідки нещасних випадків коштують у 10 разів більше, ніж витрати на заходи та засоби щодо їх попередження. В цьому розділі пропоную розглянути виробничі травми працівників, скласти таблицю з отриманих розрахунках та зробити висновок.

Таблиця 5.1. - Характеристичні показники травматизму в ПП «Ларіни» за 2017-2021 роки

Показники	Роки				
	2017	2018	2019	2020	2021
1	2	3	4	5	6
Кількість працюючих (в сезон с.-г. робіт), чол.	128	127	125	121	117
Кількість нещасних випадків, од.	2	2	1	1	1
Втрати днів працездатності від виробничого травматизму: перший випадок;	81	38	43	33	50
другий випадок.	24	55			
Всього:	105	93			
Втрати днів працездатності від виробничого захворювання	-	-	-	-	-
Коефіцієнт частоти травматизму	15,63	15,75	8,00	8,26	8,55
Коефіцієнт важкості травматизму	52,50	46,50	43,00	33,00	50,00
Коефіцієнт втрат робочого часу за рік	820,31	732,28	344,00	272,73	427,35
Втрата робочого часу, год	525	465	215	165	250
Втрата коштів на оплату лікарняних, тис. грн.:	6562,5	5812,5	2687,5	2062,5	3125

Майже всі виробничі травми трапилися за таких причин:

- невиконання керівником посадової інструкції, в частині забезпечення дотримання підлеглим персоналом трудової та виробничої дисципліни,

безпечного виконання робіт, дотримання встановлених норм технологічного процесу, експлуатації обладнання;

- невиконання підлеглих інструкцій з охорони праці, інструкцій з безпеки праці на відповідну роботу або операцію;

- невиконання керівником підрозділу належного інструктування підлеглих при виконанні робіт на установках, тракторах, с/г агрегатах, тощо.

- порушення вимог безпеки праці при виконанні роботи без проходження навчання на установці, без нагляду вище кваліфікованого працівника;

- порушення вимог безпеки праці при знаходженні в заборонених місцях при роботі, та русі машин.

Внаслідок виробничого травматизму за 5 років господарство втратило на оплату лікарняних приблизно 20250 грн. не враховуючи відшкодування кожному працівнику. Всі ці кошти краще було вкласти на покращення вимог охорони праці. В наступному розділі пропонуємо скласти перелік необхідних заходів, які поліпшать охорону праці в господарстві, та провести розрахунки.

### **5.3 Заходи з поліпшення вимог охорони праці на ПП «Ларіни»**

Заходи з поліпшення вимог охорони праці передбачають систему організаційних і технічних заходів і засобів по запобіганню негативного впливу на робітників небезпечних виробничих факторів. До технічних заходів відносяться:

- розробка та впровадження безпечного обладнання;
- механізація і автоматизація технологічних процесів;
- використання запобіжних пристроїв, автоматичних блокуючих засобів;
- правильне і зручне розташування органів управління обладнанням;
- розробка та впровадження систем автоматичного регулювання, контролю та управління технологічними процесами, принципово нових нешкідливих та безпечних технологічних процесів.

До організаційних заходів належать:

- правильна організація роботи, навчання, контролю та нагляду за охороною праці;

- дотримання трудового законодавства, міжгалузевих та галузевих нормативних актів про охорону праці впровадження безпечних методів та наукової організації праці;

- проведення агітації та пропаганди охорони праці;

- організація планово - попереджувального ремонту обладнання, технічних оглядів та випробувань транспортних і вантажопідіймальних засобів.

При проведенні робіт по утепленню будівель, деякі вікна були закладенні з метою економії тепла. Будівлі, такі як, ремонтна майстерня, були позбавленні частини природного світла. Для більш ефективної та безпечної роботи працівників необхідно встановити додаткові світильники.

## 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ГИЧКИ

Основними факторами, що визначають економічну ефективність проведених досліджень, є:

- підвищення якості цукрової сировини за рахунок зниження її забруднення зв'язаною гичкою;
- зменшення втрат цукроносної маси в гичку при її відокремленні дослідною машиною;
- зменшення пошкоджень коренеплодів внаслідок застосування нового робочого органу для відокремлення гички;
- зменшення кількості завалених коренеплодів;
- підвищення продуктивності операції відокремлення гички за рахунок підвищення робочої швидкості до 7...8 км/год.

Розрахунок прямих економічних показників проведено з визначенням додаткового економічного ефекту від перерахованих вище факторів. Вихідні дані для розрахунку показників техніко-економічної ефективності визначено на основі показників роботи машини базового типу у порівнянні з дослідним зразком. Вихідні дані для розрахунку показників економічної ефективності занесено в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1.

### Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності впровадження машини для відокремлення гички

№ п/п	Показники	Варіант	
		базові дані	дослідна машина
1	Робоча швидкість $V$ , м/с	1,8	2
2	Годинна продуктивність $P$ , га/год	1,75	1,94
3	Урожайність коренеплодів, $Q$ т/га	40	40
4	Терміни збирання згідно ДСТУ	20.09-20.10	20.09- 20.10
5	Тривалість зберігання $t$ , днів	30	30



№ п/п	Показники	Варіант	
		базові дані	дослідна машина
7	Нормативне річне завантаження, год:		
	- трактора, $T_T$	1000	1000
	- машини, $t_c$	100	100
8	Балансова вартість, грн		
	- трактора, $B_T$	76900	76900
	- машини, $B_M$	35000	21000
9	Відрахування на реновацію, %		
	- трактора, $a_T$	16,2	16,2
	- машини, $a_M$	16,1	16,1
10	Відрахування на ТО і ПР, %		
	- трактора, $p_m$	9,9	9,9
	- машини, $p_M$	10	10
12	Забруднення зв'язаною гичкою, %	1,9	1,5
13	Втрати цукроносної маси в гичку, %	2,2	2
14	Пошкодження коренеплодів, %	6,0	4,8
15	Завалювання коренеплодів, %	0,8	0,2

Додатковий економічний ефект від зниження забрудненості цукрової сировини зв'язаною гичкою в порівнянні з базовою машиною при урожайності 40 т/га, терміном зберігання перед переробкою - 30 діб, цукристістю - 14% буде складати:

$$E_1 = \frac{Q(x_1 - x_2)k_g c C_1}{100}, \quad (6.1)$$

де  $E_1$  - додатковий економічний ефект від зниження забрудненості цукрової сировини зв'язаною гичкою, грн./га;

$Q$  - урожайність коренеплодів цукрових буряків, т/га;

$x_1$  та  $x_2$  - кількість зв'язаної гички у воросі коренеплодів, відповідно при видаленні гички базовою та дослідною машинами, %

$k_g$  - коефіцієнт втрат цукру на один відсоток вмісту зв'язаної гички,  
 $k_g = 0,01$ ;

$c$  - вихід цукру з коренеплодів,  $c = 11\%$ ;

$C_1$  - вартість однієї тонни цукру,  $C_1 = 4650$  грн/т.

$$E_1 = \frac{40 \cdot (1,9 - 1,5) \cdot 0,01 \cdot 11 \cdot 4650}{100} = 81,8 \text{ грн/га.}$$

Ефект від зменшення втрат цукроносної маси в гичку в порівнянні з базовою машиною:

$$E_2 = Q(s_1 - s_2)k_g c_v, \quad (6.2)$$

де  $E_2$  - економічний ефект від зменшення втрат цукроносної маси в гичку, грн./га;

$s_1$  і  $s_2$  - відповідно втрати цукроносної маси базовою та дослідною машинами, %;

$c_v$  - вартість тонни вороху коренеплодів,  $c_v = 450$  грн/т.

$$E_2 = 40 \cdot (2,2 - 2) \cdot 0,01 \cdot 450 = 36 \text{ грн/га}$$

Економічний ефект від зменшення пошкоджень коренеплодів  $E_3$  визначається за залежністю:

$$E_3 = 0,95 \cdot 10^{-5} (p_1 - p_2) Q_c m t k_{pop} c_v, \quad (6.3)$$

де  $p_1$ ,  $p_2$  - відповідно кількість пошкоджених коренеплодів базовою і модернізованою машиною, %;

$Q_c$  - кількість коренеплодів зібраних за сезон, т;

$m$  - частка коренеплодів, що підлягає зберіганню,  $m = 0,8$ ;

$k_{pop}$  - поправочний коефіцієнт,  $k_{pop} = 0,828$ ;

$t$  - термін зберігання, днів.

Кількість коренеплодів, зібраних за сезон  $Q_c$  (т), визначаємо із залежності:

$$Q_c = Q P t_c, \quad (6.4)$$

де  $P$  - година продуктивність дослідної машини,  $P = 1,94$  га/год;

$t_c$  - тривалість сезону,  $t_c = 100$  год.

$$Q_c = 40 \cdot 1,94 \cdot 100 = 7760 \text{ т}$$

$$E_3 = 0,95 \cdot 10^{-5} \cdot (6,0 - 4,8) \cdot 7760 \cdot 0,8 \cdot 30 \cdot 0,828 \cdot 450 = 791,1 \text{ грн.}$$

Економічний ефект на один гектар зібраної площі:

$$E_3 = E_3 / \Pi_D t_c = 791,1 / 1,90 \cdot 100 = 4,078 \text{ грн./га.}$$

Економічний ефект від зменшення втрат коренеплодів, що пов'язані із завалюванням коренеплодів при видаленні гички:

$$E_4 = \Pi t_c Q k c_v, \quad (6.5)$$

де  $k$  - питома зменшення завалювання буряків дослідною машиною порівняно з базовою:

$$k = (0,8 - 0,2) / 100 = 0,006.$$

Тоді

$$E_4 = 1,94 \cdot 100 \cdot 40 \cdot 0,006 \cdot 450 = 20950 \text{ грн.}$$

Розрахунковий економічний ефект від зменшення втрат коренеплодів на один гектар зібраної площі:

$$E_4 = E_4 / \Pi \cdot T_m = 20950 / 1,94 \cdot 100 = 108 \text{ грн./га.}$$

Економічний ефект від зниження експлуатаційних видатків визначили за залежністю:

$$E_5 = (B_B - B_D), \quad (6.6)$$

де  $B_B$  - експлуатаційні видатки по базовому варіанту, грн./га;

$B_D$  - експлуатаційні видатки по дослідному варіанту, грн./га;

Експлуатаційні видатки на одиницю збільшення продуктивності визначили з виразу:

$$B = Z_o + A + P, \quad (6.7)$$

де  $Z_o$  - питома заробітна плата оператора грн./га;

$A$  - відрахування на реновацію, грн/га;

$P$  - відрахування на ТО і ПР, грн./га.

$$Z_o = t_{zod} / \Pi; \quad (6.8)$$

$$Z_{o.B.} = 14,2 / 1,7 = 8,1 \text{ грн./га;}$$

$$Z_{o.D.} = 14,2 / 1,94 = 7,32 \text{ грн./га.}$$

Питомі відрахування на реновацію:

$$A = A_{mp} + A_m, \quad (6.9)$$

де  $A_{mp}$  - питомі витрати на реновацію трактора, грн./га;

$A_m$  - питомі витрати на реновацію машини, грн./га.

$$A_{mp} = B_m \cdot a_m / 100 \cdot \Pi \cdot T_m, \quad (6.10)$$

$$A_{mpБ} = 76900 \cdot 16,2 / 100 \cdot 1,75 \cdot 1000 = 7,12 \text{ грн./га},$$

$$A_{mpД} = 76900 \cdot 16,2 / 100 \cdot 1,94 \cdot 1000 = 6,42 \text{ грн./га},$$

$$A_m = B_m \cdot a_m / 100 \cdot \Pi \cdot T_m, \quad (6.11)$$

$$A_{m.Б} = 21000 \cdot 16,1 / 100 \cdot 1,75 \cdot 100 = 19,32 \text{ грн./га};$$

$$A_{m.Д} = 35000 \cdot 16,1 / 100 \cdot 1,94 \cdot 100 = 17,43 \text{ грн./га}.$$

Тоді

$$A_B = A_{mpБ} + A_{m.Б} = 7,12 + 19,32 = 26,44 \text{ грн./га};$$

$$A_D = A_{mpД} + A_{m.Д} = 6,42 + 17,43 = 23,85 \text{ грн./га}.$$

Питомі витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування:

$$P = P_{mp} + P_m; \quad (6.12)$$

$$P_{mp} = B_{mp} \cdot p_m / 100 \cdot \Pi \cdot T_m; \quad (6.13)$$

$$P_{mpБ} = 76900 \cdot 9,9 / 100 \cdot 1,75 \cdot 1000 = 4,35 \text{ грн./га};$$

$$P_{mpД} = 76900 \cdot 9,9 / 100 \cdot 1,94 \cdot 1000 = 3,92 \text{ грн./га};$$

$$P_m = B_m \cdot p_m / 100 \cdot \Pi \cdot T_m; \quad (6.14)$$

$$P_{m.Б} = 21000 \cdot 10 / 100 \cdot 1,75 \cdot 100 = 12,0 \text{ грн./га};$$

$$P_{m.Д} = 35000 \cdot 10 / 100 \cdot 1,94 \cdot 100 = 10,83 \text{ грн./га}.$$

Тоді

$$P_B = P_{mpБ} + P_{m.Б} = 4,35 + 12,0 = 16,35 \text{ грн./га};$$

$$P_D = P_{mpД} + P_{m.Д} = 3,92 + 10,83 = 14,75 \text{ грн./га}.$$

Експлуатаційні видатки складуть:

$$B_B = 8,1 + 26,44 + 16,35 = 50,9 \text{ грн./га};$$

$$B_D = 7,32 + 23,85 + 14,75 = 45,92 \text{ грн./га}.$$

Економічний ефект від зниження експлуатаційних видатків складе:

$$E_5 = (50,9 - 45,9) = 4,98 \text{ грн./га.}$$

Сумарний економічний ефект від всіх факторів складе:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 \quad (6.15)$$

$$E = 81,8 + 36 + 4,01 + 108 + 4,98 = 235 \text{ грн./га.}$$

Таблиця 6.2.

**Показники економічної ефективності впровадження  
технологічного процесу відокремлення гички**

Показник	Значення показника		Зниження показника, %
	базова	дослідна	
Годинна продуктивність, га/год	1,75	1,94	-
Заробітна плата, грн./га	64,5	64,5	-
Питомі витрати на реновацію, грн./га	26,4	23,9	10,36
Питомі відрахування на поточний ремонт і ТО, грн./га	16,4	14,8	-
Прямі експлуатаційні видатки, грн./га	50,9	45,9	12,3
Економічний ефект від зниження експлуатаційних видатків, грн.	-	947	-
Економічний ефект від зниження пошкоджень коренеплодів, грн.	-	713	-
Економічний ефект від зменшення втрат коренеплодів, грн.	-	144	-
Загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації модернізованої машини, грн.	-	44630	-
Загальний економічний ефект на 1 га, грн.	-	235	-

Отже, річний економічний ефект від застосування експериментальної машини для відокремлення гички, що реалізує технологічний процес безкопірного зрізу з агротехнічно допустимими втратами цукроносної маси, буде складати 44630 грн. або 235 грн./га.

## Загальні висновки

У магістерській роботі наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі, що полягає в обґрунтуванні технологічного процесу та параметрів робочого органа для відокремлення гички, яке забезпечило зменшення втрат цукроносної маси та підвищення продуктивності процесу відокремлення гички.

1. Унаслідок аналізу встановлено, що сучасні технічні засоби для відокремлення гички цукрових буряків не забезпечують якісного виконання технологічного процесу на підвищених швидкостях, співрозмірних із швидкостями коренезбиральних робочих органів. Визначено перспективний напрям вирішення наукової задачі - обґрунтування технологічних параметрів процесу відокремлення гички із зменшеним діапазоном копірного зрізу з розробкою нового робочого органа, який сумістить операції копіювання та відокремлення гички і буде використовувати в якості відновлювальної сили відцентрову силу інерції.

2. Обґрунтована конструкційна схема та розроблено копірно-роторний відокремлювач гички, що суміщає операції комбінованого відокремлення гички. З умов мінімальних динамічних навантажень на коренеплід, стабільності контакту робочого елемента з головкою коренеплоду та копіювання максимального перепаду головок коренеплодів визначено раціональні значення конструкційно-технологічних параметрів робочого органа: довжина робочого елемента  $l_e = 0,155$  м, радіус осі підвісу робочого елемента  $r_0 = 0,2$  м, початковий кут відхилення робочого елемента від площини обертання  $\varphi_0 = 50^\circ$ ; діаметр ротора  $D = 600$  мм, частота обертання ротора  $n = 500 \dots 700$  хв<sup>-1</sup>, швидкість різання - не менше 12 м/с.

3. Розроблено математичну модель копіювання робочим органом різновисоких головок коренеплодів, яку підтверджено експериментально. Відхилення теоретичних значень від експериментальних даних не перевищило 2%. Визначений час відновлення робочим органом вихідного положення, що

змінюється в межах 0,01...0,03 с і теоретично встановлено, що копінно-роторний відокремлювач гички забезпечує точність копіювання головок коренеплодів з швидкістю поступального руху  $V = 1,3...3,8$  м/с та відповідною кутовою швидкістю обертання ротора  $\omega = 40...120$  с<sup>-1</sup> і є технологічно нечутливим до зміни швидкості в даному діапазоні.

4. Унаслідок проведення лабораторних експериментальних досліджень підтверджено здатність конструкції виконувати процес відокремлення гички та правильність теоретичного обґрунтування основних конструкційно-технологічних параметрів робочого органа; встановлено раціональне значення зміщення осі ротора від умовної осі рядка  $\delta = 30...50$  мм. Встановлене значення потужності приводу робочого органа, максимальне значення якої складає 2 кВт, з максимальною робочою швидкістю 2,2 м/с.

5. Польовими експериментальними дослідженнями підтверджено раціональні значення технологічних параметрів робочого органа, з якими виконуються агротехнічні вимоги: швидкість поступального руху  $V = 1,4...2,2$  м/с, відповідна кутова швидкість ротора  $\omega = 40...70$  с<sup>-1</sup>, початковий вертикальний зазор  $a = 10...20$  мм. Після проходження робочого органа отримано наступні показники якості: залишки гички - менше 2%, кількість пошкоджених коренеплодів - 1... 4%, кількість косообрізаних коренеплодів - менше 1%, кількість нормально обрізаних коренеплодів - 85...90%.

6. Річний економічний ефект від застосування нового копінно-роторного відокремлювача гички, який реалізує розроблений технологічний процес комбінованого зрізу з агротехнічно допустимими втратами цукроносної маси, складає близько 235 грн/га.

### Список використаних джерел

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. - М.: Наука, 1971. - 283 с.
2. Бендера І. М. Обґрунтування способу та конструкції машини для відокремлення гички від коренеплодів цукрових буряків / І. М. Бендера, М. М. Борис, А.М. Борис // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. - 2008. - № 12(2). - С. 368-364.
3. Борис А. М. Обґрунтування раціонального діапазону копінного зрізу гички цукрових буряків / А. М. Борис // Сільськогосподарські машини: Зб. наук.ст. - Вип. 21. - Том І. - Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011. - С. 26-30.
4. Борис М. М. Обґрунтування технологічного процесу та параметрів робочого органу для відокремлення гички цукрових буряків: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / М. М. Борис. - Вінниця, 2009. - 20 с.
5. Булгаков В. М. Теорія бурякозбиральних машин. Монографія / В. М. Булгаков. - Київ: Видавничий центр НАУ, 2005. - 245 с.
6. Булгаков В. М. Математичне моделювання та експериментальне дослідження технологічного процесу безкопінного зрізу гички цукрових буряків / В. М. Булгаков, М. М. Борис, А. М. Борис // Наук. вісник Луганського національного аграрного унів. - Луганськ: ЛНАУ, 2011. - №29. - С. 261-272.
7. Булгаков В.М. Использование прямого метода граничных элементов при исследовании стационарных колебаний пластин / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, Г.Н. Калетник, А.Г. Куценко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». – №1(84). – 2017. – С.8-14.
8. Булгаков В.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. / Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетник Г.М. / Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2014 р. – Вип. 1 (73).



9. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. – Вінниця: Нова книга, 2010. – 667 с.
10. Булгаков В.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков, О.М. Черниш // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (82) 2016. – С.5-9.
11. Гунько І.В. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки / І.В. Гунько, Л.Г. Коваль // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – №3 (95). – Вінниця. – 2016. – С. 89-93.
12. Дубчак В.М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М. Дубчак, В.М. Пришляк, Л.І. Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. – 254 с.
13. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник. ... за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. - Київ : Хай-Тек Прес, 2013. - 528 с.
14. Калетнік Г.М. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. – 340 с.
15. Кобець О. М. Обґрунтування робочого процесу і параметрів робочих органів для видалення гички кормових буряків: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Кобець Олександр Миколайович. - Вінниця, 2007. - 166 с.
16. Мартиненко В. Я. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин: дис. ... докт. техн.наук: 05.05.11 / Мартиненко Володимир Якимович. - Тернопіль. - 2000. - 287 с.
17. Машини бурякозбиральні. Загальні технічні умови: ДСТУ 2258-93.
18. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: практикум / [Войтюк Д. Г., Царенко О. М., Яцун С. С. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. - К.: Аграрна освіта, 2000. - 93 с.

19. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода / За ред.. В.С. Павленка. – Вінниця: ПП «ГД Едельвейс і К», 2015. – 110 с.
20. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За ред...В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2011. – 140 с.
21. Погорелый Л. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л. В. Погорелый, Н. В. Татьяна –К.: Феникс, 2004. - 232 с.
22. Свеклоуборочный комбайн Rora euro-Tiger V8-3 XL [Електронний ресурс] // Сельскохозяйственная техника. - 2008. - № 4. - Режим доступа до журналу: <http://russia.profi.com>. - заголовок з екрана.
23. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку / [Войтюк Д.Г., Барановський М.В., Булгаков В.М. та ін.]. - К.: Вища освіта, 2005. - 464 с.
24. Сивак Р.І. Короткий курс теоретичної механіки / Р.І. Сивак, І.А. Деревенько. – Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. – 200 с.
25. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 116 с.
26. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту / О.В. Солона, І.М. Купчук, В.І. Паламарчук. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 84 с.
27. Солона О.В. Технічна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 84 с.
28. Солона О.В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. – Вінниця, 2019. – 254 с.
29. Солона О.В.. Теорія механізмів і машин. Лабораторний практикум. Навчальний посібник / О.В. Солона, В.С. Любин – Вінниця: ПП Балюк І.Б., 2014. – 138 с.
30. Es geht um den Kopf/ Zuckerrüben Journal №3 // Rheinischer

# ДОДАТКИ

## Програма розрахунку процесу взаємодії робочого органу з коренеплодом

### Розрахунок нормальної реакції робочого елемента на коренеплід

Вихідні дані до розрахунку:

- **конструктивні параметри механізму**

( $b := 0.07$ ) - ширина копінного елемента, м;

( $d := 0.3$ ) - висота центру ротора, м;

$\varphi_0 := \pi \cdot \frac{50}{180}$  - початковий кут встановлення копінного елемента відносно поверхні

грунту, рад;

$r_0 := 0.2$  - радіус осі підвісу копінного елемента, м;

$\Delta\varphi := \pi \cdot \frac{2}{180}$  - кут кінематичного зв'язку, рад

$\gamma := 700$  - густина копінної частини робочого елемента,  $\text{кг/м}^3$

$\gamma_1 := 7000$  - густина передньої опорної частини, ножа та задньої опорної частини

$s_1 := 0.0007$  - площа поперечного перерізу копінної частини робочого елемента,  $\text{м}^2$ .

$s_2 := 1.4 \times 10^{-4}$  - площа поперечного перерізу прямокутної частини пластинки, м

$l_1 := 0.16$  - довжина робочого елемента, м.

$z := 16$  - кількість робочих елементів, шт.

$l_k := 0.12$  - відстань від осі підвісу до кінця копінної частини, м

$l_p := 0.113$  - відстань від осі підвісу до передньої опорної поверхні, м

$l_a := 0.084$  - відстань від осі підвісу до початку пластинки, м

$l_2 := 0.124$  - відстань від осі підвісу до кінця прямокутної пластинки, м

$l_3 := 0.136$  - відстань від осі підвісу до кінця трикутної пластинки

$J := \frac{\left[ \left( \frac{13.5}{20} \right)^2 \cdot 0.22 \cdot 9.8 \cdot 0.083 \right]}{4\pi^2}$  - момент інерції робочого елемента (емпіричний).

$J_1 := 1.2 \cdot 10^{-3}$

$J = 1.2 \times 10^{-3}$

$\beta_{\text{ж}} := 9.905 \cdot \frac{\pi}{180}$

$\beta_{\text{ж}} = 0.173$  - кут різку трикутної пластинки

$p := 0.002$  - товщина пластинки, м

- **параметри коренеплоду та поля:**

( $r := 0.24$ ) - радіус гвинтової лінії точки контакту, м;

( $h := 0.06$ ) - висота виступання головки коренеплоду над рівнем ґрунту, м;

( $\beta_{\text{ж}} := 0$ ) - відхилення від умовної осьової лінії рядка, м;

- **режим роботи:**

( $\omega := 62.8$ ) - кутова швидкість обертання ротора пчкорізного апарату,  $\text{с}^{-1}$ ;

( $v := 2$ ) - поступальна швидкість машини, м/с.

**Визначення кількості робочих елементів які буде відхиляти перший робочий елемент у фазі копіювання головки**

Для визначення кількості копірних елементів визначимо час контакту з вершиною головки коренеплоду, початкову координату точки контакту по осі у, початковий кут повороту ротора та кут відхилення копірного елемента при контакті його з вершиною коренеплоду.

Час контакту копірного елемента з вершиною головки коренеплоду:

$$t_{\text{в}} := 2 \cdot \frac{a \sin \left[ \frac{b}{2 \sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right]}{\omega}$$

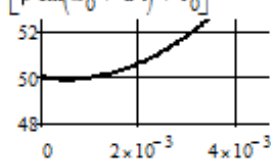
Початкова координата точки контакту по осі у:

$$y_1 := -\tan(\varphi_0) \cdot \left[ \sqrt{\rho^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} - r_0 \right]$$

Початковий кут повороту ротора пичюризального апарату

$$\alpha_0 := -\pi + \arcsin \left[ \frac{b}{2 \sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right]$$

Кут відхилення копірного елемента від по залежності:

$$\varphi(t) := \operatorname{atan} \left[ \frac{(y_1 - v \cdot t)}{\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega \cdot t) + r_0} \right]$$


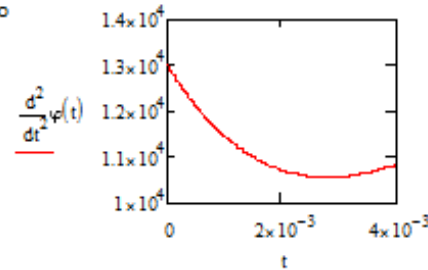


Рис.1 Графік залежності кута відхилення копірного елемента від часу

З графіка рис.1 видно, що максимальне значення кута відхилення копірного елемента досягається в момент його виходу з контакту з вершиною головки коренеплоду, тому максимальну кількість елементів, з якими буде взаємодіяти перший елемент визначимо із залежності:

$$n_{\text{max}} := \frac{\varphi(t_{\text{в}}) - \varphi(0)}{\Delta\varphi}$$

$$n_{\text{max}} = 2.618$$

## Продовження додатку А

Кутове прискорення першого очисного елемента

$$\ddot{\varphi}_1(t) := \left( \frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) \right)$$

Час контакту упором першого елемента з другим

$$t1 := \left( \Delta\varphi + \pi \cdot \frac{50}{180} \right) - \operatorname{atan} \left[ \frac{(y_1 - v \cdot t)}{\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega \cdot t) + r_0} \right] \operatorname{solve}, t \rightarrow -0.0017687685031943994625 = -1.769 \times 10^{-3}$$

Час контакту другого елемента з третім

$$t2 := \left( 2\Delta\varphi + \pi \cdot \frac{50}{180} \right) - \operatorname{atan} \left[ \frac{(y_1 - v \cdot t)}{\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega \cdot t) + r_0} \right] \operatorname{solve}, t \rightarrow -0.0025846778815941889613$$

Кутове прискорення другого і третього робочого елемента

$$\ddot{\varphi}_2(t), \left[ \frac{d^2}{dt^2} (\dots) \right]$$

Визначимо моменти відцентрових сил інерції різних складових першого робочого елемента

Момент від копірної частини

$$Mrk1(t) := (\gamma \cdot s) \cdot \left( \frac{\sin(2 \cdot \varphi(t)) \cdot \omega^2 \cdot lk^3}{18} + \frac{\sin(\varphi(t)) \cdot r_0 \cdot \omega^2 \cdot lk^2}{2} \right)$$

Момент від прямокутної частини пластинки

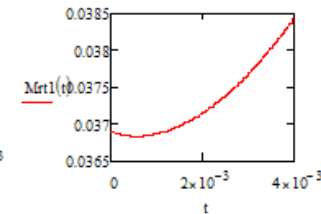
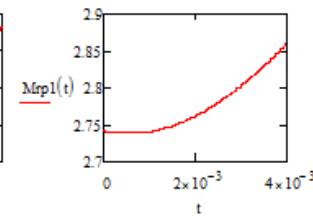
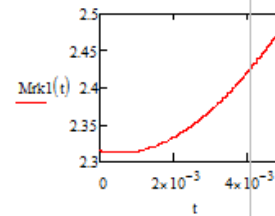
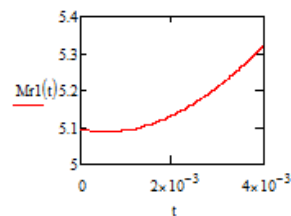
$$Mmp1(t) := (\gamma1 \cdot s1) \cdot \left( \frac{\sin(2 \cdot \varphi(t)) \cdot \omega^2 \cdot l2^3}{18} + \frac{\sin(\varphi(t)) \cdot r_0 \cdot \omega^2 \cdot l2^2}{2} - \frac{\sin(2 \cdot \varphi(t)) \cdot \omega^2 \cdot la^3}{18} - \frac{\sin(\varphi(t)) \cdot r_0 \cdot \omega^2 \cdot la^2}{2} \right)$$

Момент від трикутної частини пластинки

$$Mrt1(t) := (\gamma1 \cdot s1) \cdot \left( \frac{\omega^2 \cdot b \cdot l3^3 \cdot \sin(2 \cdot \varphi(t))}{18} - \frac{\omega^2 \cdot b \cdot l2^3 \cdot \sin(2 \cdot \varphi(t))}{18} - \frac{\omega^2 \cdot l2^4 \cdot \sin(2 \cdot \varphi(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}})}{72} - \frac{\omega^2 \cdot l3^4 \cdot \sin(2 \cdot \varphi(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}})}{24} - \frac{\omega^2 \cdot b \cdot l2^2 \cdot \sin(\varphi(t)) \cdot r_0}{2} + \frac{\omega^2 \cdot b \cdot l3^2 \cdot \sin(\varphi(t)) \cdot r_0}{2} + \frac{\omega^2 \cdot l2 \cdot l3^3 \cdot \sin(2 \cdot \varphi(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}})}{18} \right)$$

Сумарний момент відцентрових сил

$$Mr1(t) := Mrk1(t) + Mmp1(t) + Mrt1(t)$$

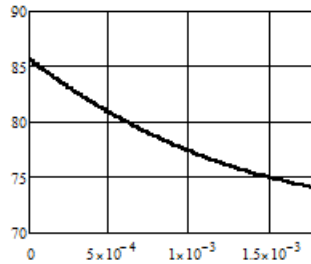


$$N1(t) := \left[ \frac{Mr1(t)}{\sqrt{(\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega \cdot t))^2 + (y_1 - v \cdot t)^2}} \right] + \left( \frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) \right) \cdot \frac{J}{\sqrt{(\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega \cdot t))^2 + (y_1 - v \cdot t)^2}}$$

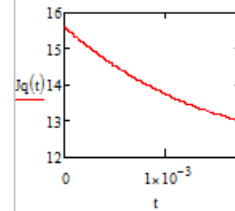
$$t1 := \left( \Delta\varphi + \pi \cdot \frac{50}{180} \right) - \operatorname{atan} \left[ \frac{(y_1 - v \cdot t)}{\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega \cdot t) + r_0} \right] \operatorname{solve}, t \rightarrow$$

Продовження додатку А

$$N1(t) := \sqrt{\left[ \frac{b \cdot \sin(\alpha z)}{2} - \cos(\alpha z) \cdot (\ln \cos(\varphi 2(t)) + r_0) + r_0 \right]^2 + \left( \frac{d}{dt} \varphi(t) \right)^2} \cdot \sqrt{\left[ \frac{b \cdot \cos(\alpha z)}{2} - \sin(\alpha z) \cdot (\ln \cos(\varphi 2(t)) + r_0) + r_0 \right]^2 + (y_1 - v \cdot t)^2}$$



$$Iq(t) := \left( \frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) \right) \cdot J$$

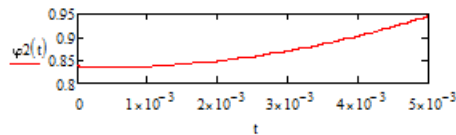


$$\alpha z := 2 \frac{\pi}{z}$$

$$\alpha z = \frac{180}{\pi} = 22.5$$

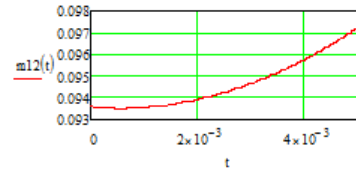
$$\varphi 2(t) := \varphi(t) - \Delta \varphi$$

Плече нормальній реакції другого робочого елемента відносно осі підвісу пер - кут між сусідніми робочими елементами



$$m12(t) := \sqrt{1 - \frac{\left[ \frac{b \cdot \cos(\alpha z)}{2} - \sin(\alpha z) \cdot (\ln \cos(\varphi 2(t)) + r_0) + r_0 \right]^2}{\left[ \frac{b \cdot \sin(\alpha z)}{2} - \cos(\alpha z) \cdot (\ln \cos(\varphi 2(t)) + r_0) + r_0 \right]^2 + \left[ \frac{b \cdot \cos(\alpha z)}{2} - \sin(\alpha z) \cdot (\ln \cos(\varphi 2(t)) + r_0) + r_0 \right]^2 + \ln^2 \sin(\varphi 2(t))^2}} \cdot \sqrt{\left[ \frac{b \cdot \sin(\alpha z)}{2} - \cos(\alpha z) \cdot (\ln \cos(\varphi 2(t)) + r_0) + r_0 \right]^2 + \left[ \frac{b \cdot \cos(\alpha z)}{2} - \sin(\alpha z) \cdot (\ln \cos(\varphi 2(t)) + r_0) + r_0 \right]^2 + \ln^2 \sin(\varphi 2(t))^2}$$

Продовження додатку А



Визначимо моменти відцентрових сил інерції різних складових другого елемента  
Момент від копірної частини

$$Mrk2(t) := (\gamma_1 s_1) \cdot \left( \frac{\sin(2 \cdot \varphi 2(t)) \cdot \omega^2 \cdot 1k^3}{18} + \frac{\sin(\varphi 2(t)) \cdot r_0 \cdot \omega^2 \cdot 1k^2}{2} \right)$$

Момент від прямокутної частини пластинки

$$Mrp2(t) := (\gamma_1 s_1) \cdot \left( \frac{\sin(2 \cdot \varphi 2(t)) \cdot \omega^2 \cdot 12^3}{18} + \frac{\sin(\varphi 2(t)) \cdot r_0 \cdot \omega^2 \cdot 12^2}{2} - \frac{\sin(2 \cdot \varphi 2(t)) \cdot \omega^2 \cdot 1a^3}{18} - \frac{\sin(\varphi 2(t)) \cdot r_0 \cdot \omega^2 \cdot 1a^2}{2} \right)$$

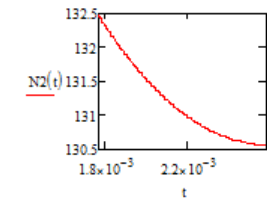
Момент від трикутної частини пластинки

$$Mrt2(t) := (\gamma_1 s_1) \cdot \left( \frac{\omega^2 \cdot b \cdot 13^3 \cdot \sin(2 \cdot \varphi 2(t))}{18} - \frac{\omega^2 \cdot b \cdot 12^3 \cdot \sin(2 \cdot \varphi 2(t))}{18} - \frac{\omega^2 \cdot 12^4 \cdot \sin(2 \cdot \varphi 2(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}})}{72} - \frac{\omega^2 \cdot 13^4 \cdot \sin(2 \cdot \varphi 2(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}})}{24} - \frac{\omega^2 \cdot b \cdot 12^2 \cdot \sin(\varphi 2(t)) \cdot r_0}{2} + \frac{\omega^2 \cdot b \cdot 13^2 \cdot \sin(\varphi 2(t)) \cdot r_0}{2} + \frac{\omega^2 \cdot 12 \cdot 13^3 \cdot \sin(2 \cdot \varphi 2(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}})}{18} - \frac{\omega^2 \cdot 12^3 \cdot \sin(\varphi 2(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}}) \cdot r_0}{6} - \frac{\omega^2 \cdot 13^3 \cdot \sin(\varphi 2(t)) \cdot \cot(\beta_{\text{H}}) \cdot r_0}{3} \right)$$

Сумарний момент відцентрових сил

$$Mr2(t) := Mrk2(t) + Mrp2(t) + Mrt2(t)$$

$$N2(t) := \frac{\left[ \left( \frac{d^2 \varphi 2(t)}{dt^2} \right) \cdot J + Mr1(t) \right] + \left[ \left( \frac{d^2 \varphi 2(t)}{dt^2} \right) \cdot J + Mr2(t) \right] \cdot \sqrt{(\sin(\varphi 2(t)))^2 \cdot (\cos(\alpha_2))^2 + (\cos(\varphi 2(t)))^2}}{\sqrt{(\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega \cdot t))^2 + (y_1 - v \cdot t)^2}} - m12(t)$$



Складові нормальної реакції в нерухомій системі

Момент інерції робочого

$$Jk := \gamma_1 s_1 \frac{1^3}{3}$$

$$Jk = 6.69 \times 10^{-4}$$

$$Jp := \left( \frac{1}{3} \right) \cdot \gamma_1 s_1 \cdot (12^3 - 1a^3)$$

$$Jp = 4.292 \times 10^{-4}$$

$$Jt := \gamma_1 p \cdot \left( \frac{b \cdot 13^3}{3} - \frac{b \cdot 12^3}{3} - \frac{12^4 - 4 \cdot 12 \cdot 13^3 + 3 \cdot 13^4}{12 \cdot \tan(\beta_{\text{H}})} \right)$$

$$Jt = 9.826 \times 10^{-5}$$

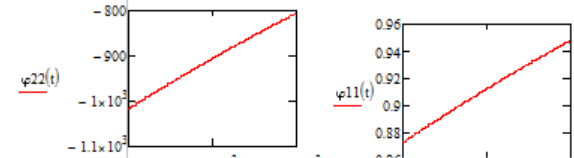
$$Ja := Jk + Jp + Jt$$

$$Ja = 1.196 \times 10^{-3}$$

Прискорення від поступального руху

$$\varphi 22(t) := \frac{2 \cdot v^2 \cdot \left( \tan\left(\frac{5 \cdot \pi}{18}\right) - \frac{t \cdot v}{h - d + r_0} \right)}{\left[ \left( \tan\left(\frac{5 \cdot \pi}{18}\right) - \frac{t \cdot v}{h - d + r_0} \right)^2 + 1 \right] \cdot (h - d + r_0)^2}$$

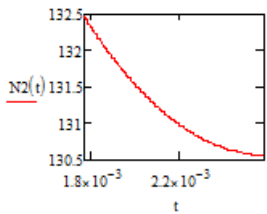
$$\varphi 11(t) := \text{atan}\left[ \tan\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \frac{v \cdot t}{d - (h + r_0)} \right]$$





Продовження додатку А

$$N2(t) := \frac{\left[ \left( \frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) \right) \cdot J + M r_1(t) \right] + \frac{\left[ \left( \frac{d^2}{dt^2} \varphi(t) \right) \cdot J + M r_2(t) \right] \cdot \sqrt{(\sin(\varphi(t)))^2 \cdot (\cos(\alpha z))^2 + (\cos(\varphi(t)))^2}}{I_n}}{\sqrt{(\rho \cdot \sin(\alpha_0 + \omega t))^2 + (y_1 - v \cdot t)^2}} \cdot m_{12}(t)$$



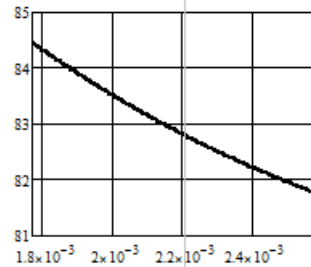
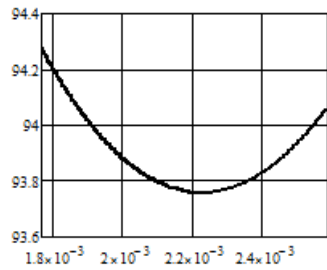
Складові нормальної реакції в нерухомій системі координат

$$N2x(t) := N2(t) \cdot \sin(\varphi(t)) \cdot \cos(\alpha z)$$

$$N2y(t) := N2(t) \cdot \cos(\varphi(t))$$

$$N2z(t) := N2(t) \cdot \sin(\varphi(t)) \cdot \sin(\alpha z)$$

$$N2mod(t) := \sqrt{(N2x(t))^2 + (N2y(t))^2 + (N2z(t))^2}$$



$$N1x(t) := N1(t) \cdot \sin(\varphi(t))$$

$$N1y(t) := N1(t) \cdot \cos(\varphi(t))$$

$$N1z(t) := N1(t) \cdot \sin(\varphi(t)) \cdot \sin(\omega t)$$

Момент інерції робочого

$$J_k := \gamma \cdot s \cdot \frac{l^3}{3}$$

$$J_k = 6.69 \times 10^{-4}$$

$$J_p := \left( \frac{1}{3} \right) \cdot \gamma_1 \cdot s_1 \cdot (l_2^3 - l_1^3)$$

$$J_p = 4.292 \times 10^{-4}$$

$$J_t := \gamma_1 \cdot \rho \cdot \left( \frac{b \cdot l_3^3}{3} - \frac{b \cdot l_2^3}{3} - \frac{l_2^4 - 4 \cdot l_2 \cdot l_3^3 + 3 \cdot l_3^4}{12 \cdot \tan(\beta_{st})} \right)$$

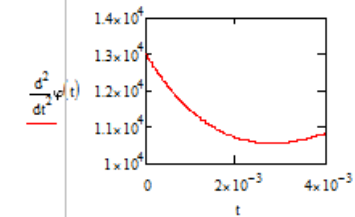
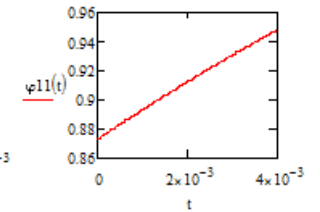
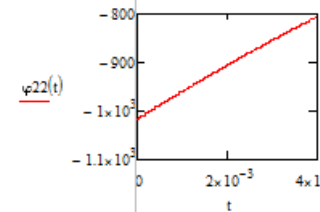
$$J_t = 9.826 \times 10^{-5}$$

$$J_a := J_k + J_p + J_t$$

$$J_a = 1.196 \times 10^{-3}$$

$$\varphi_{22}(t) := \frac{2 \cdot v^2 \cdot \left( \tan\left(\frac{5 \cdot \pi}{18}\right) - \frac{t \cdot v}{h - d + r_0} \right)}{\left[ \left( \tan\left(\frac{5 \cdot \pi}{18}\right) - \frac{t \cdot v}{h - d + r_0} \right)^2 + 1 \right] \cdot (h - d + r_0)^2}$$

$$\varphi_{11}(t) := \arctan \left[ \tan\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \frac{v \cdot t}{d - (h + r_0)} \right]$$



### **Методика визначення параметрів лабораторних досліджень та обґрунтування плану експерименту**

При вимірюваннях необхідно врахувати особливості визначення окремих показників. Висота гички це є відстань від поверхні ґрунту до вершин основної кількості листових пластинок. Висота зрізаної частини гички – відстань від вершини головки до площини зрізу. Діаметр пучка гички – товщина попередньо стисненого пучка гички на відстані 50 мм від основи зелених листків. Кут конусності гички - максимальне значення кута конуса гички, що утворюють крайні черешки переважної частини гички. Кут конусності гички та головки коренеплоду заміряють спеціальними кутомірами у вертикальній площині.

Значне пошкодження коренеплодів - пошкодження глибиною більше 10 мм і сколи до розміру третини коренеплоду. Незначне пошкодження коренеплодів - пошкодження глибиною менше 10 мм або рваний зріз із рваним заглибленням не більше 10 мм. Нормальний зріз - це зріз головки коренеплодів не нижче основи зелених листків і не вище 20 мм вище верхівкової бруньки. Високий зріз - це зріз коренеплодів вище верхівкової бруньки. Низький зріз - це зріз головки коренеплодів нижче основи зелених листків. Поверхня зрізу коренеплоду називається гладкою у випадку гладкої і рівної поверхні або зі сколами та впадинами глибиною менше 10 мм. Коренеплоди зі сколото-рваною поверхнею зрізу - коренеплоди зі ступінчатою поверхнею зрізу, наявністю впадин і тріщин глибиною більше 10 мм. Коренеплоди з косим зрізом - коренеплоди з площиною зрізу, відхиленою від нормалі до повздовжньої осі коренеплоду на кут більше 10 . Коренеплоди з прямим зрізом - коренеплоди з площиною зрізу, перпендикулярною до повздовжньої осі або з відхиленням від її нормалі на кут менший 10 .

Агрофізичні характеристики посівів визначаються згідно рис. 3.5. З врахуванням того, що у всіх роторів в реальних умовах нижні точки розташовуються на рівні поверхні ґрунту, визначимо для лабораторних умов:

- висоту виступання коренеплоду над рівнем ґрунту  $h_k$  як відстань від горизонтальної площини, що проходить через крайню нижню точку ротора, до верхівки головки коренеплоду, закріпленого у тримачі (рис. 3.4 б);

- відхилення коренеплоду від осьової лінії рядка  $\delta$  як відстань між паралельними прямими  $mn$  і  $kc$ .

Пряма  $mn$  проходить горизонтально паралельно напрямку руху коренеплоду на рівні поверхні ґрунту через точку дотику ротора з ґрунтом (рис. 3.3). Пряма  $kc$  проходить у горизонтальній площині, що відповідає рівню ґрунту через вісь симетрії коренеплоду паралельно напрямку його руху. Висота виступання головки коренеплоду регулюється переміщенням тримача коренеплоду 2 по вертикальних направляючих 1 (рис. 3.3) за допомогою гвинтового механізму (рис. 3.3). Відхилення коренеплоду від умовної осьової лінії рядка регулюється паралельним переміщенням рухомого поля разом із стійками 12 по опорній поверхні.

Конструкційно-технологічні параметри робочого органу визначались за схемами, наведеними на рис. 3.3. Кут атаки  $\alpha$  - кут між лінією перетину площини обертання з рівнем поверхні ґрунту  $fg$  та осьовою лінією рядка  $kc$  або напрямком руху робочого органу відносно коренеплоду  $on$ . Встановлюється шляхом повороту рухомого поля на опорній поверхні навколо вертикальної осі, що проходить через нижню точку ротора. Визначається за шкалою, нанесеною на опорну поверхню, та покажчиком на рухомому полі. Кут нахилу ротора до горизонтальної площини  $\beta$  - кут між прямими  $oe$  та  $oi$ , що утворені внаслідок перетину вертикальною площиною, яка проходить через вісь приводного валу ротора, площини обертання ротора і площини рівня ґрунту відповідно. Кут  $\beta$  встановлюється шляхом повороту ротора навколо осі приводного валу конічного редуктора за допомогою поворотного механізму 6 (рис. 3.3). Заміряється кут нахилу ротора за шкалою, яка встановлена на поворотному механізмі. Діаметр ротора, довжина робочих елементів, кількість робочих елементів, початковий кут відхилення робочих елементів від радіального положення визначались згідно рис. 3.3.

Поставленим завданням лабораторних досліджень та вибраному числу факторів може задовольнити центрально-композиційна план-матриця (табл. 1.2). Такий вибір дозволить скоротити кількість дослідів з 27 (для повного факторного експерименту) до 15. Дану план-матрицю використовуємо для перевірки математичних моделей втрат цукроносної маси, залишків гички, відхилення площини зрізу від горизонтальності та висоти зрізу головок коренеплодів.

Таблиця 1.2

### План-матриця проведення лабораторних дослідів

№	Порядок реалізації					Фактори та їх взаємодії в кодових позначеннях									
	m	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>
1	1	9	13	4	15	+	-	-	-	+	+	+	0,27	0,27	0,27
2	3	1	7	3	12	+	+	-	-	-	-	+	0,27	0,27	0,27
3	7	6	14	6	11	+	-	+	-	-	+	-	0,27	0,27	0,27
4	9	12	12	13	14	+	+	+	-	+	-	-	0,27	0,27	0,27
5	2	10	3	8	7	+	-	-	+	+	-	-	0,27	0,27	0,27
6	1	5	2	1	5	+	+	-	+	-	+	-	0,27	0,27	0,27
7	1	15	1	5	4	+	-	+	+	-	-	+	0,27	0,27	0,27
8	1	8	8	14	1	+	+	+	+	+	+	+	0,27	0,27	0,27
9	1	2	6	10	8	+	-α	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
10	8	11	15	2	3	+	+α	0	0	0	0	0	0,746	-0,73	-0,73
11	6	7	11	9	6	+	0	-α	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
12	1	4	5	7	9	+	0	+α	0	0	0	0	-0,73	0,746	-0,73
13	5	14	9	15	10	+	0	0	-α	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
14	1	3	10	11	2	+	0	0	+α	0	0	0	-0,73	-0,73	0,746
15	4	13	4	12	13	+	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73



## Оцінка результатів експериментальних досліджень

Контрольовані змінні						V, м/с	$\delta$ , мм	h, мм	Параметр оптимізації								Априорні відомості							
Верхній рівень+1						2.400	80.000	80.0	Відхилення від площини зрізу в поперечному напрямі Н, град								Література:							
Нижній рівень-1						1.600	0.000	0.0																
Основний рівень						2.000	40.000	40.0																
Інтервал варіювання						0.400	40.000	40.00																
Зіркова точка -а						1.514	-8.600	-8.60																
Зіркова точка +а						2.486	88.600	88.6																
Матриця планування $2^3$ в натуральних значеннях змінних																Результати експерименту								
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів					Фактори процесу																		
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y	S <sub>y</sub> <sup>2</sup>	Y	(Y-Y) <sup>2</sup>
1	1	9	13	4	15	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	0.37	0.37	0.37	0.362	0.36	0.4	2.2E-05	0.423	0.00
3	3	1	7	3	12	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	7.53	7.70	7.55	7.62	7.53	7.6	0.00504	7.566	0.00
3	7	6	14	6	11	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	2.55	2.61	2.47	2.46	2.59	2.5	0.0045	2.497	0.00
4	9	12	12	13	14	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	11.21	11.61	11.06	11.12	10.95	11.2	0.06486	11.26	0.00
5	2	10	3	8	7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	6.54	6.71	6.48	6.72	6.46	6.6	0.01578	6.513	0.00
6	15	5	2	1	5	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	13.20	13.26	13.03	12.83	13.40	13.1	0.0485	13.18	0.00
7	12	15	1	5	4	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	7.22	7.11	7.19	7.27	7.24	7.2	0.00373	7.225	0.00
8	13	8	8	14	1	1	1	1	1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	15.38	15.92	15.85	15.93	14.77	15.6	0.2514	15.51	0.00
9	11	2	6	10	8	1	-1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	7.18	7.29	7.28	7.15	7.30	7.2	0.00447	7.263	0.00
10	8	11	15	2	3	1	1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	16.49	16.18	16.42	17.12	17.09	16.7	0.17748	16.64	0.00
11	6	7	11	9	6	1	0	-1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	10.51	10.13	10.26	10.69	10.71	10.5	0.06623	10.45	0.00
12	10	4	5	7	9	1	0	1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	13.16	13.39	12.75	13.65	12.66	13.1	0.17469	13.13	0.00
13	5	14	9	15	10	1	0	0	-1.22	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	0.2	3.4E-05	0.153	0.00
14	14	3	10	11	2	1	0	0	1.215	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	6.48	6.46	6.38	6.28	6.29	6.4	0.00809	6.436	0.00
Коефіцієнти b <sub>i</sub>						9.97	3.86	1.10	2.59	0.40	-0.12	-0.34	1.34	1.23	-4.52	Перевірка однорідності дисперсій					Перевірка адекватності моделі			
Перевірка значимості коефіцієнтів																$\square S_y^2$		0.85		$\square S_y^2$		0.03		
																S <sub>y max</sub> <sup>2</sup>		0.25		S <sub>y max</sub> <sup>2</sup>		0.02		
S <sup>2</sup> {Y}	0.056	S <sup>2</sup> {b <sub>i</sub> }		0.032	0.0051512	0.00515	0.005	0.007	0.007	0.007	0.013	0.013	0.013	G		0.23		F		0.40				
q, %	5	S{b <sub>i</sub> }		0.179	0.0717718	0.07177	0.072	0.084	0.084	0.084	0.114	0.114	0.114	q, %		5		q, %		5				
V <sub>зн</sub>	60	t <sub>i</sub>		55.65	53.741077	15.3407	36.03	4.817	1.415	4.053	11.78	10.84	39.76	V <sub>1b</sub>		4		V <sub>1b</sub>		6				
t <sub>кр</sub>	2	t <sub>i</sub> - t <sub>кр</sub>		53.65	51.740777	13.3404	34.03	2.817	-0.58	2.053	9.781	8.843	37.76	V <sub>2b</sub>		15		V <sub>2b</sub>		60				
Висновок						Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	Знач.	Знач.	Знач.	G <sub>кр</sub>		0.242		F <sub>кр</sub>		2.04			
Рівняння регресії																G-G <sub>кр</sub>		-0.01		F-F <sub>кр</sub>		-1.64		
9.9708 + 3.8571 X1 + 1.1010 X2 + 2.5859 X3 + 0.4045 X1X2 - 0.3404 X2X3 + 1.3400 X1^2 + 1.2332 X2^2 - 4.5226 X3^2																Висновок		Дисперсії однорідні		Висновок		Модель адекватна		

## Продовження додатку Г

Контрольовані змінні		V, м/с	δ, мм	h, мм	Параметр оптимізації										Априорні відомості										
Верхній рівень+1		2.400	80.000	90.0	Втрати цукроносної маси В, %										Література:										
Нижній рівень-1		1.600	0.000	10.0																					
Основний рівень		2.000	40.000	50.0																					
Інтервал варювання		0.400	40.000	40.00																					
Зіркова точка -а		1.514	-8.600	1.40																					
Зіркова точка +а		2.486	88.600	98.6																					
Матриця планування $Z^3$ в натуральних значеннях змінних																	Результати експерименту								
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів					Фактори процесу										Y <sub>1</sub> Y <sub>2</sub> Y <sub>3</sub> Y <sub>4</sub> Y <sub>5</sub> Y S <sub>y</sub> <sup>2</sup> Y (Y-Y) <sup>2</sup>									
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>										
1	1	9	13	4	15	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.200	0	0.213	0.0002	
3	3	1	7	3	12	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.300	0	0.306	0.0000	
3	7	6	14	6	11	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0	0.004	0.0000	
4	9	12	12	13	14	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.100	0	0.087	0.0002	
5	2	10	3	8	7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	3.80	3.90	3.90	3.70	3.80	3.820	0.007	3.833	0.0002	
6	15	5	2	1	5	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	4.70	4.70	4.80	4.70	4.80	4.740	0.003	4.736	0.0000	
7	12	15	1	5	4	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	2.20	2.10	2.20	2.10	2.20	2.160	0.003	2.154	0.0000	
8	13	8	8	14	1	1	1	1	1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	3.00	3.10	3.10	3.10	3.00	3.060	0.003	3.047	0.0002	
9	11	2	6	10	8	1	-1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	2.10	2.00	2.00	2.00	2.10	2.040	0.003	2.019	0.0004	
10	8	11	15	2	3	1	1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	2.60	2.60	2.60	2.70	2.50	2.600	0.005	2.618	0.0003	
11	6	7	11	9	6	1	0	-1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	2.40	2.30	2.50	2.40	2.40	2.400	0.005	2.376	0.0006	
12	10	4	5	7	9	1	0	1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.200	0	1.223	0.0005	
13	5	14	9	15	10	1	0	0	-1.22	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.700	0	0.69	0.0001	
14	14	3	10	11	2	1	0	0	1.215	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	4.70	4.70	4.70	4.70	4.60	4.680	0.002	4.687	0.0001	
15	4	13	4	12	13	1	0	0	0	0	0	0	-0.73	-0.73	-0.73	2.80	2.70	2.70	2.70	2.70	2.720	0.002	2.725	0.0000	
Коефіцієнти b <sub>j</sub>						2.73	0.25	-0.47	1.64	0.00	0.20	-0.37	-0.28	-0.63	-0.02	Перевірка однорідності дисперсій					Перевірка адекватності моделі				
Перевірка значимості коефіцієнтів																	ΣS <sub>y</sub> <sup>2</sup>		0.03		ΣS <sub>y</sub> <sup>2</sup>		0.00		
																	S <sub>y</sub> <sup>2</sup> <sub>max</sub>		0.01		S <sub>y</sub> <sup>2</sup> <sub>max</sub>		0.00		
S <sup>2</sup> {Y}	0.002	S <sup>2</sup> {b <sub>j</sub> }			0.001	0.000201	0.0002	2E-04	3E-04	3E-04	3E-04	5E-04	5E-04	5E-04	G	0.21		F		0.92					
q, %	5	S{b <sub>j</sub> }			0.035	0.014173	0.0142	0.014	0.017	0.017	0.017	0.022	0.022	0.022	q, %	5		q, %		5					
V <sub>н</sub>	60	t <sub>i</sub>			77.03	17.39647	33.486	116.1	0.151	12.21	22.16	12.26	27.93	1.108	V <sub>1b</sub>	4		V <sub>1b</sub>		7					
t <sub>р</sub>	2	1 - t <sub>р</sub>			75.03	15.39617	31.486	114.1	-1.85	10.21	20.16	10.26	25.93	-0.89	V <sub>2b</sub>	15		V <sub>2b</sub>		60					
Висновок						Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	G <sub>р</sub>	0.242		F <sub>р</sub>		2.04				
Рівняння регресії																	G-G <sub>р</sub>		-0.03		F-F <sub>р</sub>		-1.12		
2.7253 + 0.2466 X1 - 0.746 X2 + 1.6449 X3 + 0.2025 X1X3 - 0.3675 X2X3 - 0.2754 X1 <sup>2</sup> - 0.6274 X2 <sup>2</sup>																	Висновок		Дисперсії однорідні		Висновок		Модель адекватна		

## Продовження додатку Г

Контрольовані змінні		V, м/с	δ, мм	h, мм	Параметр оптимізації										Апріорні відомості														
Верхній рівень+1		2.400	80.000	80.0	Товщина зрізу T, мм										Література:														
Нижній рівень-1		1.600	0.000	0.0																									
Основний рівень		2.000	40.000	40.0																									
Інтервал варіювання		0.400	40.000	40.00																									
Зіркова точка -а		1.514	-8.600	-8.60																									
Зіркова точка +а		2.486	88.600	88.6																									
Матриця планування 2 <sup>20</sup> в натуральних значеннях змінних																				Результати експерименту									
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів					Фактори процесу																							
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	m <sub>5</sub>	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y	S <sub>y</sub> <sup>2</sup>	Y	(Y-Y) <sup>2</sup>					
1	1	9	13	4	15	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	-1.36	-1.35	-1.41	-1.39	-1.32	-1.4	0.00123	-1.2	0.03					
3	3	1	7	3	12	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	4.00	4.06	4.00	4.07	4.08	4.0	0.00129	4.147	0.01					
3	7	6	14	6	11	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	-6.83	-7.03	-6.86	-6.81	-6.83	-6.9	0.00799	-6.92	0.00					
4	9	12	12	13	14	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	-2.46	-2.50	-2.46	-2.53	-2.50	-2.5	0.00079	-2.42	0.00					
5	2	10	3	8	7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.27	0.27	0.27	25.39	24.70	24.74	25.88	25.86	25.3	0.32973	25.25	0.00					
6	15	5	2	1	5	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.27	0.27	0.27	37.75	38.50	37.61	37.48	37.03	37.7	0.28315	37.74	0.00					
7	12	15	1	5	4	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.27	0.27	0.27	11.92	12.27	11.57	12.34	11.72	12.0	0.11315	11.87	0.01					
8	13	8	8	14	1	1	1	1	1	1	1	1	0.27	0.27	0.27	23.28	24.09	24.02	23.10	23.79	23.7	0.19609	23.5	0.02					
9	11	2	6	10	8	1	-1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	8.52	8.67	8.49	8.29	8.24	8.4	0.03044	8.481	0.00					
10	8	11	15	2	3	1	1.215	0	0	0	0	0	0.746	-0.73	-0.73	18.68	18.76	19.36	18.41	19.08	18.9	0.13563	18.8	0.00					
11	6	7	11	9	6	1	0	-1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	20.15	20.35	20.93	20.18	20.92	20.5	0.1513	20.29	0.05					
12	10	4	5	7	9	1	0	1.215	0	0	0	0	-0.73	0.746	-0.73	8.04	7.76	7.96	7.85	8.23	8.0	0.03397	8.163	0.04					
13	5	14	9	15	10	1	0	0	-1.22	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	-5.84	-6.02	-5.68	-5.81	-5.76	-5.8	0.01651	-6.05	0.05					
14	14	3	10	11	2	1	0	0	1.215	0	0	0	-0.73	-0.73	0.746	26.05	26.02	25.21	25.11	25.41	25.6	0.19856	25.77	0.04					
15	4	13	4	12	13	1	0	0	0	0	0	0	-0.73	-0.73	-0.73	13.70	13.62	13.43	13.47	13.68	13.6	0.01541	13.62	0.00					
Коефіцієнти b <sub>i</sub>						13.62	4.25	-4.99	13.10	-0.21	1.78	-1.92	0.01	0.41	-2.55	Перевірка однорідності дисперсій					Перевірка адекватності моделі								
Перевірка значимості коефіцієнтів															ΣS <sub>y</sub> <sup>2</sup>		1.52		ΣS <sub>y</sub> <sup>2</sup>		0.27								
															S <sub>y</sub> <sup>2</sup> <sub>max</sub>		0.33		S <sub>y</sub> <sup>2</sup> <sub>max</sub>		0.20								
S <sup>2</sup> {Y}	0.101	S <sup>2</sup> {b <sub>i</sub> }			0.057	0.009223	0.0092	0.009	0.013	0.013	0.013	0.023	0.023	0.023	G	0.22		F		1.94									
q, %	5	S{b <sub>i</sub> }			0.24	0.096037	0.096	0.096	0.112	0.112	0.112	0.152	0.152	0.152	q, %	5		q, %		5									
V <sub>α</sub>	60	t <sub>i</sub>			56.81	44.20616	51.943	136.4	1.891	15.87	17.05	0.085	2.691	16.74	V <sub>t<sub>β</sub></sub>	4		V <sub>t<sub>β</sub></sub>		7									
t <sub>β</sub>	2	t - t <sub>β</sub>			54.81	42.20586	49.943	134.4	-0.11	13.67	15.05	-1.92	0.69	14.74	V <sub>2<sub>β</sub></sub>	15		V <sub>2<sub>β</sub></sub>		60									
Висновок						Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	Знач.	Знач.	Незн.	Знач.	G <sub>α</sub>	0.242		F <sub>α</sub>		2.04									
Рівняння регресії															G-G <sub>α</sub>		-0.02		F-F <sub>α</sub>		-0.10								
13.6200 + 4.2454 X1 - 4.9885 X2 + 13.0954 X3 + 1.7829 X1X3 - 1.9162 X2X3 + 0.4095 X2 <sup>2</sup> - 2.5477 X3 <sup>2</sup>															Висновок		Дисперсії однорідні		Висновок		Модель адекватна								



## Продовження додатку Г

Контрольовані змінні		V	$\alpha$	Апріорні відомості													
Верхній рівень		2.200	0.040	<div style="text-align: center;">           Параметр оптимізації  <i>Вибивання, %</i> </div>													
Нижній рівень		1.400	0.010														
Основний рівень		1.800	0.025														
Інтервал варіювання		0.400	0.015														
Зіркова точка $-\alpha$		1.400	0.010														
Зіркова точка $+\alpha$		2.200	0.040														
Матриця планування $2^2$ в кодованих значеннях змінних										Результати експерименту							
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів			Фактори процесу						$Y_{v,1}$	$Y_{v,2}$	$Y_{v,3}$	$Y_v$	$S_v^2$	$\tilde{Y}_v$	$(Y_v - \tilde{Y}_v)^2$	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$								
1	1	1	7	1	-1	-1	1	0.33	0.33	2.4511	2.586	2.4238	2.5	0.0075	2.3	0.04	
2	3	6	3	1	1	-1	-1	0.33	0.33	4.7776	4.9079	4.9288	4.9	0.0067	4.7	0.02	
3	7	5	9	1	-1	1	-1	0.33	0.33	1.507	1.4606	1.5427	1.5	0.0017	1.5	0.00	
4	2	9	2	1	1	1	1	0.33	0.33	4.213	4.1443	4.3966	4.3	0.017	4.3	0.00	
5	8	8	1	1	-1	0	0	0.33	-0.67	1.7801	1.817	1.8086	1.8	0.0004	1.9	0.01	
6	6	2	8	1	1	0	0	0.33	-0.67	4.5836	4.54	4.4655	4.5	0.0036	4.5	0.00	
7	5	7	6	1	0	-1	0	-0.67	0.33	2.6933	2.5265	2.5826	2.6	0.0072	2.8	0.04	
8	4	4	5	1	0	1	0	-0.67	0.33	2.4615	2.3099	2.4359	2.4	0.0066	2.2	0.04	
9	9	3	4	1	0	0	0	-0.67	-0.67	2.597	2.5997	2.5594	2.6	0.0005	2.5	0.01	
Коефіцієнти $b_i$				2.5	1.3	-0.30	0.09	0.71	0.05	Перевірка однорідності дисперсій			Перевірка адекватності моделі				
Перевірка значимості коефіцієнтів										$\Sigma S_v^2$	0.05		$\Sigma(Y_v - \tilde{Y}_v)^2$	0.16			
										$S_{v \max}^2$	0.02		$S_{ad}^2$	0.12			
$S^2\{Y\}$	0.0057	$S^2\{b_i\}$	0.0044	0.0009	0.0009	0.0014	0.0028	0.0028	$G$	0.33		$F$	2.4				
$q, \%$	5	$S\{b_i\}$	0.0665	0.0308	0.0308	0.0377	0.0533	0.0533	$q, \%$	5		$q, \%$	5				
$V_{zn}$	18	$t_i$	37.553	42.54	9.7529	2.4088	13.335	0.8824	$V_{1b}$	2		$V_{1b}$	4				
$t_{кр}$	2.10	$t_i - t_{кр}$	35.452	40.439	7.652	0.3079	11.234	-1.219	$V_{2b}$	9		$V_{2b}$	18				
Висновок			Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	$G_{кр}$	0.478		$F_{кр}$	2.93				
Рівняння регресії										$G - G_{кр}$	-0.15		$F - F_{кр}$	-0.49			
0,0002 + 0,0001 X1 – 0,0000 X2 + 0,0000 X1X2 + 0,0001 X1^2										Висновок		Дисперсії однорідні		Висновок		Модель адекватна	

## Продовження додатку Г

Контрольовані змінні				V	$\alpha$	Априорні відомості											
Верхній рівень				2.200	0.040	Параметр оптимізації $G$ - залишки пчки, кг											
Нижній рівень				1.400	0.010												
Основний рівень				1.800	0.025												
Інтервал варіювання				0.400	0.015												
Зіркова точка $-\alpha$				1.400	0.010												
Зіркова точка $+\alpha$				2.200	0.040												
Матриця планування $2^2$ в коданих значеннях змінних										Результати експерименту							
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів			Фактори процесу						$Y_{v,1}$	$Y_{v,2}$	$Y_{v,3}$	$Y_v$	$S_v^2$	$\hat{Y}_v$	$(Y_v - \hat{Y}_v)^2$	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$								
1	1	1	7	1	-1	-1	1	0.33	0.33	6.6856	6.3781	6.7046	6.6	0.0336	6.5	0.00	
2	3	6	3	1	1	-1	-1	0.33	0.33	4.0887	4.07	4.158	4.1	0.0022	4.4	0.10	
3	7	5	9	1	-1	1	-1	0.33	0.33	1.7382	1.6571	1.764	1.7	0.0031	1.5	0.05	
4	2	9	2	1	1	1	1	0.33	0.33	0.8213	0.7995	0.8182	0.8	0.0001	1.0	0.02	
5	8	8	1	1	-1	0	0	0.33	-0.67	1.9902	1.9383	2.0739	2.0	0.0047	2.3	0.08	
6	6	2	8	1	1	0	0	0.33	-0.67	1.4545	1.3808	1.3942	1.4	0.0015	1.0	0.21	
7	5	7	6	1	0	-1	0	-0.67	0.33	6.6132	6.2895	6.5967	6.5	0.0332	6.2	0.07	
8	4	4	5	1	0	1	0	-0.67	0.33	1.9273	1.941	1.8687	1.9	0.0015	2.0	0.01	
9	9	3	4	1	0	0	0	-0.67	-0.67	2.2612	2.2428	2.1164	2.2	0.0062	2.4	0.03	
Коефіцієнти $b_i$				2.4	-0.7	-2.12	0.39	-0.77	1.73	Перевірка однорідності дисперсій				Перевірка адекватності моделі			
Перевірка значимості коефіцієнтів										$\Sigma S_v^2$		0.09	$\Sigma(Y_v - \hat{Y}_v)^2$		0.56		
										$S_v^2_{max}$		0.03	$S^2_{ad}$		0.56		
$S^2\{Y\}$	0.0096	$S^2\{b_i\}$	0.0074	0.0016	0.0016	0.0024	0.0048	0.0048	$G$	0.39		$F$	3.0				
$q, \%$	5	$S\{b_i\}$	0.0863	0.0399	0.0399	0.0489	0.0692	0.0692	$q, \%$	5		$q, \%$	5				
$V_m$	18	$t_i$	27.628	16.617	53.209	8.0611	11.082	25.071	$V_{1b}$	2		$V_{1b}$	3				
$t_{sp}$	2.10	$t_i - t_{sp}$	25.527	14.516	51.108	5.9601	8.9814	22.97	$V_{2b}$	9		$V_{2b}$	18				
Висновок				Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	$G_{sp}$	0.478		$F_{sp}$	3.16			
Рівняння регресії										$G - G_{sp}$	-0.09		$F - F_{sp}$	-0.20			
0,0002 – 0,0001 X1 – 0,0002 X2 + 0,0000 X1X2 – 0,0001 X1^2 + 0,0002 X2^2										Висновок	Дисперсії однорідні		Висновок	Модель адекватна			

## Продовження додатку Г

Контрольовані змінні				V	$\alpha$	Апріорні відомості											
Верхній рівень				2.200	0.040	Параметр оптимізації <i>Кількість низькообрізаних, %</i>											
Нижній рівень				1.400	0.010												
Основний рівень				1.800	0.025												
Інтервал варіювання				0.400	0.015												
Зіркова точка $-\alpha$				1.400	0.010												
Зіркова точка $+\alpha$				2.200	0.040												
Матриця планування $2^2$ в кодованих значеннях змінних										Результати експерименту							
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів			Фактори процесу						$Y_{v,1}$	$Y_{v,2}$	$Y_{v,3}$	$Y_v$	$S_v^2$	$\bar{Y}_v$	$(Y_v - \bar{Y}_v)^2$	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1 X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$								
1	1	1	7	1	-1	-1	1	0.33	0.33	91.827	95.413	90.616	92.6	6.2233	93.0	0.12	
2	3	6	3	1	1	-1	-1	0.33	0.33	89.362	91.022	92.733	91.0	2.8406	91.3	0.08	
3	7	5	9	1	-1	1	-1	0.33	0.33	25.501	25.992	24.69	25.4	0.4326	26.1	0.54	
4	2	9	2	1	1	1	1	0.33	0.33	3.0116	3.1128	3.0018	3.0	0.0038	3.7	0.44	
5	8	8	1	1	-1	0	0	0.33	-0.67	84.394	85.881	86.234	85.5	0.9534	86.4	0.85	
6	6	2	8	1	1	0	0	0.33	-0.67	73.569	72.296	74.13	73.3	0.8829	74.4	1.13	
7	5	7	6	1	0	-1	0	-0.67	0.33	89.977	92.622	91.664	91.4	1.7935	92.1	0.51	
8	4	4	5	1	0	1	0	-0.67	0.33	14.452	15.506	14.982	15.0	0.2777	14.9	0.00	
9	9	3	4	1	0	0	0	-0.67	-0.67	78.762	82.494	81.932	81.1	4.0481	80.4	0.43	
Коефіцієнти $b_i$				80.4	-6.0	-38.61	-5.19	-0.67	-26.88	Перевірка однорідності дисперсій				Перевірка адекватності моделі			
Перевірка значимості коефіцієнтів										$\Sigma S_y^2$		17.46	$\Sigma (Y_v - \bar{Y}_v)^2$		4.09		
										$S_{y \max}^2$		6.22	$S_{ad}^2$		3.07		
$S^2\{Y\}$	1.9396	$S^2\{b_i\}$	1.5085	0.3233	0.3233	0.4849	0.9698	0.9698	$G$	0.36	$F$	2.6					
$q, \%$	5	$S\{b_i\}$	1.2282	0.5686	0.5686	0.6963	0.9848	0.9848	$q, \%$	5	$q, \%$	5					
$V_{zn}$	18	$t_i$	65.468	10.583	67.909	7.4579	0.6768	27.299	$V_{1b}$	2	$V_{1b}$	4					
$t_{sp}$	2.10	$t_i - t_{sp}$	63.368	8.4822	65.808	5.357	-1.424	25.198	$V_{2b}$	9	$V_{2b}$	18					
Висновок				Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	Знач.	$G_{sp}$	0.478	$F_{sp}$	2.93				
Рівняння регресії										$G - G_{sp}$	-0.12	$F - F_{sp}$	-0.29				
0,0080 – 0,0006 X1 – 0,0039 X2 – 0,0005 X1X2 – 0,0027 X2^2										Висновок	Дисперсії однорідні	Висновок	Модель адекватна				

## Продовження додатку Г

Контрольовані змінні				V	$\alpha$	Апріорні відомості										
Верхній рівень				2.200	0.040	Параметр оптимізації <i>Пошкодження, %</i>										
Нижній рівень				1.400	0.010											
Основний рівень				1.800	0.025											
Інтервал варіювання				0.400	0.015											
Зіркова точка $-\alpha$				1.400	0.010											
Зіркова точка $+\alpha$				2.200	0.040											
Зіркова точка $+\alpha$				2.200	0.040											
Матриця планування $2^2$ в коданих значеннях змінних										Результати експерименту						
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів			Фактори процесу						$Y_{v,1}$	$Y_{v,2}$	$Y_{v,3}$	$Y_v$	$S_v^2$	$\bar{Y}_v$	$(Y_v - \bar{Y}_v)^2$
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$							
1	1	1	7	1	-1	-1	1	0.33	0.33	0.4039	0.4006	0.4188	0.4	9E-05	0.3	0.01
2	3	6	3	1	1	-1	-1	0.33	0.33	3.6145	3.4093	3.5663	3.5	0.0115	3.6	0.00
3	7	5	9	1	-1	1	-1	0.33	0.33	1.5475	1.5393	1.544	1.5	2E-05	1.6	0.00
4	2	9	2	1	1	1	1	0.33	0.33	4.8725	4.613	4.8979	4.8	0.0249	4.8	0.00
5	8	8	1	1	-1	0	0	0.33	-0.67	1.1035	1.0589	1.0287	1.1	0.0014	1.1	0.00
6	6	2	8	1	1	0	0	0.33	-0.67	4.5083	4.5129	4.3477	4.5	0.0089	4.4	0.01
7	5	7	6	1	0	-1	0	-0.67	0.33	0.7191	0.6917	0.702	0.7	0.0002	0.7	0.00
8	4	4	5	1	0	1	0	-0.67	0.33	2.0669	1.94	2.0197	2.0	0.0041	2.0	0.00
9	9	3	4	1	0	0	0	-0.67	-0.67	1.4472	1.495	1.4985	1.5	0.0008	1.5	0.00
Коефіцієнти $b_i$				1.5	1.6	0.62	0.03	1.23	-0.17	Перевірка однорідності дисперсій				Перевірка адекватності моделі		
Перевірка значимості коефіцієнтів										$\Sigma S_y^2$	0.05		$\Sigma (Y_v - \bar{Y}_v)^2$	0.02		
										$S_y^2_{\max}$	0.02		$S^2_{ad}$	0.02		
$S^2\{Y\}$	0.0058	$S^2\{b_i\}$	0.0045	0.001	0.001	0.0014	0.0029	0.0029	$G$	0.43		$F$	0.2			
$q, \%$	5	$S\{b_i\}$	0.067	0.031	0.031	0.038	0.0537	0.0537	$q, \%$	5		$q, \%$	5			
$V_{zn}$	18	$t_i$	22.557	52.517	19.924	0.8469	23.004	3.1403	$V_{1b}$	2		$V_{1b}$	4			
$t_{sp}$	2.10	$t_i - t_{sp}$	20.456	50.416	17.823	-1.254	20.903	1.0394	$V_{2b}$	9		$V_{2b}$	18			
Висновок				Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	Знач.	Знач.	$G_{sp}$	0.478		$F_{sp}$	2.93		
Рівняння регресії										$G - G_{sp}$	-0.05		$F - F_{sp}$	-2.69		
0,0002 + 0,0002 X1 + 0,0001 X2 + 0,0001 X1^2 – 0,0000 X2^2										Висновок	Дисперсії однорідні		Висновок	Модель адекватна		

## Продовження додатку Г

Контрольовані змінні		$V$	$\alpha$	Апріорні відомості													
Верхній рівень		2.200	0.040	<div style="text-align: center;">           Параметр оптимізації  <i>Кількість низькообрізаних, %</i> </div>													
Нижній рівень		1.400	0.010														
Основний рівень		1.800	0.025														
Інтервал варіювання		0.400	0.015														
Зіркова точка $-\alpha$		1.400	0.010														
Зіркова точка $+\alpha$		2.200	0.040														
Матриця планування $2^2$ в кодованих значеннях змінних										Результати експерименту							
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів			Фактори процесу													
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y_{v,1}$	$Y_{v,2}$	$Y_{v,3}$	$Y_v$	$S_v^2$	$\hat{Y}_v$	$(Y_v - \hat{Y}_v)^2$	
1	1	1	7	1	-1	-1	1	0.33	0.33	2.0316	2.0668	1.9772	2.0	0.002	1.9	0.03	
2	3	6	3	1	1	-1	-1	0.33	0.33	3.0828	2.8942	3.0585	3.0	0.0105	2.2	0.62	
3	7	5	9	1	-1	1	-1	0.33	0.33	70.947	69.448	70.231	70.2	0.5624	69.5	0.53	
4	2	9	2	1	1	1	1	0.33	0.33	93.912	91.131	95.258	93.4	4.4303	92.1	1.81	
5	8	8	1	1	-1	0	0	0.33	-0.67	12.115	11.856	12.314	12.1	0.0527	10.0	4.29	
6	6	2	8	1	1	0	0	0.33	-0.67	22.577	22.547	21.93	22.4	0.1334	21.5	0.70	
7	5	7	6	1	0	-1	0	-0.67	0.33	3.0612	3.0143	3.1031	3.1	0.002	2.0	1.04	
8	4	4	5	1	0	1	0	-0.67	0.33	77.713	82.29	82.059	80.7	6.6482	80.8	0.01	
9	9	3	4	1	0	0	0	-0.67	-0.67	14.943	14.953	14.631	14.8	0.0336	15.8	0.86	
Коефіцієнти $b_i$				15.8	5.7	39.37	5.56	0.99	25.64	Перевірка однорідності дисперсій				Перевірка адекватності моделі			
Перевірка значимості коефіцієнтів										$\Sigma S_v^2$		11.88	$\Sigma(Y_v - \hat{Y}_v)^2$		9.90		
										$S_{v \max}^2$		6.65	$S_{ad}^2$		7.43		
$S^2\{Y\}$	1.3195	$S^2\{b_i\}$	1.0262	0.2199	0.2199	0.3299	0.6597	0.6597	$G$	0.44	$F$	0.3					
$q, \%$	5	$S\{b_i\}$	1.013	0.4689	0.4689	0.5743	0.8122	0.8122	$q, \%$	5	$q, \%$	5					
$V_{zn}$	18	$t_i$	15.566	12.25	83.959	9.68	1.2204	31.569	$V_{1b}$	2	$V_{1b}$	4					
$t_{xp}$	2.10	$t_i - t_{xp}$	13.465	10.149	81.858	7.5791	-0.881	29.468	$V_{2b}$	9	$V_{2b}$	18					
Висновок				Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	Знач.	$G_{xp}$	0.478	$F_{xp}$	2.93				
Рівняння регресії										$G - G_{xp}$	-0.04	$F - F_{xp}$	-2.64				
0,0016 + 0,0006 X1 + 0,0039 X2 + 0,0006 X1X2 + 0,0026 X2^2										Висновок	Дисперсії однорідні	Висновок	Модель адекватна				

## Продовження додатку Г

Журнал планування експерименту																	
Контрольовані змінні				$V$	$h$	Априорні відомості											
Верхній рівень				2,400	0,090	Параметр оптимізації <i>Крутний момент, Нм</i>											
Нижній рівень				1,600	0,010												
Основний рівень				2,000	0,050												
Інтервал варіювання				0,400	0,040												
Зіркова точка $-\alpha$				1,600	0,010												
Зіркова точка $+\alpha$				2,400	0,090												
Матриця планування $2^2$ в кодованих значеннях змінних											Результати експерименту						
№ точки плану	Порядок реалізації дослідів			Фактори процесу						$Y_{v,1}$	$Y_{v,2}$	$Y_{v,3}$	$Y_v$	$S_v^2$	$\tilde{Y}_v$	$(Y_v - \tilde{Y}_v)^2$	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$								
1	1	1	7	1	-1	-1	1	0,33	0,33	13,865	14,493	14,25	14,2	0,1	14,4	0,05	
2	3	6	3	1	1	-1	-1	0,33	0,33	20,666	20,303	20,597	20,5	0,0371	20,7	0,04	
3	7	5	9	1	-1	1	-1	0,33	0,33	18,531	18,157	17,384	18,0	0,3418	17,7	0,13	
4	2	9	2	1	1	1	1	0,33	0,33	33,646	35,369	35,763	34,9	1,267	34,6	0,13	
5	8	8	1	1	-1	0	0	0,33	-0,67	16,625	15,887	15,578	16,0	0,2891	16,0	0,00	
6	6	2	8	1	1	0	0	0,33	-0,67	27,967	27,216	27,682	27,6	0,1436	27,6	0,00	
7	5	7	6	1	0	-1	0	-0,67	0,33	15,744	15,593	15,399	15,6	0,0299	15,0	0,38	
8	4	4	5	1	0	1	0	-0,67	0,33	23,03	23,832	22,083	23,0	0,7661	23,5	0,27	
9	9	3	4	1	0	0	0	-0,67	-0,67	19,214	19,105	19,483	19,3	0,0378	19,2	0,00	
Коефіцієнти $b_i$				19,2	5,8	4,27	2,65	2,61	0,07	Перевірка однорідності дисперсій				Перевірка адекватності моделі			
Перевірка значимості коефіцієнтів										$\Sigma S_v^2$	3,01		$\Sigma (Y_v - \tilde{Y}_v)^2$	1,00			
										$S_{v \max}^2$	1,27		$S_{ad}^2$	0,75			
$S^2\{Y\}$	0,3347	$S^2\{b_i\}$	0,2603	0,0558	0,0558	0,0837	0,1674	0,1674	$G$	0,42		$F$	2,2				
$q, \%$	5	$S\{b_i\}$	0,5102	0,2362	0,2362	0,2893	0,4091	0,4091	$q, \%$	5		$q, \%$	5				
$V_{зи}$	18	$t_i$	37,693	24,565	18,084	9,146	6,3841	0,1617	$V_{1b}$	2		$V_{1b}$	4				
$t_{кр}$	2,10	$t_i - t_{кр}$	35,592	22,465	15,983	7,0451	4,2831	-1,939	$V_{2b}$	9		$V_{2b}$	18				
Висновок				Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Знач.	Незн.	$G_{кр}$	0,478		$F_{кр}$	2,93			
Рівняння регресії										$G - G_{кр}$	-0,06		$F - F_{кр}$	-0,68			
19,2320 + 5,8021 X1 + 4,2714 X2 + 2,6457 X1X2 + 2,6117 X1^2										Висновок	Дисперсії однорідні		Висновок	Модель адекватна			

**Міністерство освіти і науки України**  
**Дніпровський державний аграрно-економічний університет**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА  
ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ДЛЯ ЗРІЗАННЯ ГИЧКИ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: Лобаченко О. М.

Керівник Пономаренко Н. О.

2021

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2

**Метою магістерської роботи** є зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності робочих органів для відокремлення гички шляхом обґрунтування процесу та параметрів нового копінно-роторного відокремлювача гички.

**Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:**

1. Здійснити аналіз сучасних технологічних процесів та робочих органів для видалення гички і визначити напрями їх вдосконалення.
2. Розробити математичну модель процесу комбінованого відокремлення гички та обґрунтувати основні технологічні параметри робочого органа.
3. Обґрунтувати конструкційну схему копінно-роторного відокремлювача гички.
4. Розробити математичну модель копіювання робочим органом різновисоких головок коренеплодів.
5. Розробити математичну модель динамічної взаємодії робочого органу з гичкою та головкою коренеплоду.
6. Провести експериментальні дослідження для визначення раціональних параметрів та режимів роботи копінно-роторного відокремлювача гички.
7. Провести польові випробування розробленого пристрою та визначити показники технологічної ефективності процесу відокремлення гички.
8. Визначити техніко-економічну ефективність застосування робочого органа.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес відокремлення гички цукрових буряків.

**Предмет дослідження:** вплив параметрів нового робочого органа для відокремлення гички на показники якості процесу відокремлення гички цукрових буряків.



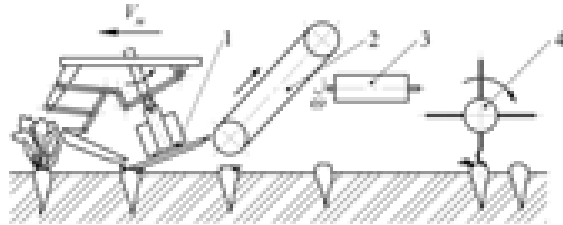


## КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ГИЧКИ

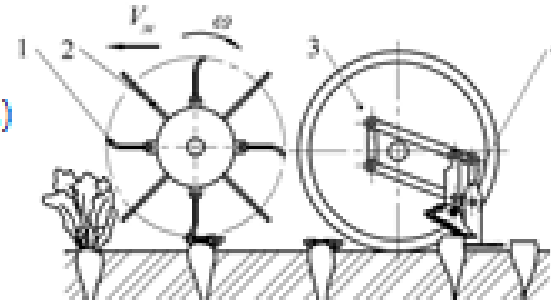


## ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ГИЧКИ

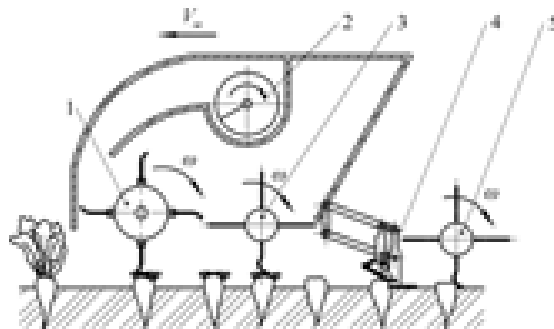
4



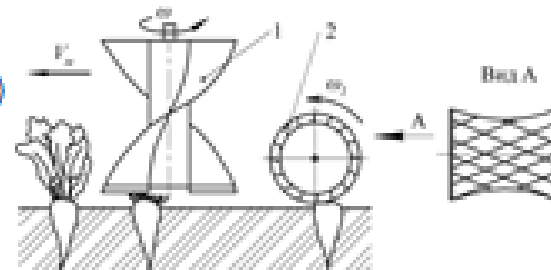
**БМ-6А**  
(1970-1990 рр.)  
 $V=1,5$  м/с  
 $N=44$  кВт



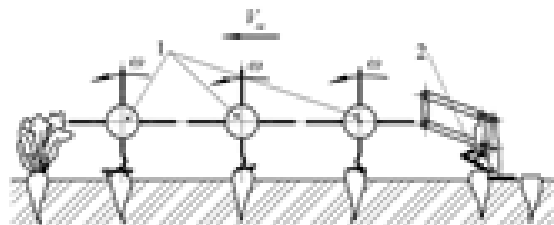
**GRIMME**  
(2000-2010 рр.)  
 $V=1,8$  м/с  
 $N=44$  кВт



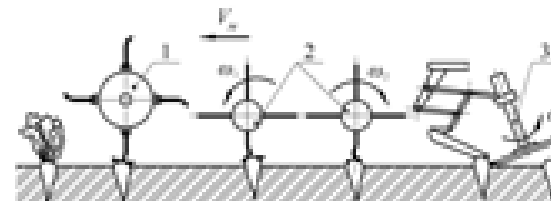
**KLEINE**  
(1980-2000 рр.)  
 $V=1,8$  м/с  
 $N=44$  кВт



**GARFORD VICTOR**  
(2000-2010 рр.)  
 $V=1,8$  м/с  
 $N=24$  кВт



**WIC AMITY  
TECHNOLOGI**  
(2000-2010 рр.)  
 $V=1,8$  м/с  
 $N=75$  кВт



**GRIMME BM330**  
(2000-2010 рр.)  
 $V=1,8$  м/с  
 $N=75$  кВт

## ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРґАНУ

5

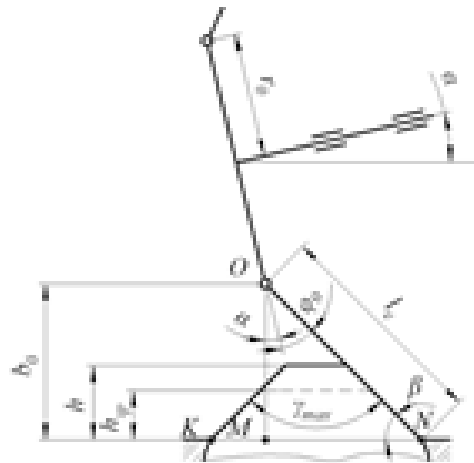


Схема обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів робочого органу

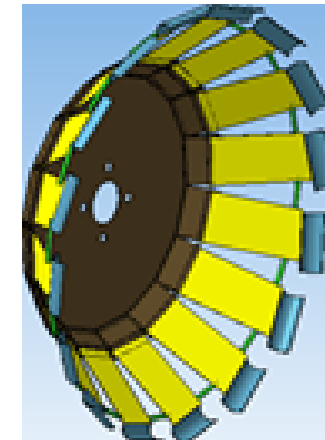
$$M_x = \omega^2 (a \sin 2\varphi + b \sin \varphi) \Rightarrow \varphi_0 = 50^\circ;$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi_0 - \beta; \quad l_c = \frac{b_0}{\sin \beta};$$

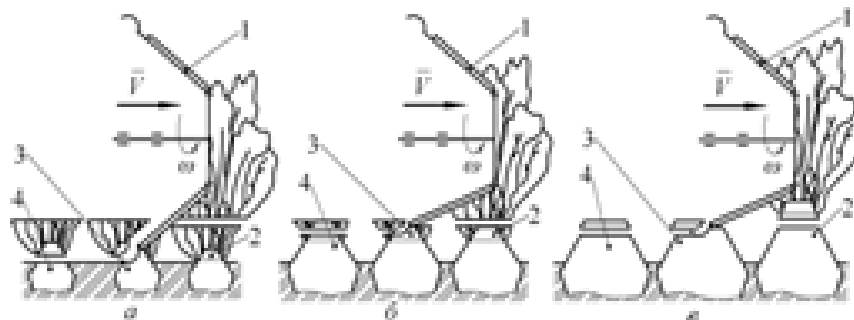
$$\alpha = 0^\circ, r_0 = 0,2\text{м}, \beta = 40^\circ, l_c = 0,11\text{м},$$

$$\varphi_0 = 50^\circ, \omega = 50 \dots 70 \text{с}^{-1}, V_p = 12 \dots 16 \text{м / с}.$$

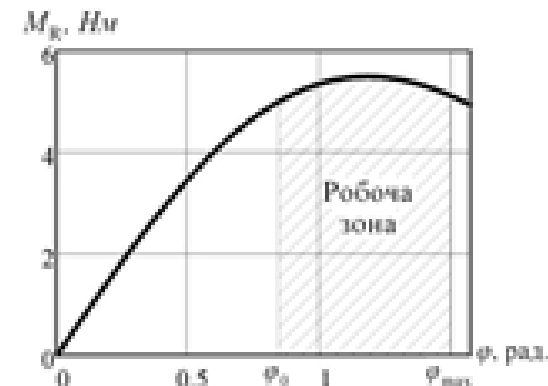
$$\beta = \frac{1}{2}(\pi - \gamma); \quad r_0 \geq \frac{V_p}{\omega} + h_x - b_0.$$



Конструкційна схема робочого органу



Технологічна схема робочого органу



Залежність моменту відцентрових сил від кута відхилення робочого елемента

## ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ КОПІЮВАННЯ РІЗНОВИСОКИХ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ

6

$$a = a' + a'' + a'''; \quad dF_y^i = -\gamma s a_y d\xi; \quad dF_x^i = -\gamma s a_x d\xi;$$

$$dM = -\gamma s (a_x \sin\varphi + a_y \cos\varphi) \xi d\xi; \quad M = \int_0^l [-\gamma s (a_x \sin\varphi + a_y \cos\varphi)] \xi d\xi;$$

$$m \omega^2 \left( \frac{l}{2} r_0 \sin\varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right) - m \frac{l^2}{3} \ddot{\varphi} = 0.$$

$$J \ddot{\varphi} + \sum M_x = 0;$$

$$M_x = M_k + M_n + M_u; \quad J = J_k + J_n + J_u;$$

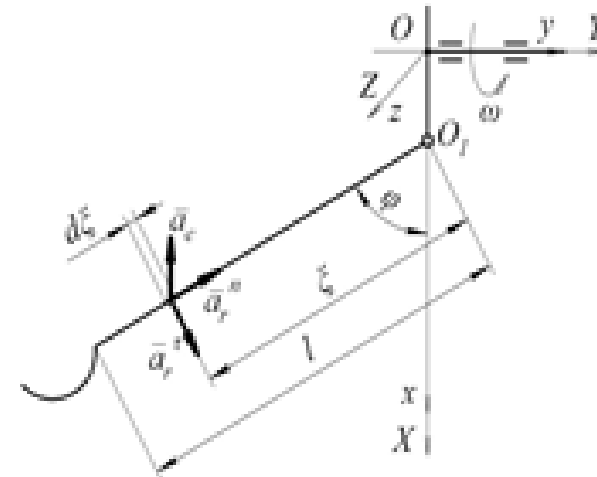
$$dF_z = -\omega^2 \gamma s (r_0 + \xi \cos\varphi) d\xi; \quad dM_x = -dF_z \cdot d_m; \quad dF_x^* = dF_x \sin\varphi;$$

$$M_x = m_x \omega^2 \left( \frac{l}{2} r_0 \sin\varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right); \quad M_x = m_x \omega^2 l_1 (r_0 + l_1 \cos\varphi)$$

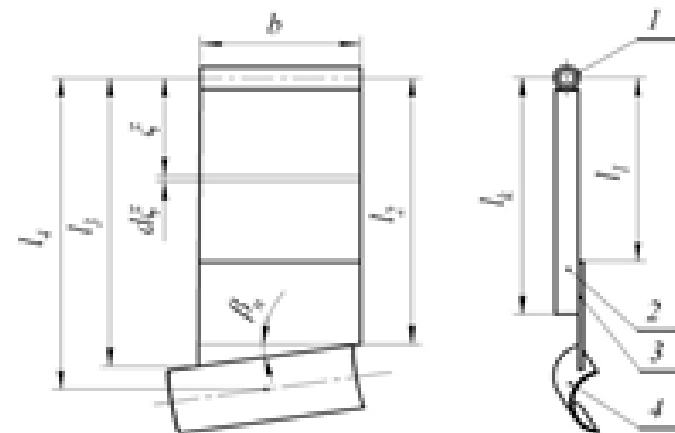
$$M_{mm} = \int_0^{l_1} [-\omega^2 \gamma_1 s_1 \sin\varphi (r_0 + \xi \cos\varphi) \xi] d\xi.$$

$$M_{mm} = \int_0^{l_1} \left[ -\omega^2 \gamma_1 \left( b - \frac{\xi - l_2}{\operatorname{tg}\beta_x} t \right) \sin\varphi (r_0 + \xi \cos\varphi) \xi \right] d\xi.$$

$$J \ddot{\varphi} + \omega^2 (a \sin 2\varphi + b \sin\varphi) = 0.$$

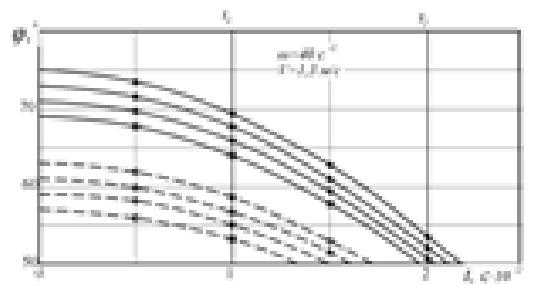
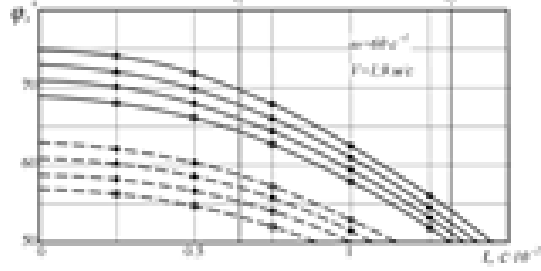
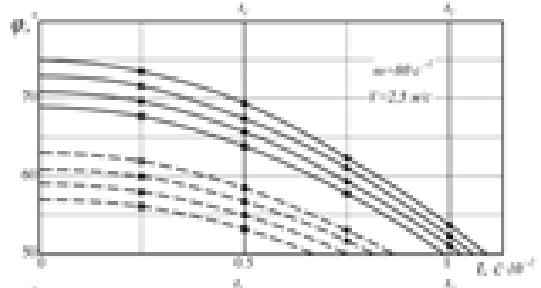


Еквівалентна схема робочого органу

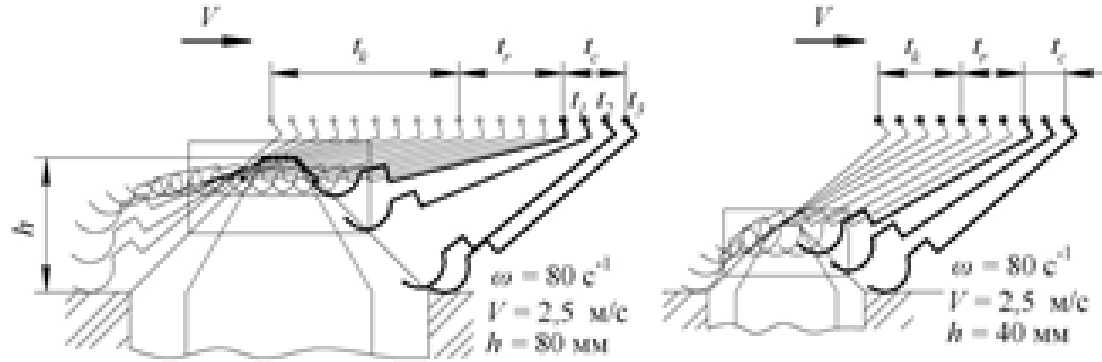


Конструкційна схема робочого елемента

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОПІЮВАННЯ РОБОЧИМ ОРГАНОМ РІЗНОВИСОКИХ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ 7



Залежність кута відхилення робочого елемента від часу



Графічний аналіз копіювання головок коренеплодів робочими елементами

$$t = \frac{0,11h + 10}{V} + \frac{htg\alpha + r_s \sigma \alpha g}{2} + \sqrt{l_s^2 - (d - r_s)^2} \quad d_s + (h - h_s)g\alpha + \sqrt{l_s^2 - (d - h_s + r_s)^2}$$

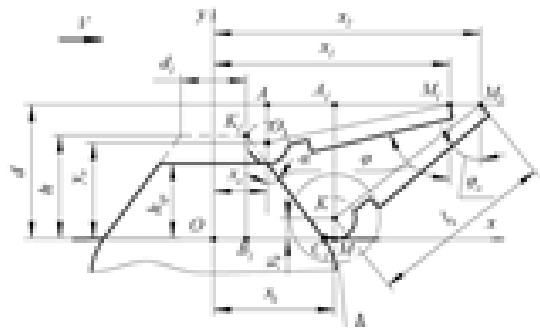
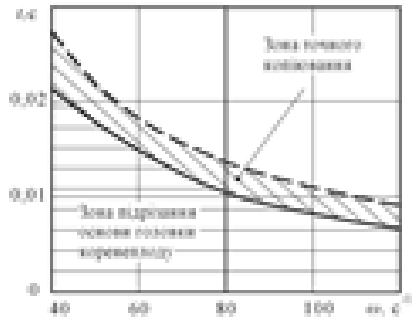


Схема визначення часу відновлення робочим органом вихідного положення



Залежність часу відновлення вихідного положення робочим елементом від кугової швидкості ротора

## **ПРОГРАМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

8

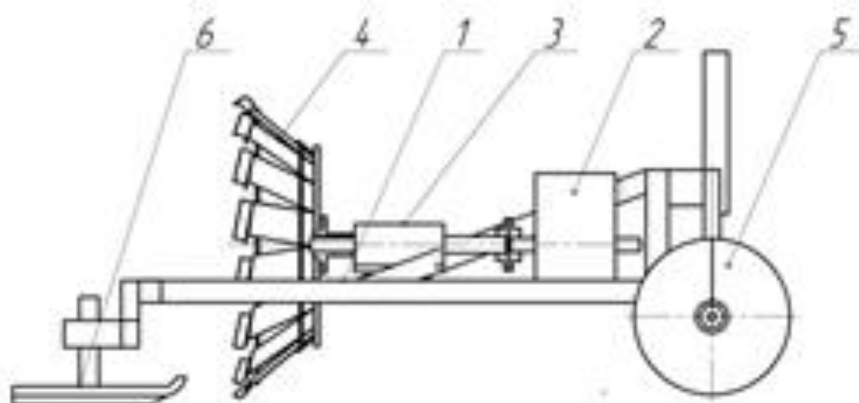
### **Програма експериментальних досліджень:**

1. Розробити конструкцію установки та розробити методику проведення лабораторних експериментальних досліджень.
2. Провести лабораторні експериментальні дослідження для визначення впливу конструктивних, кінематичних та технологічних параметрів робочого органа на показники якості процесу відокремлення гички.
3. Розробити конструкцію установки та методику проведення досліджень.
4. Провести експериментальні дослідження.

### **Вихідні вимоги до технологічного процесу згідно ДСТУ 2258 - 93, ДСТУ 7062:2009 та методики ІЦБ НААН**

1. Кількість зв'язаної гички на коренеплодах не більше, % - 1,5;
2. Нормально зрізані коренеплоди не менше, % - 85;
3. Низько зрізані коренеплоди не більше, % - 5;
4. Сильні механічні пошкодження коренеплодів не більше, % - 5;
5. Загальні пошкодження коренеплодів не більше, % - 20;
6. Втрати цукроносної маси не більше, % - 2.

## ОБЛАДНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Конструкційна схема експериментальної установки:  
 1 - основна рама; 2 – варіатор; 3 - проміжна опора;  
 4 - робочий орган; 5 - опорне колесо; 6 - копії.



Загальний вигляд експериментальної установки  
 для відокремлення гички



Загальний вигляд лабораторної установки

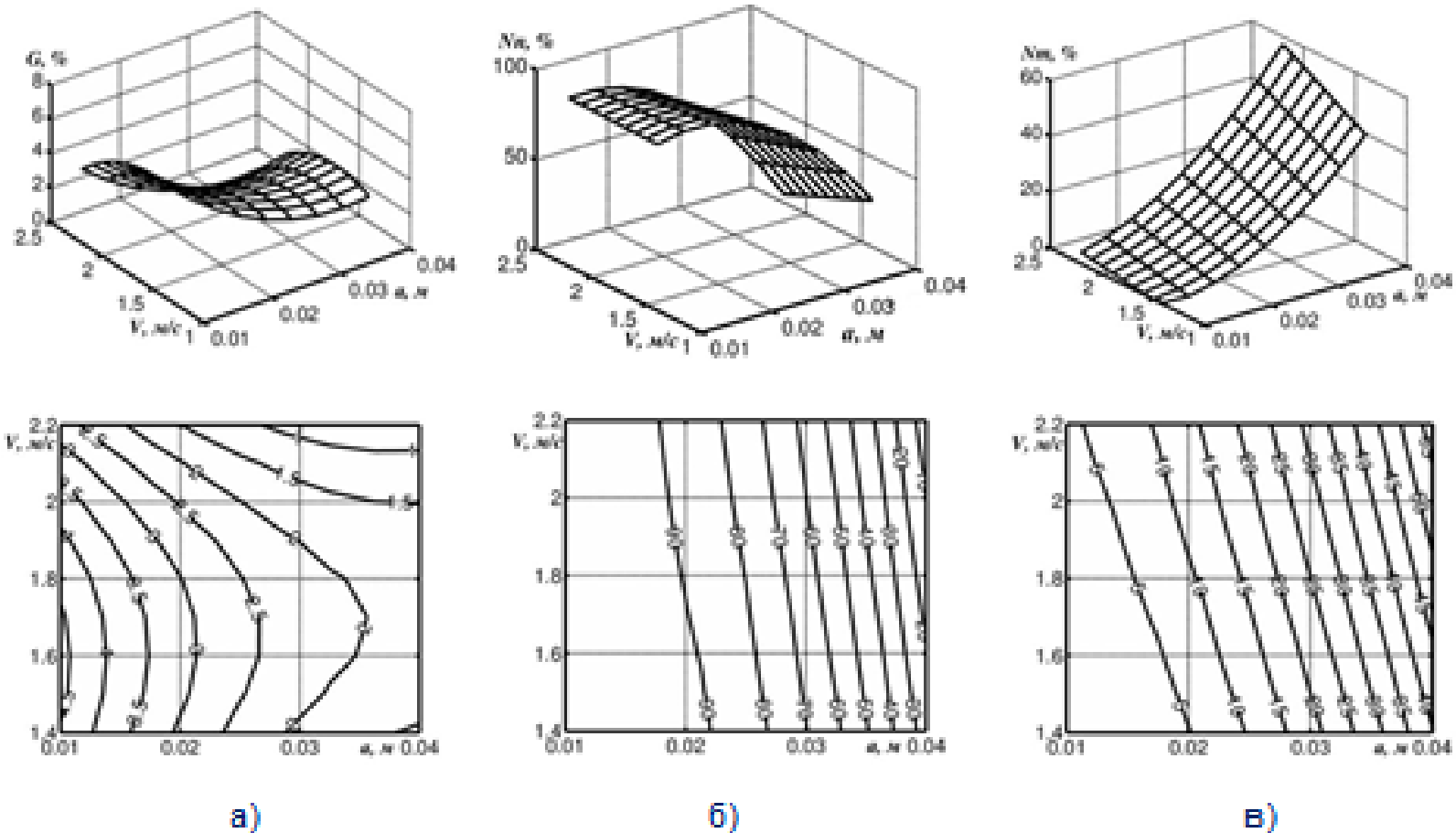
Фактори експериментальних досліджень

фактори	Позначення		Інтервал варіов.	Рівні варіованн.		
	Натур.	Код.		натур./кодовані		
Початковий вертикальний зазор, $a$ , $\text{хв}^{\circ}$	X1	$x_1$	0,015	0,04/+1	0,025/0	0,01/-1
Робоча швидкість руху, $V_p$ , м/с	X2	$x_2$	0,4	2,2/+1	1,8/0	1,4/-1



## РЕЗУЛЬТАТИ ПОЛЬОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

10



Залежності показників якості від конструктивно-технологічних параметрів:

а – залишків гички, б – кількості нормально обрізаних коренеплодів,

в – кількості низько обрізаних коренеплодів.

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ КОПІРНО-РОТОРНОГО ВІДОКРЕМЛЮВАЧА ГИЧКИ

11



Копірно-роторний гичкозрізальний апарат



Головки коренеплодів оброблені  
копірно-роторним гичкозрізальним апаратом

Показники технологічної ефективності  
застосування робочого органу

№	Показники	Варіант	
		базові дані	дослідна машина
1	Робоча швидкість $V$ , м/с	1,8	2
2	Годинна продуктивність $P$ , га/год	1,75	1,94
3	Урожайність коренеплодів, $Q$ т/га	40	40
4	Терміни збирання згідно ДСТУ	20.09-20.10	20.09-20.10
5	Тривалість зберігання $t$ , днів	30	30
7	Нормативне річне завантаження, год:		
	- трактора, $T_T$	1000	1000
	- машини, $t_M$	100	100
8	Балансова вартість, грн		
	- трактора, $B_T$	76900	76900
	- машини, $B_M$	35000	21000
9	Відрахування на реновацію, %		
	- трактора, $a_T$	16,2	16,2
	- машини, $a_M$	16,1	16,1
10	Відрахування на ТО і ПР, %		
	- трактора, $d_T$	9,9	9,9
	- машини, $d_M$	10	10
12	Забруднення зв'язаною гичкою, %	1,9	1,5
13	Втрати цукроносної маси в гичку, %	2,2	2
14	Пошкодження коренеплодів, %	6,0	4,8
15	Завалювання коренеплодів, %	0,8	0,2

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

12

1. Наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі, що полягає в обґрунтуванні технологічного процесу та параметрів робочого органу для відокремлення гички, яке забезпечило зменшення втрат цукроносної маси та підвищення продуктивності процесу відокремлення гички.

2. Внаслідок аналізу встановлено, що сучасні технічні засоби для відокремлення гички цукрових буряків не забезпечують якісне виконання технологічного процесу на підвищених швидкостях, співрозмірних із швидкостями коренезбиральних робочих органів. Виявлено тенденцію до зменшення інтервалу копінного зрізу у сучасних машинах для відокремлення гички. Встановлено, що робочі органи, які використовують відношлювальну відцентрову силу інерції точно копіюють різновисокі головки коренелюдів.

3. Обґрунтована конструкційна схема та розроблено копінно-роторний відокремлювач гички, що суміщає операції комбінованого відокремлення гички. З умов мінімальних динамічних навантажень на коренеллід, стабільності контакту робочого елемента з головкою коренелюду та копіювання максимального переладку головок коренелюдів визначено раціональні значення конструкційно-технологічних параметрів робочого органу: довжина робочого елемента  $l_0 = 0,155$  м, радіус осі підвісу робочих елементів  $r_0 = 0,2$  м, початковий кут відхилення робочого елемента від площини обертання  $\varphi_0 = 50^\circ$ ; діаметр ротора –  $D = 600$  мм; при частоті обертання ротора  $n = 500 - 700$  хв<sup>-1</sup> швидкість різання – не менше 12 м/с.

4. Розроблено математичну модель копіювання робочим органом різновисоких головок коренелюдів, яку підтверджено експериментально. Відхилення теоретичних значень від експериментальних даних не перевищило 2%.

5. Із аналізу динамічної взаємодії робочого органу з головкою коренелюду визначено обмеження швидкості поступального руху  $V = 1,3...2,2$  м/с та відповідної кутової швидкості обертання ротора  $\omega = 40...70$  с<sup>-1</sup> за умовою не перевищення динамічною горизонтальною складовою нормальної реакції робочого органу на коренеллід статичного значення критичної сили горизонтального опору вибиванню коренелюду з ґрунту – 200...300 Н. За розрахунками отримано наступні значення контактних сил: динамічна сумарна нормальна реакція робочого органу на коренеллід складає 100...200 Н, горизонтальна складова нормальної реакції, що направлена вздовж рядка, дорівнює 60...120 Н, горизонтальна складова нормальної реакції, що направлена впоперек рядка – 4...10 Н, вертикальна складова нормальної реакції – 70...140 Н.

6. Експериментальними дослідженнями підтверджено раціональні значення технологічних параметрів робочого органу з якими виконуються агротехнічні вимоги: швидкість поступального руху  $V = 1,4...2,2$  м/с, відповідна кутова швидкість ротора  $\omega = 40...70$  с<sup>-1</sup>, початковий вертикальний зазор  $a = 10...20$  мм. Після проходження робочого органу отримано наступні показники якості: залишки гички – менше 2%, кількість пошкоджених коренелюдів – 1... 4%, кількість косо обрізаних коренелюдів – менше 1%, кількість нормально обрізаних коренелюдів – 85...90%.

7. Річний економічний ефект від застосування нового копінно-роторного відокремлювача гички, який реалізує розроблений технологічний процес комбінованого зрізу з агротехнічно допустимими втратами цукроносної маси, складає близько 235 грн/га.

