

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА**  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.  
Зав. кафедри к.т.н., доцент  
(науковий ступінь, вчене звання)  
Андрій ВОЙТІК  
(підпис) (ініціали, прізвище)

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

магістр

(освітній рівень)

тема роботи **«ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ  
ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім  
освітньої програми магістр  
спеціальності 208  
«Агроінженерія»  
Колісник І.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник к.е.н., доцент, Кутковецька Т.О.  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Освітня програма магістр  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
Андрій ВОЙТІК  
“ ” 20 \_\_ р.

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

студенту Коліснику Івану Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля кормових буряків»

керівник роботи Кутковецька Т.О., к.е.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
“ 04 ” листопада 2024 р. № 01-06/297

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи; напрацювання науковців щодо конструкцій робочих органів бурякозбиральних машин.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; аналіз конструкцій робочих органів гичкозбиральних модулів; теоретичні та експериментальні дослідження робочих органів гичкозбирального модуля; охорона праці; економічна ефективність застосування гичкозбирального модуля.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження;

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи                                              | Строк виконання етапів роботи | При-мітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1.    | Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу                  | 12.09.2024 р.                 |           |
| 2.    | Розділ 1. Сучасний стан досліджуваного питання. Мета і завдання досліджень | 26.09.2024 р.                 |           |
| 3.    | Розділ 2. Теоретичні дослідження                                           | 11.10.2024 р.                 |           |
| 4.    | Розділ 3. Експериментальні дослідження                                     | 31.10.2024 р.                 |           |
| 5.    | Розділ 4. Охорона праці                                                    | 08.11.2024 р.                 |           |
| 6.    | Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування                                 | 19.11.2024 р.                 |           |
| 7.    | Виконання ілюстративної частини роботи                                     | 21.11.2024 р.                 |           |
| 8.    | Представлення роботи керівнику на перевірку                                | 22.11.2024 р.                 |           |

## РЕФЕРАТ

Колісник І.С. Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля кормових буряків (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 66 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 30 рисунків, 9 таблиць, 23 джерела літератури).

В дипломній роботі вирішено актуальне завдання підвищення показників якості збирання гички коренеплодів кормових буряків.

Одним із резервів підвищення показників якості роботи машин для збирання кормових буряків є поліпшення технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків шляхом застосування удосконалених робочих органів: роторного гичкоріза, гвинтового конвеєра та обрізника залишків гички гичкозбирального модуля.

Об'єкт дослідження – технологічний процес збирання гички, робочі органи гичкозбирального модуля, гичка коренеплодів.

Предмет дослідження – взаємозв'язок впливу конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів на показники якості роботи гичкозбирального модуля.

Метою роботи є підвищення показників технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків шляхом розроблення та обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

**Ключові слова:** ГИЧКА, КОРЕНЕПЛОДИ, РОБОЧІ ОРГАНИ, ОБРІЗНИК, ГИЧКОЗБИРАЛЬНИЙ МОДУЛЬ, ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР.

## ЗМІСТ

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                              | 6  |
| РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ.....                                                     | 7  |
| 1.1. Аналіз конструкцій робочих органів гичкозбиральних модулів.....                                    | 7  |
| 1.2. Обґрунтування вибору схеми гичкозбирального модуля.....                                            | 14 |
| 1.3. Мета і завдання дослідження.....                                                                   | 20 |
| Висновки по розділу.....                                                                                | 20 |
| РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....                                                                  | 21 |
| 2.1. Аналіз технологічної подачі зрізаних рослинних компонентів до<br>гвинтового конвеєра.....          | 21 |
| 2.2. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів гвинтового<br>конвеєра.....                    | 27 |
| Висновки по розділу.....                                                                                | 37 |
| РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....                                                             | 38 |
| 3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.....                                              | 38 |
| 3.2. Експериментальні дослідження секундної подачі рослинних компонентів<br>до гвинтового конвеєра..... | 39 |
| 3.3. Експериментальні дослідження продуктивності роботи гвинтового<br>конвеєра.....                     | 44 |
| 3.4. Експериментальні дослідження вдосконаленого обрізника залишків<br>гички.....                       | 48 |
| Висновки по розділу.....                                                                                | 56 |
| РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                            | 57 |
| 4.1. Організація охорони праці в господарстві.....                                                      | 57 |
| 4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з бурякозбиральним<br>комбайном.....                    | 58 |
| Висновки по розділу.....                                                                                | 50 |
| РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ<br>ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ.....                          | 60 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....                                                                                  | 63 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                         | 64 |

## ВСТУП

Подолання кризової ситуації аграрного сектору України неможливе без подальшої розробки принципово нових підходів до створення й використання високоефективних прогресивних технологій збирання сільськогосподарської продукції.

Необхідне забезпечення кормової бази тваринництва за рахунок збільшення обсягів вживання коренеплодів кормових буряків у значній мірі стримується ще низьким рівнем механізації їх виробництва і, особливо, збирання, як і гички, так і коренеплодів. Залежно від умов роботи загальні втрати та пошкодження кормових буряків складають більше 5...10 %.

Значні втрати і пошкодження коренеплодів пояснюються використанням недосконалих робочих органів для зрізування основного масиву гички та обрізування її залишків з головок коренеплодів, котрі при цьому не забезпечують належних показників якості зрізування головок і вивалюють з ґрунту значну кількість коренеплодів (до 35 %).

Одним із резервів підвищення показників якості роботи машин для збирання кормових буряків є поліпшення технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків шляхом застосування удосконалених робочих органів роторного гичкоріза, гвинтового конвеєра та обрізника залишків гички гичкозбирального модуля. Тому, тема дипломної роботи на сьогодні є актуальною.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

#### 1.1. Аналіз конструкцій робочих органів гичкозбиральних модулів.

Велика різноманітність конструктивних та компоновальних схем гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин, від гичкозрізувальних роторів до обрізників головок коренеплодів від залишків гички тісно пов'язана, як з існуючими технологіями збирання гички та коренеплодів, так і з агротехнічними вимогами до показників якості їх збирання.

З часу застосування перших технічних засобів для механізованого збирання коренеплодів (Франція, 1890 р. та Бельгія, 1907 р.) у світовій практиці накопичено великий досвід в області створення відповідних робочих органів коренезбиральних машин, в тому числі і для збирання основного масиву гички та видалення її залишків з головок коренеплодів.

За різноманітності способів механічного збирання гички (зрізування, відбивання, відривання, зминання тощо найбільш поширеними є двостадійний спосіб збирання гички робочими органами гичкозбирального модуля – зрізування основного масиву гички ножами 1 роторного гичкоріза 2 (рис. 1.1, а, в) з наступним видаленням залишків гички з головок коренеплодів методом її обрізування обрізником 3 (рис. 1.1, а, г) головок коренеплодів, або відбивання залишків гички пружними очисними елементами 4 (рис. 1.1, д), які розміщено на секціях 5 горизонтального вала 6.

Останній метод залежно від конструктивно-технологічних параметрів робочих органів може спричиняти, як просту деформацію залишків гички, наприклад, зсув, так і складну деформацію.

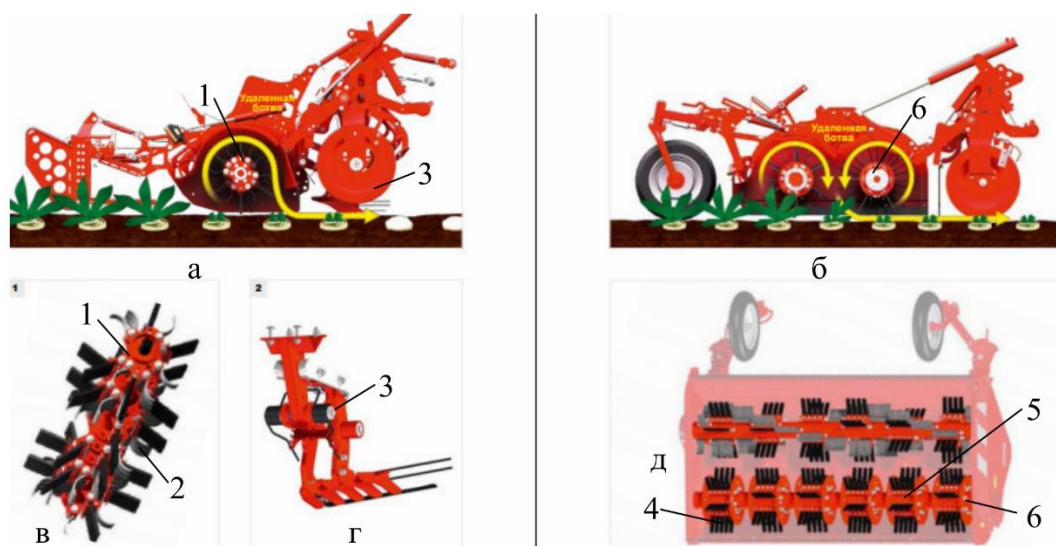


Рисунок 1.1 – Схеми робочих органів гичкозбирального модуля коренезбиральної машини Rexor 620/630 Grimme, Німеччина:

а – схема модуля з обрізником залишків гички; б – схема модуля з очисником головок від залишків гички; в – схема роторного гичкоріза; г – схема обрізника головок коренеплодів; д – схема очисного вала з пружними елементами; 1 – ніж; 2 – роторний гичкоріз; 3 – обрізник головок коренеплодів; 4 – пружні очисні елементи; 5 – секція; 6 – приводний вал

Зрізування, за якого збирання гички відбувається в результаті різання лезом ножа роторного гичкоріза 1 (рис. 1.2), застосовується, як для видалення основної маси гички, так і її залишків під час обрізування головок коренеплодів. Причому, ножі (активні чи пасивні) виконують, як правило, різання гички (чи головок коренеплодів) без підпору, тобто без протирізальних елементів, чи зустрічного руху ножів. Це зумовлено, в першу чергу, фізико-механічними властивостями коренеплодів та технологією збирання (використання) гички – збирання гички на корм шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.2, а) та переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром і завантаження її через дефлектор 3 у причіп 4 транспортного засобу, або у якості органічних добрив шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.2, б, в) і переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром 2 до горизонтального роторного розкидача 5 та наступного розкидання подрібненої гички 6 горизонтальним ротором 5 на поле [17].

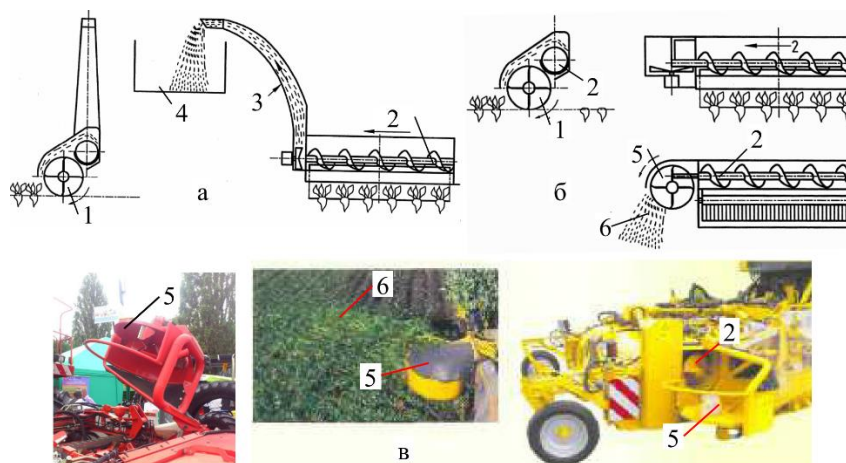


Рисунок 1.2 – Схеми та загальний вигляд використання зібраної гички:

а – збирання гички на корм; б, в – розкидання гички на зібране поле; 1 – роторний гичкоріз; 2 – шнековий конвеєр; 3 – дефлектор; 4 – причіп транспортного засобу; 5 – горизонтальний роторний розкидач гички; 6 – подрібнена гичка

Велика кількість створених конструкцій робочих органів, вузлів та компоновальних схем гичкозбиральних машин потребує диференційованого підходу при виборі, розрахунку, проектуванні, дослідженні та впровадженні нових розробок у виробництво.

За способом збирання гичкозбиральні машини класифікують на одно-, дво- і трифазні. За формою гичкоріза (формою робочих органів, які зрізують гичку) розрізняють роторні машини (горизонтальний роторний гичкоріз), дискові машини (дисковий вертикальний або похилий гичкоріз), шнекові машини (шнековий вертикальний гичкоріз).

Гичкозрізуючі апарати, виконуючі як однофазне, так і двофазне зрізання, поділяють за типом робочих органів. За принципом дії ріжучих елементів гичкозрізувальні пристрої можна поділити на три основних типи [7]: гичкозрізувальні пристрої, ріжучі елементи яких здійснюють поступальний та зворотно-поступальний рух; гичкозрізувальні пристрої, ріжучі елементи яких здійснюють обертовий рух.

На основі дослідження технологічних процесів зрізування гички коренеплодів і конструктивно-технологічних схем гичкозбиральних машин, можна констатувати, що на сучасному етапі збирання гички коренеплодів кормових

буряків відбувається у складі коренезбиральної машини у два етапи: на першому етапі зрізують основний масив гички гичкозрізувальними пристроями; на другому етапі видаляють залишки гички з головок коренеплодів видаляючими пристроями, рис. 1.3 [15].

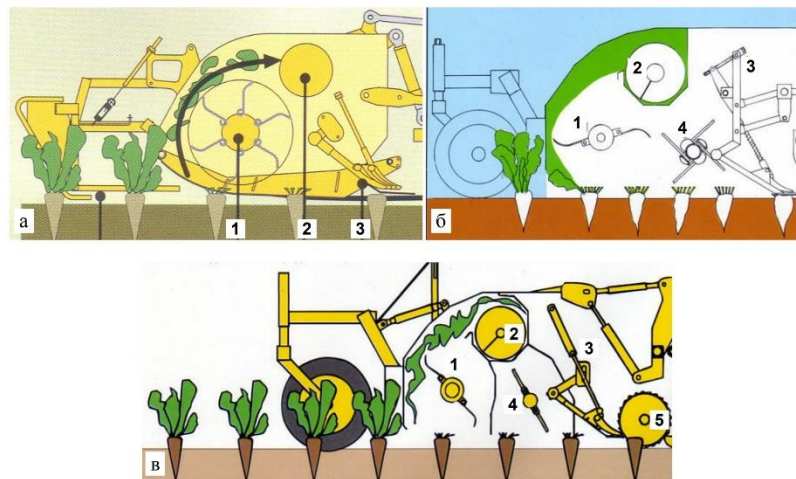


Рисунок 1.3 – Функціональна схема збирання гички гичкозбиральним модулем коренезбиральної машини KR-6 фірми «Kleine»:

а – однофазне видалення залишків гички з головок коренеплодів; б, в – двофазне видалення залишків гички з головок коренеплодів; 1 – роторний гичкоріз; 2 – шнековий конвеєр; 3 – обрізник головок коренеплодів з пасивним ножем; 4 – очисник головок; 5 – обрізник головок коренеплодів з активним дисковим ножем

При цьому гичкозрізувальні пристрої зрізують основний масив гички тільки за принципом «на корені», яке відбувається без копіювання головок коренеплодів (безкопірний зріз), а видалення залишків гички з головок коренеплодів може відбуватися за одну або дві фази: однофазне видалення – видалення залишків гички з головок коренеплодів обрізником (рис. 1.3, а); двофазне видалення – попереднє видалення залишків гички шляхом очищення головок коренеплодів пружними елементами та кінцеве – обрізником (рис. 1.3, б, в) [6].

Гичкозрізувальні пристрої, які збирають основний масив гички без копіювання головок коренеплодів виконуються, як правило, у вигляді роторного гичкоріза 1, рис. 1.3. Він простий за конструктивним виконанням і надійні в роботі у технологічному плані.

Роторний гичкоріз складається з вала 1, на барабані 2 якого шарнірно закріплені ріжучі ножі 3 (рис. 1.4), які виконані S-подібними. S-подібні ножі отримали широке застосування в машинах провідних фірм країн Західної Європи («Matrot», «Herriau», «Stoll», «Fahse», «Kleine», «Tim» та ін.) та США [1].

Окрім того на барабані 2, залежно від способу видалення залишків гички з головок коренеплодів, можуть встановлюватися очисні пружні елементи 4.

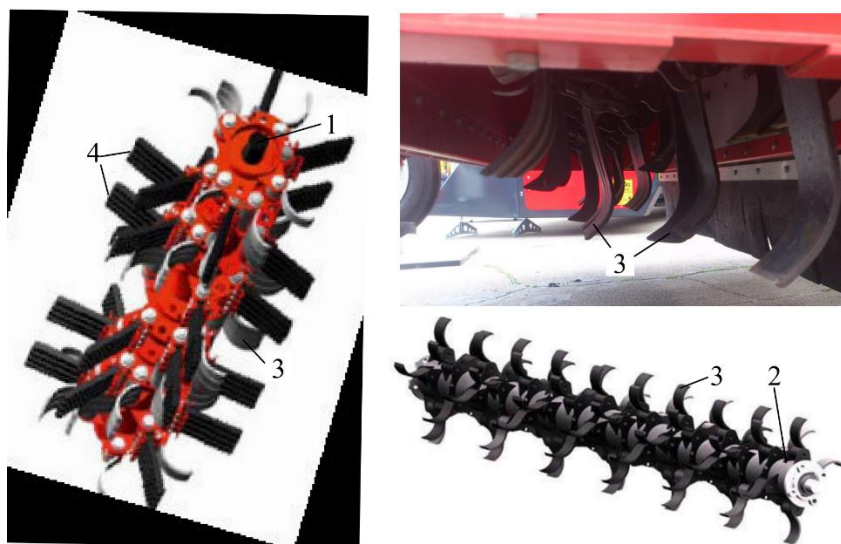


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд роторного гичкоріза:

1 – вал; 2 – барабан; 3 – S-подібні ножі; 4 – пружні елементи

Різні моделі гичкозрізувальних модулів з роторним гичкорізом відрізняються одна від одної конструкцією роторного гичкоріза, очисника головок коренеплодів і обрізувача головок коренеплодів від залишків гички.

Під час роботи роторних гичкозрізувальних модулів, гичка зрізується на рівні основного масиву розташування головок відносно поверхні ґрунту, при цьому нерівномірність їх розташування в рядку не впливає на якість роботи пристрою. Завдяки безступінчастому регулюванню робочої висоти роторного гичкоріза досягається оптимальна висота зрізування основного масиву гички з головок середньо- та високостоячих коренеплодів і задовільна якість роботи на забур'яненних полях та відповідній робочій швидкості руху машини.

Роторний гичкоріз забезпечує високу продуктивність роботи машини в процесі збирання високоврожайної гички і доволі значної наявності бур'янів на

плантації рослин. У свій час у вітчизняній практиці машинобудування даний тип апарату для збирання основного масиву гички коренеплодів широкого використання не одержав внаслідок того, що гичка дуже подрібнювалася і після цього ставала непридатною для згодовування худобі [16].

Для транспортування зрізаного основного масиву гички застосовують шнековий конвеєр, який виконується у вигляді жолоба 1 (рис. 1.5) та встановленого в ньому шнека 2, який вивантажує гичку у валок на зібране поле.

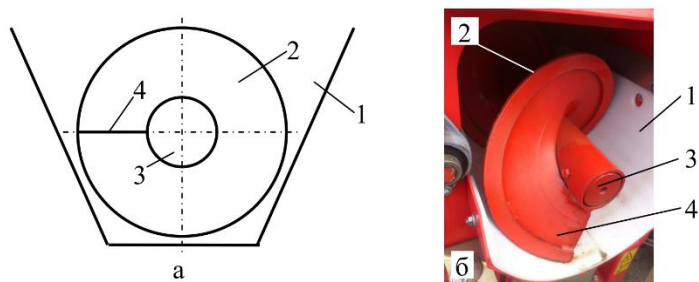


Рисунок 1.5 – Схема (а) та загальний вигляд (б) шнекового конвеєра гичкозбирального модуля: 1 – жолоб; 2 – шнек; 3 – барабан; 4 – спіральний виток

У сучасних гичкозбиральних машинах для обрізування залишків гички з головок коренеплодів найбільше розповсюдження одержали обрізники головок коренеплодів трьох типів, які розрізняють за конструкцією і компоновкою основних робочих органів – формою копіра та конструкцією ріжучого ножа: пасивний копір-пасивний ніж (рис. 1.6, а); пасивний копір-активний ніж (рис. 1.6, б); активний копір-пасивний ніж (рис. 1.6, в).

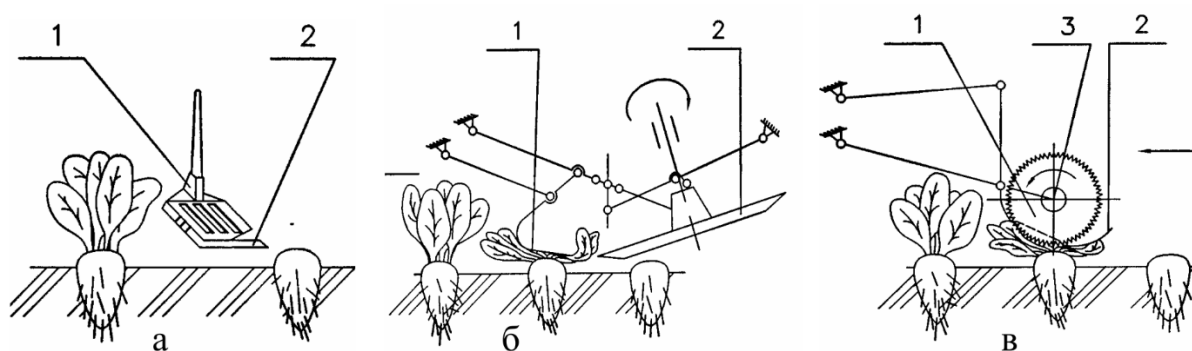


Рисунок 1.6 – Схема обрізника залишків гички з головок коренеплодів:

а – пасивний копір-пасивний ніж; б – пасивний копір-активний дисковий ніж;  
в – активний дисковий копір-пасивний ніж

Обрізник, який розроблявся та виконувався за принципом «активний копір-активний ніж» не було впроваджено у серійне виробництво за основною причиною – значні подвійні динамічні навантаження активного копіра та ріжучого ножа на головку коренеплоду призводили до значних пошкоджень і вивалювань коренеплодів з ґрунту [9].

Обрізник, в якому пасивний копір 1 (рис. 1.6, б) поєднується з активним дисковим ножем 2 застосовуються на полях з середньою врожайністю гички, низьким розташуванням головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту та значним закріпленням коренеплодів в ґрунтового середовищі.

Пасивний копір може бути виготовлений у вигляді гребінки, або полозка. Такі обрізники працюють задовільно при швидкості руху гичкозбиральної машини до 1,3...1,6 м/с в широкому діапазоні погодних умов і забезпечують достатній збір гички [23]. Але при збільшенні робочої швидкості руху значно погіршується технологічний процес зрізування гички, що приводить до значного підвищення втрат маси головки коренеплодів і їх вивалювання з ґрунту за рахунок випадкової нерівномірності заданої висоти зрізування головок коренеплодів.

Поєднання активного каткового копіра 1 (рис. 1.6, б), який обертається на осі 3 та пасивним ножем 2 є типовим для обрізників машин Е-732, Е-734, (Німеччина), 30СХ (Чехія). Вони застосовуються на полях коренеплодів із високою врожайністю гички (до 40...50 т/га), яка збирається для використання у якості соковитих кормів [7].

Проте, такий тип обрізника не знайшов широкого застосування під час зрізування гички кормових буряків – значне розташування головок коренеплодів вище поверхні ґрунту (до 15...20 см) призводило до значного вибивання кормових буряків з ґрунтового середовища – від 25 до 40 % [4].

Обрізники з пасивним копіром 1 (рис. 1.6, а) і пасивним ножем 2 застосовуються для обрізування залишків гички з головок коренеплодів, з яких гичка попередньо видалена (машини фірм «Kleine», «Herriau», «Stoll», «Moreau» та ін.).

## 1.2. Обґрунтування вибору схеми гичкозбирального модуля.

На сучасному етапі розвитку коренезбиральної техніки гичку коренеплодів збирають двостадійним способом. Реалізація двостадійного способу збирання гички виконується робочими органами гичкозбирального модуля у складі коренезбиральної машини і, як правило, відбувається за однофазного способу збирання коренеплодів, рис. 1.7.

На першій стадії збирають основний масив гички, при цьому виконують такі технологічні операції: зрізування основного масиву гички роторним гичкорізом з одночасним переміщенням подрібненої гички до шнекового конвеєра; транспортування (переміщення) подрібненої гички шнековим конвеєром; вивантаження гички шнеком і її укладання у валок на зібране поле, або розкидання по полю роторним гичкометальником, який встановлено за вихідним кінцем шнека [5].



Рисунок 1.7 – Структурна схема модульної побудови коренезбиральної машини

Велика різноманітність компоновальних схем гичковидаляючих механізмів гичкозбиральних машин, від зрізувальних робочих органів для збирання основного масиву гички до обрізників головок коренеплодів, пов'язана як із технологіями збирання, так із вимогами до показників якості гички та коренеплодів після збирання. Зважаючи на це, вибір перспективних компоновальних схем та розробка нових конструкцій гичкозбиральних модулів, повинні базуватися на світовому досвіді, враховуючи при цьому особливості агробіологічних і фізико-механічних властивостей і характеристик коренеплодів кормових буряків і вітчизняних агротехнічних, техніко-економічних, екологічних та інших виробничих вимог.

У зв'язку з наявними суттєвими конструктивними та технологічними недоліками роботи робочих органів гичкозбиральних модулів (пошкодження, вибивання коренеплодів з ґрунту та втрати коренеплодів у важких умовах збирання, динамічні навантаження на головки коренеплодів тощо), що значно обмежує їх застосування для збирання гички коренеплодів кормових буряків [104], більшість авторів акцентують увагу на тому, що інтенсивність і ступінь динамічного навантаження робочих органів на головки коренеплодів залежить не тільки від технологічних параметрів процесу зрізування гички, а також від агробіологічних і фізико-механічних властивостей коренеплодів і гички, які регламентують кінематично-динамічні характеристики процесу їх збирання [13].

У результаті аналізу технологічних процесів і робочих органів, які призначені для збирання гички коренеплодів, а також теоретично-експериментальних досліджень, які характеризують обґрунтування основних параметрів та режимів роботи гичкозбиральних механізмів (пристроїв, агрегатів) встановлено, що на даний час домінуючим способом збирання гички кормових буряків є зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з наступним зрізуванням залишків гички з головок коренеплодів обрізником типу «пасивний копір-пасивний ніж» [13], рис.1.8.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд обрізника залишків гички з головок коренеплодів:

1 – паралелограмна підвіска; 2 – пасивний гребінчастий копір;

3 – пасивний плоский ніж

Він складається з паралелограмної підвіски 1 (рис. 1.8) на якій змонтовано пасивний гребінчастий копір 2 та встановлений за ним пасивний плоский ніж 3. Під

час руху гичкозбирального модуля копір 2 наїжджає на головки коренеплодів і копіює їх. Цей рух копіра через паралелограмну підвіску передається ножу, який обрізує головки коренеплодів на заданій копіром висоті зрізування.

Загальним недоліком роботи роторних гичкорізів і обрізників залишків гички з головок коренеплодів є те, що процеси зрізування основного масиву гички та зрізування залишків гички з головок коренеплодів відбуваються за рахунок реалізації жорсткого методу «рублення» матеріалу гички, що призводить до відносно незадовільної якості обрізування головок коренеплодів, їх значних сколів і косих зрізів головок і, як наслідок, значного пошкодження та значних втрат [13].

На основі проведеного аналізу показників якості роботи та технологічних показників збирання гички існуючими гичкозрізувальними механізмами, нами запропоновано удосконалений гичкозбиральний модуль, конструктивна схема якого наведена на рис. 1.9 [10].

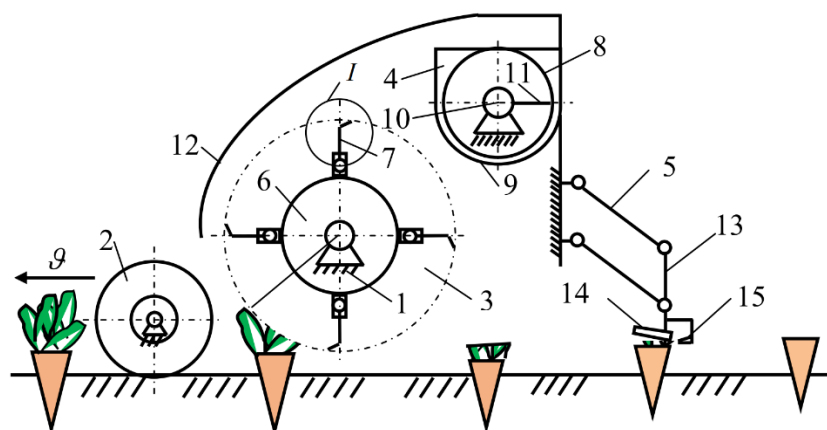


Рисунок 1.9 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля:

- 1 – рама; 2 – колесо опорне; 3 – роторний гичкоріз; 4 – гвинтовий конвеєр;  
 5 – обрізник; 6, 10 – барабан; 7 – Г-подібний ніж; 8 – шнек; 9 – жолоб; 11 – виток;  
 12 – кожух направляючий; 13 – паралелограмна підвіска; 14 – гребінчастий копір;  
 15 – плоский ніж

Гичкозбиральний модуль складається з рами 1, на якій встановлено опорні колеса 2, роторний гичкоріз 3, гвинтовий конвеєр 4, обрізувачі 5 головок коренеплодів. Роторний гичкоріз виконано у вигляді барабана 6, на якому шарнірно встановлено ножі 7. Гвинтовий конвеєр виконано у вигляді шнека 8, встановленого

у жолобі 9. Шнек 8 виконано у вигляді барабана 10 на якому закріплено спіральні витки 11. Верхня частина ножів і гвинтового конвеєра закрыта кожухом 12. Позаду жолоба змонтовано обрізувачі головок коренеплодів, кожен з яких виконано у вигляді паралелограмної шарнірної підвіски 13, на якій послідовно змонтовано пасивний гребінчастий копір 14 і плоский ніж 15. Ножі обертаються зустрічно напрямку руху гичкозбирального модуля, а висота зрізування основного масиву гички регулюється вертикальним переміщенням опорних коліс на рамі.

Удосконалення робочих органів гичкозбирального модуля полягає у наступному:

- роторний гичкоріз – ножі 7 (рис. 1.10), або, відповідно, ножі 1 (див. рис. 1.10, а) виконано Г-подібної форми, які за допомогою опорних пластин 2, що закріплені на барабані 3 роторного гичкоріза та пальця 4, встановлено шарнірно. Лезо 5 ріжучої кромки 6 ножа Г-подібної форми утворює з горизонтальною віссю обертання барабана 3 гострий кут  $\alpha$ ;

- гвинтовий конвеєр – крок спіральних витків 11 (рис. 1.10) шнека 8 збільшується в сторону вивантаження зрізаної гички;

- обрізник залишків гички з головок коренеплодів – плоский ніж 15 (рис. 1.10), або, відповідно, ніж 10 (рис. 1.10, б) встановлено на нерухомому вертикальному пальці 8 з можливістю його повороту та завдяки пружини 9 виконано підпружиненням; ніж 4 (рис. 1.10, в) завдяки блоку приводу 8 ножа виконано активним з можливістю зворотно-поступального руху в горизонтальній площині; копір 14 (рис. 1.10), або, відповідно, гребінчастий копір 2 (рис. 1.10, г) встановлено на амортизаторі 3.

Гичкозбиральний модуль працює наступним чином.

Під час переміщення гичкозбирального модуля вздовж рядків коренеплодів кормових буряків і обертання роторного гичкоріза 3 (рис. 1.10), Г-подібні ножі 7 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії направлення кожуха 12 так, щоб вона попадала в жолоб 9, або на шнек 8. Спіральні витки 11 шнека 4 транспортують гичку вздовж осі обертання шнека 4 в сторону його вихідної частини.



приводить у рух ніж 4, що рухається паралельно до своєї ріжучої кромки. Обрізавши головку коренеплодів ніж 4 здійснює зворотній рух у вихідне положення за допомогою блоку приводу 8 ножа 4.

Крім того, під час зустрічі копіра 2 (рис. 1.10, г) з головою коренеплодів відбувається ударна взаємодія робочої поверхні гребінчастого копіра 2 з головою коренеплодів, що призводить до їх вивалювання з ґрунту, або пошкодження. Завдяки виконанню гребінчастого копіра 2 пружним, або наявності амортизатора удару 3, виконаного у вигляді пружної прокладки, сила удару гребінчастого копіра 2 значно зменшується за рахунок того, що частина енергії удару витрачається на деформацію амортизатора 3, або компенсується на деформацію прокладки. При цьому ця частина сили удару не передається на через кронштейн 1 на шарнірні з'єднання паралелограмної шарнірної навіски і копіру 2. Це знижує вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження.

Таким чином, заміна процесу рублення головок коренеплодів процесом різання з проковзування леза ріжучої кромки Г-подібного ножа роторного гичкоріза та підпружиненого ножа обрізувача покращує якість зрізу основного масиву гички та обрізування головок за рахунок значного зменшення кількості їх сколів, а введення в конструкцію обрізувача головок коренеплодів амортизатора удару зменшує кількість вивалених і пошкоджених коренеплодів під час роботи гичкозбирального модуля.

Базовими елементами, які регламентують визначення конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля є: дослідження процесу подачі зрізаної гички до гвинтового конвеєра; теоретично-експериментальне обґрунтування процесу роботи гвинтового конвеєра на основі узгодження подачі гички до нього та його пропускної здатності або продуктивності роботи; дослідження процесу переміщення активного ножа по поверхні головки коренеплоду; експериментальні дослідження показників якості виконання технологічного процесу залежно від зміни основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів.

### **1.3. Мета і завдання дослідження.**

Метою роботи є підвищення показників технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків шляхом розроблення та обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

Завданнями наукового дослідження є:

1. Обґрунтувати конструктивно-технологічну схему гичкозбирального модуля на основі розробки вдосконалених робочих органів для збирання гички.
2. Уточнити математичну модель продуктивності гвинтового конвеєра, залежності для визначення діаметра та частоти обертання шнека шляхом узгодження секундної подачі рослинних компонентів і коефіцієнта заповнення шнека.
3. Провести експериментальні дослідження секундної подачі гички до гвинтового конвеєра та його продуктивності роботи, пошкодження та кількості вивалених коренеплодів з ґрунту робочими органами обрізника залежно від параметрів процесу.
4. Визначити економічну ефективність застосування вдосконаленого та базового гичкозбирального модуля.

### **Висновки по розділу.**

Отже, виходячи з проведеного аналізу стану питання, можна зробити такі висновки:

1. Технологічний процес збирання гички коренеплодів кормових буряків існуючими механізмами не забезпечує встановлених показників якості зрізу головки, пошкодження, втрат та вивалювання коренеплодів з ґрунту згідно з агротехнічними вимогами.
2. Підвищення агротехнічних показників якості збирання гички коренеплодів кормових буряків доцільно здійснювати із застосуванням гичкозбирального модуля, у якого ніж обрізника головок коренеплодів виконано підпружиненим і з можливістю його повороту на пальці або який виконано активним і який при цьому здійснює зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині, а копір встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної прокладки.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Аналіз технологічної подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра.

Технологічний процес роботи удосконаленого гичкозбирального модуля в першу чергу регламентується та в значній мірі залежить від кількісної технологічної подачі до гвинтового конвеєра 4 (рис. 1.9) рослинних компонентів, які зрізані Г-подібними ножами 7 роторного гичкоріза 3.

При цьому технологічна подача зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра в свою чергу також залежить від урожайності гички коренеплодів кормових буряків і масової кількості бур'янів, їх агробіологічних характеристик і властивостей, швидкості руху модуля для збирання гички, його ширини захвату, або кількості рядків коренеплодів з яких одночасно зрізується гичка, показників якості зрізування та підбирання зрізаної гички робочими органами [13].

Для обґрунтування параметрів гичкозбирального модуля на стадії його конструктивної розробки та проектування доцільно проаналізувати та визначити на теоретичному рівні можливі межі зміни технологічної подачі зрізаних ножами роторного гичкоріза рослинних компонентів до гвинтового конвеєра з метою отримання аналітичних функціональних закономірностей зміни технологічної подачі гички від параметрів насаджень коренеплодів кормових буряків і технологічних параметрів роботи гичкозбирального модуля (рис. 2.1).

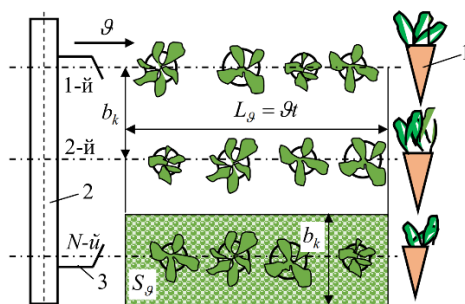


Рисунок 2.1 – Схема до розрахунку подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра: 1 – коренеплід; 2 – роторний гичкоріз; 3 – ніж

Відомо, що у загальному аспекті теоретична подача зрізаних ножами роторного гичкоріза рослинних компонентів з одного рядка коренеплодів за проміжок часу  $t$ , яку позначимо через  $\Pi_{kl}(t)$ , складається з сумарної подачі зрізаної гички  $\Pi_{zl}(t)$  та подачі бур'янів  $\Pi_{\delta l}(t)$ , які знаходяться в рядку, або в одному суміжному міжрядді:

$$\Pi_{kl}(t) = \Pi_{zl}(t) + \Pi_{\delta l}(t). \quad (2.1)$$

Якщо збирання гички відбувається з  $N$  рядків коренеплодів 1 (рис. 2.1), тоді сумарна теоретична подача зрізаних ножами 3 роторного гичкоріза 2 рослинних компонентів  $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t)$  до гвинтового конвеєра за проміжок часу  $t$  визначається за формулою [12]:

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t) = \sum_{i=1}^N \Pi_{zi}(t) + \sum_{i=1}^N \Pi_{\delta i}(t), \quad i = 1, 2, \dots, N_i, \quad (2.2)$$

де  $\sum_{i=1}^N \Pi_{zi}(t)$  – сумарна подача зрізаної гички з  $N_i$  рядків коренеплодів, кг;

$\sum_{i=1}^N \Pi_{\delta i}(t)$  – сумарна подача зрізаних бур'янів з  $N_i$  міжрядь коренеплодів, кг.

Теоретична подача зрізаної гички  $\Pi_{zl}(t)$  ножами роторного гичкоріза з кожного одного  $i$ -го рядка коренеплодів за проміжок часу  $t$  залежить в основному від кількості коренеплодів  $K_{zi}$  з яких зрізано гичку ножами роторного гичкоріза та маси зрізаної гички  $M_{z2l}$  (кг), яка залежить від урожайності гички  $i$ -го рядка коренеплодів  $U_{zl}$ .

Кількість коренеплодів  $K_{zl}(t)$  (шт.) одного  $i$ -го рядка з якого зрізано гичку залежить від швидкості руху модуля  $\vartheta$ , або шляху  $L_{\vartheta} = \vartheta t$ , який пройде модуль за час  $t$  і середньої кількості коренеплодів  $k_z$ , які розташовуються на 1 погонному метрі рядка (1 п.м). При цьому  $k_z$  залежить від густоти насаджень посівів культури одного  $i$ -го рядка, яку позначимо через  $\Gamma_{kl}$ , яка в свою чергу залежить від середньої відстані між коренеплодами в рядку  $c_k$ .

Тоді кількість коренеплодів  $K_{zl}(t)$  (шт.) на одному  $i$ -му рядку з якого зрізано гичку ножами роторного гичкоріза за час  $t$  руху модуля можна визначити за однією з таких формул:

$$K_{z1}(t) = L_g k_z = \vartheta t k_z; \quad K_{z1}(t) = \frac{L_g}{c_k} = \frac{\vartheta t}{c_k}; \quad K_{z1}(t) = \Gamma_{k1} S_g = \Gamma_{k1} \vartheta t b_k, \quad (2.3)$$

де  $k_z$  – середня кількість коренеплодів на 1 п.м рядка, шт.;  $c_k$  – середня відстань між коренеплодами в рядку, м;  $\vartheta$  – швидкість руху модуля, м/с;  $\Gamma_k$  – наявна густина насаджень коренеплодів в одному  $i$ -му рядку на час збирання, шт./м<sup>2</sup>.

Теоретична подача зрізаних бур'янів  $\Pi_{\bar{o}}(t)$  ножами роторного гичкоріза з кожного одного  $i$ -го міжряддя коренеплодів за проміжок часу  $t$  залежить в основному від шляху  $L_g = \vartheta t$ , який пройде модуль за час  $t$  і ширини міжряддя  $b_k$  посівів коренеплодів, або площі  $S_g$  з якої зрізано бур'яни, питомої маси  $M_{\bar{o}}$  бур'янів на  $i$ -му міжрядді коренеплодів, або  $\Pi_{\bar{o}1}(t) = S_g(t) M_{\bar{o}}$ .

На першому етапі аналізу технологічної подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра розглянемо вирішення спрощеної задачі, приймаючи такі припущення та спрощення:

- урожайність гички кожного окремого  $K_{z\text{-го}}$  коренеплоду однакова, тобто рівна середньому значенню  $U_{c,z}$ ;

- кількість бур'янів на площі  $S_g$  з якої зрізано бур'яни, або відповідна питома маса бур'янів на площі  $S_g$  кожного одного  $i$ -го міжряддя однакова, тобто рівна середньому значенню,  $M_{\bar{o},c}$ ;

- густина насаджень коренеплодів кожного одного  $i$ -го рядка на час збирання однакова, тобто рівна середньому значенню  $\Gamma_{k,c}$ , що рівнозначно однаковій кількості коренеплодів  $k_z$ , які розташовуються на 1 п.м рядка, або кількості коренеплодів  $K_{z1}$ , які знаходяться на довжині на шляху  $L_g = \vartheta t$  кожного одного  $i$ -го рядка, або рівна середньому значенню  $K_{z,c}$ .

Тоді середня теоретична подача зрізаної гички  $\Pi_{z,c}(t)$  з кожного одного  $i$ -го рядка коренеплодів кормових буряків і зрізаних бур'янів  $\Pi_{\bar{o},c}(t)$  з кожного одного  $i$ -го міжряддя ножами роторного гичкоріза за проміжок часу  $t$  та прийнятих припущень є однаковою або дорівнює одна одній.

Отже, з врахуванням наведених записів  $\Pi_{z1}(t) = U_{z1} S_g K_{z1}(t)$ ,  $\Pi_{\bar{o}1}(t) = S_g(t) M_{\bar{o}}$  і третьої залежності  $K_{z1} = \Gamma_{k1} \vartheta t b_k$  з (2.3), середня теоретична подача зрізаної гички  $\Pi_{z,c}(t)$  (кг) з кожного одного  $i$ -го рядка та зрізаних бур'янів  $\Pi_{\bar{o},c}(t)$  (кг) з кожного

одного  $i$ -го міжряддя коренеплодів ножами роторного гичкоріза до гвинтового конвеєра за проміжок часу  $t$  буде визначатися за формулою:

$$\Pi_{z.c}(t) = \frac{dL_g}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} U_{z.c} \frac{dL_g}{dt} t b_k = \left( \frac{dL_g}{dt} \right)^2 b_k^2 t^2 \Gamma_{k.c} U_{z.c}; \quad \Pi_{\bar{o}.c}(t) = \frac{dL_g}{dt} b_k t M_{\bar{o}.c}, \quad (2.4)$$

де  $U_{z.c} = \text{const}$  – середня урожайність гички кожного  $K_z$ -го коренеплоду,  $\text{кг/м}^2$ ;  $M_{\bar{o}.c} = \text{const}$  – середня питома маса бур'янів кожного одного  $i$ -го міжряддя коренеплодів,  $\text{кг/м}^2$ .

Тоді згідно з (2.2) і (2.4) сумарна теоретична подача  $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t)$  (кг) зрізаних ножами 3 (рис. 2.1) роторного гичкоріза 2 з  $N$  рядків рослинних компонентів (гички та бур'янів) до гвинтового конвеєра за проміжок часу  $t$  визначається за формулою:

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{dL_g}{dt} \right)^2 b_k^2 t^2 \Gamma_{k.c} U_{z.c} N_i + \frac{dL_g}{dt} b_k t M_{\bar{o}.c} N_i = \sum_{i=1}^N \frac{dL_g}{dt} N_i t b_k \left( \frac{dL_g}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} U_{z.c} + M_{\bar{o}.c} \right). \quad (2.5)$$

Проте під час зрізування гички з головок коренеплодів 1 (рис. 2.1) і з поверхні поля бур'янів, їх подрібнення за ознакою обертання ножів роторного гичкоріза та переміщення подрібнених гички та бур'янів по траєкторії направленої руху до жолоба гвинтового конвеєра, відбуваються втрати подрібненої гички та бур'янів [10]. Для врахування втрат гички та бур'янів введемо поправочний коефіцієнт втрат гички, який позначимо через  $\mu_z$  і поправочний коефіцієнт втрат бур'янів, який позначимо через  $\mu_{\bar{o}}$ .

Тоді поправочний коефіцієнт втрат гички та бур'янів  $\mu_z$  буде дорівнювати  $\mu_z = 1,0 - (0,08 + 0,1) = 0,82$ , а поправочний коефіцієнт втрат бур'янів –  $\mu_{\bar{o}} = 1,0 - 0,1 = 0,9$ .

Подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра за час  $t=1$  с, або секундна подача  $\Pi_k$  (кг/с) визначається за виразом:

$$\Pi_k = \mathcal{N} b_k \left( 0,82 \cdot 10^{-4} \mathcal{B}_k t \Gamma_{k.c} U_{z.c} + 0,9 M_{\bar{o}.c} \right), \quad (2.6)$$

де  $\Gamma_{k.c}$  – густина насаджень коренеплодів, тис. шт./га;  $U_{z.c}$  – урожайність гички коренеплодів, ц/га.

Згідно з [2] коренезбиральні машини задовільно виконують робочий процес збирання коренеплодів на робочій швидкості руху в межах 1,6...2,2 м/с. Згідно з

агротехнічними вимогами питома маса бур'янів в полі на час збирання коренеплодів повинна бути не більше  $0,1 \text{ кг/м}^2$ .

За початкових умов  $b_k=0,45 \text{ м}$ ,  $N=6 \text{ шт.}$ ,  $M_{б.с}=0,1 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Gamma_{k.c}=80\ldots110 \text{ тис. шт./га}$ ,  $U_{г.с}=50\ldots100 \text{ ц/га}$  [9] і згідно із формулою (2.6) побудовано залежності зміни секундної подачі  $\Pi_k$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, які наведено на рис. 2.2.

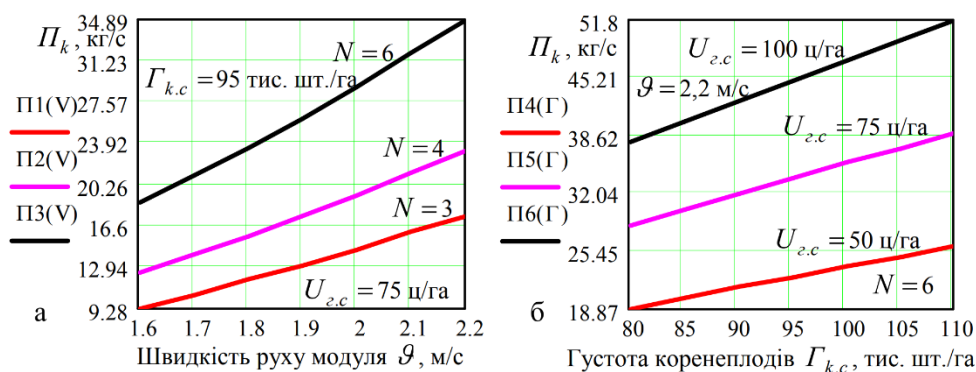


Рисунок 2.2 – Залежність секундної подачі  $\Pi_k$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра: а –  $\Pi_k=f_{\Pi}(\theta)$ ; б –  $\Pi_k=f_{\Pi}(\Gamma_{k.c})$

Згідно з графічними побудовами (рис. 2.2) можна констатувати, що зміна секундної подачі  $\Pi_k$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра має прямо пропорційний характер – зі збільшенням швидкості руху  $\theta$  гичкозбирального модуля, кількості рядків коренеплодів  $N$  (рис. 2.2, а), густоти насаджень  $\Gamma_{k.c}$  і урожайності гички  $U_{г.с}$  коренеплодів (рис. 2.2, б) секундна подача  $\Pi_k$  також збільшується. За прийнятих початкових умов, залежно від зміни  $\theta$  і  $\Gamma_{k.c}$ , секундна подача  $\Pi_k$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра модуля знаходиться в межах від 9 до 35 кг/с (рис. 2.2, а) та від 19 до 52 кг/с (рис. 2.2, б).

При цьому вагомий і значний вплив на зміну секундної подачі  $\Pi_k$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра має зміна урожайності гички  $U_{г.с}$  та густоти насаджень  $\Gamma_{k.c}$  коренеплодів (рис. 2.2, б), що характерно для реальних агротехнологічних умов виробництва коренеплодів [9].

Сумарна теоретична подача  $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t)$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля з  $N$  рядків коренеплодів за проміжок часу  $t$  визначається за формулою:

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t) = \frac{dLg}{dt} b_k t \left\{ \left[ \frac{dLg}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} (U_{12.c} \pm \Delta U_{12}) \mu_{12} + (U_{22.c} \pm \Delta U_{22}) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \mu_{22} + \dots + (U_{N2.c} \pm \Delta U_{N2}) \mu_{N2} \right] + M_{\bar{b}.c} \mu_{\bar{b}} \right\}. \quad (2.7)$$

Для зручності практичного застосування отриманої залежності формалізуємо технологічний процес збирання гички за якого приймаємо припущення, що середня урожайність гички 1-го, 2-го, ..., N -го рядка коренеплодів однакова й дорівнює  $U_{2.c}$ , а інтервал зміни урожайності гички кожного N-го рядка коренеплодів рівнозначний і дорівнює  $\pm \Delta U_2$ .

Тоді реальна сумарна теоретична подача  $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t)$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля з N рядків коренеплодів за проміжок часу  $t$  визначається за прикінцевою формулою:

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t) = \frac{dLg}{dt} b_k N t \left[ \frac{dLg}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} (U_{2.c} \pm \Delta U_2) \mu_2 + M_{\bar{b}.c} \mu_{\bar{b}} \right]. \quad (2.8)$$

Таким чином, секундна подача  $\Pi_k^*$  (кг/с) рослинних компонентів до гвинтового конвеєра за час  $t=1$  с буде [19].

$$\Pi_k^* = g b_k N \left[ 0,82 \cdot 10^{-4} g b_k t \Gamma_{k.c} (U_{2.c} \pm \Delta U_2) + 0,9 M_{\bar{b}.c} \right]. \quad (2.9)$$

Встановлено, що в межах інтервалу зміни урожайності гички  $\pm \Delta U_2 = 2 \dots 10$  ц/га секундна подача рослинних компонентів  $\Pi_k^*$  до гвинтового конвеєра знаходиться в таких межах зміни діапазону: за умови  $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; +\Delta U_2)$  від 19,5 до 39,5 кг/с; за умови  $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; -\Delta U_2)$  від 16 до 34 кг/с.

Ці ствердження також характерні поведінці графічних залежностей, які наведено на рис. 2.3.

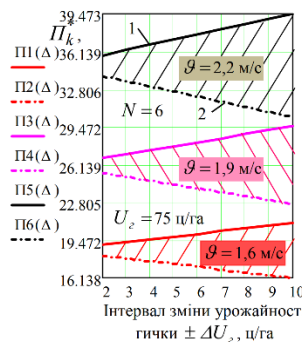


Рисунок 2.3 – Залежність зміни секундної подачі рослинних компонентів  $\Pi_k^*$  до гвинтового конвеєра: 1 –  $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; +\Delta U_2)$ ; 2 –  $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; -\Delta U_2)$

При цьому середнє значення приросту (збільшення) або спадання (зменшення) секундної подачі рослинних компонентів  $\Pi_k^*$  до гвинтового конвеєра в діапазоні зміни інтервалу урожайності дорівнює: 2,0 кг/с – за швидкості руху модуля  $\vartheta=1,6$  м/с, відповідно, 2,4 кг/с – за  $\vartheta=1,9$  м/с; 3,3 кг/с – за  $\vartheta=2,2$  м/с.

Визначені на аналітичному рівні межі зміни секундної подачі рослинних компонентів  $\Pi_k^*$  до гвинтового конвеєра можуть бути використані для подальшого обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля на основі аналізу розрахункової продуктивності роботи гвинтового конвеєра.

## 2.2. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів гвинтового конвеєра.

З метою формалізації процесу переміщення зрізаних ножами роторного гичкоріза основного масиву гички коренеплодів та бур'янів і для подальшого обґрунтування раціональних параметрів гичкозбирального модуля розглянемо схему для розрахунку продуктивності роботи гвинтового конвеєра 5 (рис. 2.4), яка поєднує в собі функціональну схему технологічного процесу роботи та конструктивну схему робочих органів, які реалізують даний процес.

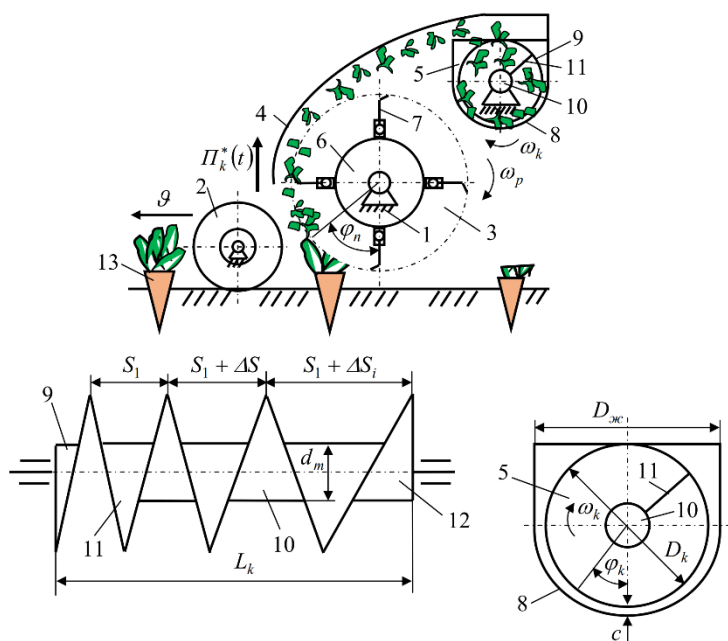


Рисунок 2.4 – Схема для розрахунку продуктивності роботи шнека

Обґрунтування параметрів гвинтового конвеєра проведемо на основі аналізу технологічного процесу переміщення гвинтовим конвеєром 5 (рис. 2.4) зрізаних рослинних компонентів, або переміщення рослинних компонентів спіральними витками 11 шнека 9 у жолобі 8, який утворено направляючим кожухом 4.

Нехай за час  $t$  переміщення гичкозбирального модуля вздовж рядків коренеплодів 13 (рис. 2.4) з поступальною швидкістю руху  $\vartheta$  гичкозрізувальні ножі 7, зрізують основний масив гички та бур'янів або рослинні компоненти в кількості  $\Pi_k^*(t)$ , які переміщується по траєкторії направлено руху до жолоба 8, або до шнека 11 гвинтового конвеєра 5.

Спіральні витки 11 переміщують рослинні компоненти вздовж осі обертання шнека в бік його вихідної частини 12, де рослинні компоненти після сходу з останнього спірального витка шнека укладаються у валок або розкидаються на зібране поле.

Технологічний взаємозв'язок між конструктивно-кінематичними параметрами гвинтового конвеєра та секундною подачею рослинних компонентів  $\Pi_k^*$  встановимо на основі аналізу необхідної продуктивності його роботи, при цьому продуктивність роботи гвинтового конвеєра регламентується, або цілком залежить від продуктивності роботи шнека 11, рис. 2.4.

Продуктивність гвинтового конвеєра або продуктивність шнека, яку позначимо через  $Q_k$ , визначається за відомою формулою згідно з

$$Q_k = 0,25(D_k^2 - d_m^2)\vartheta_c\psi_\vartheta\rho_v\phi_z, \quad (2.10)$$

де  $Q_k$  – продуктивність гвинтового конвеєра, кг/с;  $D_k$ ,  $d_m$  – відповідно, діаметр шнека та барабана, м;  $\vartheta_c$  – середня теоретична швидкість переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека, м/с;  $\psi_\vartheta$  – коефіцієнт, який враховує відхилення (зниження) середньої швидкості руху потоку зрізаної гички відносно середньої теоретичної швидкості переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека;  $\rho_v$  – об'ємна маса гички, кг/м<sup>3</sup>;  $\phi_z$  – коефіцієнт заповнення робочого простору гвинтового конвеєра зрізаною гичкою.

При цьому, згідно з [13] складові (2.10) визначаються за формулою:

- середня теоретична швидкість  $\vartheta_c$  переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання гвинтового конвеєра:

$$\vartheta_c = \frac{(S_1 + \Delta S_i)\omega_k}{2\pi} = \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{2\pi} \frac{d\phi_k}{dt}, \quad (2.11)$$

де  $S_1$  – кроки першого спірального витка, м;  $\Delta S_i$  – приріст  $i$ -го кроку, м;  $\omega_k$  – кутова швидкість шнека, рад/с;  $\phi_k$  – кут повороту шнека, рад.;

- коефіцієнт  $\psi_\vartheta$ , який враховує відхилення (зниження) середньої швидкості руху потоку зрізаної гички відносно середньої теоретичної швидкості переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека:

$$\psi_\vartheta = \psi_\alpha \psi_y, \quad (2.12)$$

де  $\psi_\alpha$  – коефіцієнт, який показують ступінь впливу кута підйому  $\alpha$  гвинтової лінії по середньому радіусу останнього спірального витка шнека;  $\psi_y$  – коефіцієнт ущільнення подрібнених рослинних решток спіральними витками шнека;

- коефіцієнт заповнення  $\phi_z$  робочого простору гвинтового конвеєра зрізаною гичкою, який враховує дольове заповнення об'єму робочого русла жолоба [12]:

$$\phi_z = V_z / V_{жс}; \quad V_z = V_{жс} - V_k, \quad V_k = V_v + V_b, \quad (2.13)$$

або

$$\phi_z = \frac{V_{жс} - V_k}{V_{жс}} = 1 - \frac{V_k}{V_{жс}} = 1 - \frac{V_v + V_b}{V_{жс}}, \quad (2.14)$$

де  $V_z$  – об'єм робочого русла жолоба, що заповнений зрізаною гичкою;  $V_{жс}$  – об'єм робочого русла жолоба, м<sup>3</sup>;  $V_k$  – об'єм шнека, м<sup>3</sup>;  $V_v$  – об'єм, що займають витки шнека, м<sup>3</sup>;  $V_b$  – об'єм барабана шнека, м<sup>3</sup>.

- об'єм робочого русла жолоба  $V_z = 0,5V_{z1} + V_{z2}$ , де  $V_{z1}$  – об'єм циліндра, діаметр основи якого дорівнює  $D_{жс}$ , а висота –  $L_k$ ;  $V_{z2}$  – об'єм паралелепіпеда, довжина та ширина основи якого дорівнює, відповідно,  $D_{ж}$  і  $0,5D_k$ , а висота –  $L_k$ , тобто:

$$V_{жс} = 0,125\pi D_{жс}^2 L_k + 0,5D_{жс} D_k L_k = 0,5D_{жс} L_k (0,25\pi D_{жс} + D_k), \quad (2.15)$$

де  $D_{жс}$  – внутрішній діаметр жолоба, м;  $L_k$  – робоча довжина шнека, м;

- об'єм  $V_v$ , що займають витки шнека та об'єм барабана  $V_b$  шнека:

$$V_v = V_{lv} z_k; \quad V_{lv} = F_v l_v; \quad F_v = \delta_v h_v; \quad l_z = \frac{\pi L_k (D_k + d_m)}{2S_1 + \Delta S} \cos \left( \arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m} \right), \quad (2.16)$$

де  $V_{lv}$  – об’єм, що займають витки одного заходу шнека, м<sup>3</sup>;  $z_k$  – кількість заходів шнека, шт.;  $F_v$  – площа поперечного перерізу лопаті витка шнека, м<sup>2</sup>;  $l_z$  – довжина гвинтової лінії по середньому діаметру шнека, м;  $h_v$  – висота лопаті витка шнека,  $h_v = 0,5(D_k - d_m)$ , м;  $d_m$  – діаметр барабана, м.

$$V_v = \frac{\pi L_k (D_k - d_m)^2}{4S_1 + \Delta S} \cos \left( \arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m} \right) z_k; \quad V_b = 0,25 \pi d_m^2 L_k. \quad (2.17)$$

Після підстановки значення об’ємів отримаємо залежність для визначення коефіцієнта  $k_v$ :

$$k_v = \pi \frac{\frac{(D_k - d_m)^2}{4S_1 + \Delta S} \cos \left( \arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m} \right) z_k + d_m^2}{2D_{\text{жс}} (0,25 \pi D_{\text{жс}} + D_k)}. \quad (2.18)$$

Згідно з (2.18) та за початкових умов  $d_m = 0,1$  м,  $z_k = 1$ ,  $\Delta S = 0,05$  м побудовано залежність зміни коефіцієнта  $k_v$ , яку наведено на рис. 2.5.

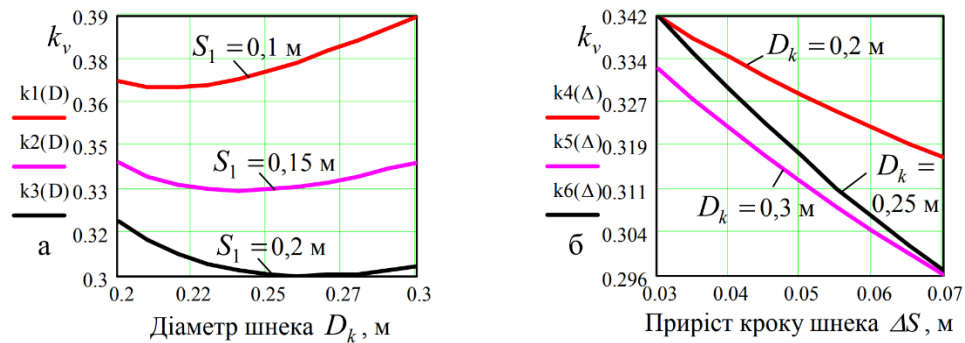


Рисунок 2.5 – Залежність зміни коефіцієнта  $k_v$

Коефіцієнт  $k_v$  змінюється від 0,3 до 0,39 залежно від зміни діаметра шнека в межах  $0,2 \leq D_k \leq 0,3$  м. При цьому домінуючий вплив на зміну коефіцієнта  $k_v$  має крок  $S_1$  першого спірального витка шнека та приріст кроку  $\Delta S$  – за збільшення  $S_1$  від 0,1 до 0,2 м коефіцієнт  $k_v$  зменшується у 1,3 рази (рис. 2.5, а), а за збільшення  $\Delta S$  від 0,03 до 0,07 м коефіцієнт  $k_v$  зменшується у 1,2 рази, рис. 2.5, б.

Продуктивність роботи гвинтового конвеєра визначається за формулою:

$$Q_k = (D_k^2 - d_m^2) \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{8\pi} \psi_\alpha \psi_y \rho_v (1 - k_v) \frac{d\varphi_k}{dt}. \quad (2.19)$$

Або ж продуктивність роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра визначається за формулою [21], при цьому  $t=1$  с:

$$Q_k = \frac{g_k N t [0,82 \cdot 10^{-4} g_k t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{b.c.}] g_c \psi_g (1 - k_v)}{L_k} \quad (2.20)$$

На основі числових розрахунків продуктивності роботи гвинтового конвеєра, яку визначено за формулою (2.19) і (2.20) побудовано діаграми зміни продуктивності роботи шнека, які наведено на рис. 2.6.

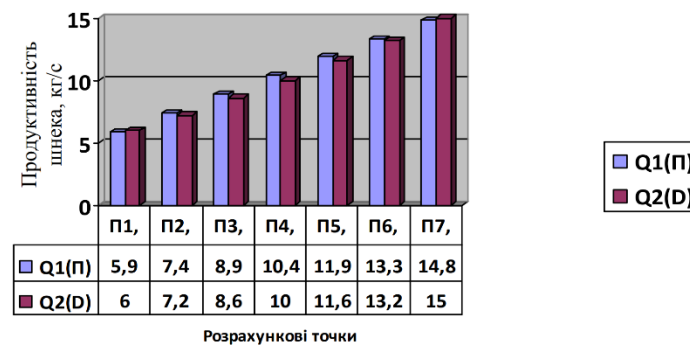


Рисунок 2.6 – Діаграма зміни продуктивності роботи шнека у розрахункових точках

Аналіз числових розрахунків продуктивності роботи шнека (рис. 2.6) показує, що показники продуктивності роботи  $Q_1$  шнека, які визначено за формулою (2.20) та показники продуктивності роботи  $Q_2$  шнека, які визначено за формулою (2.19) у розрахункових точках П1-П7 практично не відрізняються між собою – середня похибка значень знаходиться в межах 1,5...1,6%.

Діаметр шнека  $D_k$  дорівнює:

$$\frac{(D_k^2 - d_m^2)}{4} \rho_v = \frac{\Pi_k^* t}{L_k}; \quad (2.21)$$

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \Pi_k^* t}{L_k \rho_v} + d_m^2}. \quad (2.22)$$

Для теоретичного обґрунтування діаметра шнека гвинтового конвеєра згідно з формулою (2.22) побудовано номограму для визначення  $D_k$  залежно від зміни секундної подачі  $\Pi_k^*$  рослинних компонентів ножами роторного гичкоріза до

гвинтового конвеєра та довжини шнека  $L_k$  у вигляді функціональної залежності  $D_k = f_D(\Pi_k^*; L_k)$ , яку наведено на рис. 2.7.

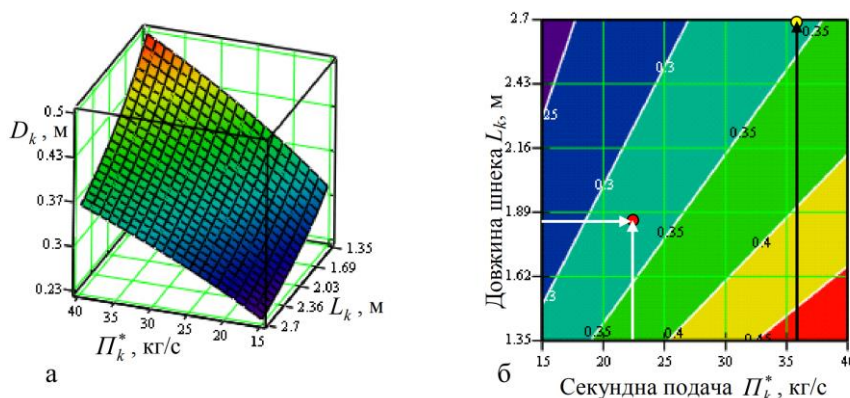


Рисунок 2.7 – Залежність зміни діаметра шнека  $D_k$

На основі аналізу рис. 2.7, а встановлено, що для забезпечення переміщення секундної подачі рослинних компонентів у межах  $\Pi_k^* = 15 \dots 40$  кг/с, діаметр шнека  $D_k$  повинен знаходитися у межах від 0,25 до 0,4 м залежно від його робочої довжини  $L_k$ . При цьому робочу довжину шнека встановлюють конструктивно та залежно від рядності гичкозбирального модуля (або рядності коренезбиральної машини) і ширини міжряддя посівів коренеплодів. Так, за ширини міжряддя коренеплодів  $b_k = 0,45$  м і кількості рядків, які збираються одночасно  $N = 3$ , робоча довжина шнека  $L_k = 1,35$  м, відповідно за  $N = 6$  –  $L_k = 2,7$  м.

Для визначення  $D_k$  використовують номограму, яку наведено на рис. 2.7, б. Наприклад, за секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра  $\Pi_k^* = 35$  кг/с під час одночасного зрізування основного масиву гички з кількості рядків  $N = 6$  (робоча довжина шнека  $L_k = 2,7$  м), необхідний діаметр шнека, за якого буде забезпечуватися переміщення матеріалу, дорівнюватиме  $D_k = 0,34$  м. Відповідно, за  $\Pi_k^* = 22,5$  кг/с та  $N = 4$  (робоча довжина шнека  $L_k = 1,8$  м) –  $D_k = 0,32$  м.

Крок спіральних витків шнека вибирається конструктивно з умови [9], за якої  $S_l = (0,5 \dots 0,6) D_k$ , тобто  $S_l = 0,12 \dots 0,2$  м.

Кутову швидкість шнека  $\omega_k$  визначимо з умови, яка характеризує роботу гвинтового конвеєра без «згруження» рослинних компонентів під час їх переміщення витками шнека. Ця умова виконується, коли продуктивність

гвинтового конвеєра  $Q_k$  буде більшою або рівною секундній подачі  $\Pi_k^*$ , тобто  $Q_k \geq \Pi_k^*$ .

$$\omega_k \geq \frac{8\pi\Pi_k^*}{(D_k^2 - d_m^2)(S_l + \Delta S_i)\psi_g\rho_v(1 - k_v)}. \quad (2.23)$$

За встановлених значень конструктивних параметрів шнека та згідно з (2.23) та при початкових умовах  $S_l=0,15$  м,  $\Delta S=0,05$  м,  $k_v=0,35$ ,  $\psi_g=0,7$  побудовано залежність зміни кутової швидкості шнека у вигляді функціональної залежності  $\omega_k=f_\omega(D_k; \Pi_k^*)$ , яку наведено на рис. 2.8.

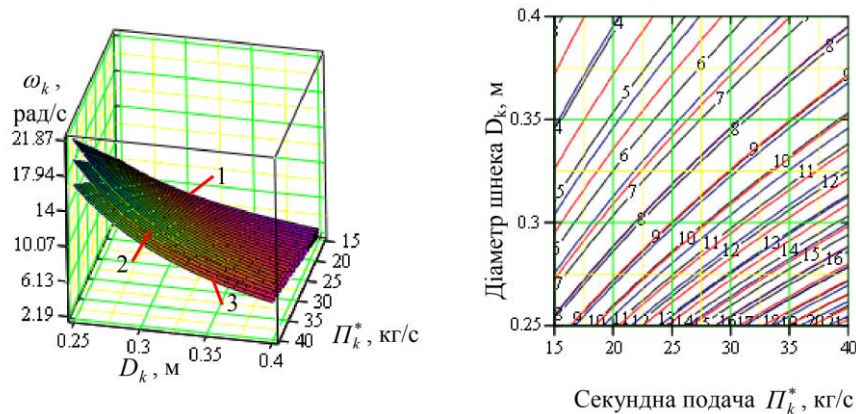


Рисунок 2.8 – Залежність зміни кутової швидкості шнека як функція

$$\omega_k=f_\omega(D_k; \Pi_k^*); 1, 2, 3 - (1-k_v) = 0,5; 0,7; 0,9$$

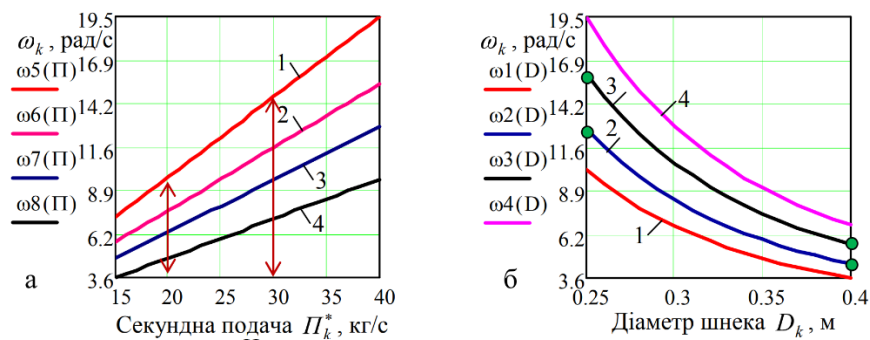


Рисунок 2.9 – Залежність зміни кутової швидкості шнека  $\omega_k$ :

а – від секундної подачі рослинних домішок  $\Pi_k^*$ ; 1, 2, 3, 4 – відповідно,

$$D_k=0,25; 0,3; 0,35 \text{ і } 0,4 \text{ м;}$$

б – від діаметра шнека  $D_k$ ; 1, 2, 3, 4 – відповідно,  $\Pi_k^*=15, 20, 30, 40$  кг/с

Функціональна зміна кутової швидкості шнека  $\omega_k$  залежно від зміни секундної подачі рослинних компонентів  $\Pi_k^*$  до гвинтового конвеєра та діаметра

шнека  $D_k$  (рис. 2.8) знаходиться в межах 3...21 рад/с та має двоякий характер: прямопропорційний відносно збільшення  $\Pi_k^*$ : зі збільшенням  $\Pi_k^*$  кутова швидкість шнека  $\omega_k$  зростає; зворотній відносно збільшення  $D_k$  – зі збільшенням  $D_k$  кутова швидкість шнека  $\omega_k$  зменшується.

Встановлено, що у межах зміни секундної подачі  $\Pi_k^*$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра від 20 до 30 кг/с (середньої швидкості руху модуля  $g=1,9\text{ м/с}$ ) значення кутової швидкості шнека  $\omega_k$  знаходяться у межах  $\omega_k=6...17$  рад/с (рис. 2.9, б). Домінуючий вплив на зміну  $\omega_k$  має, як секундна подача  $\Pi_k^*$ , так і діаметр  $D_k$  шнека – у межах зміни  $\Pi_k^*$  від 15 до 40 кг/с та  $D_k$  від 0,25 до 0,4 м значення  $\omega_k$  зростає приблизно в 2...2,5 рази.

На рис. 2.10, рис. 2.11 наведено графічні відтворення зміни продуктивності роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра залежно від параметрів шнека.

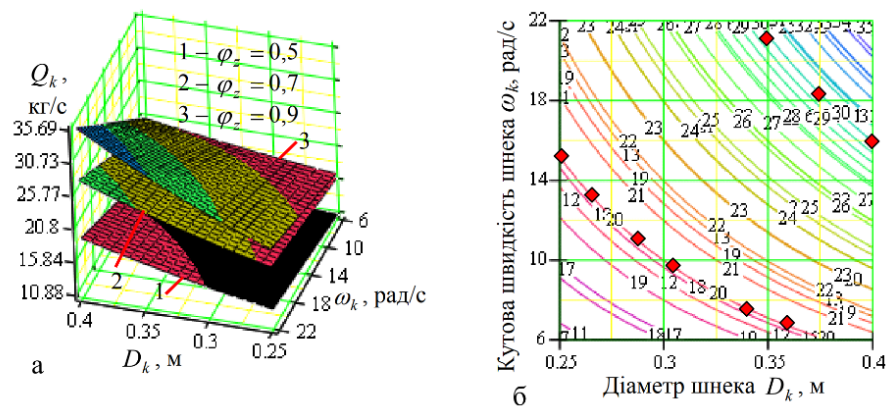


Рисунок 2.10 – Залежність зміни продуктивності гвинтового конвеєра як функція  $Q_k=f_Q(D_k; \omega_k)$

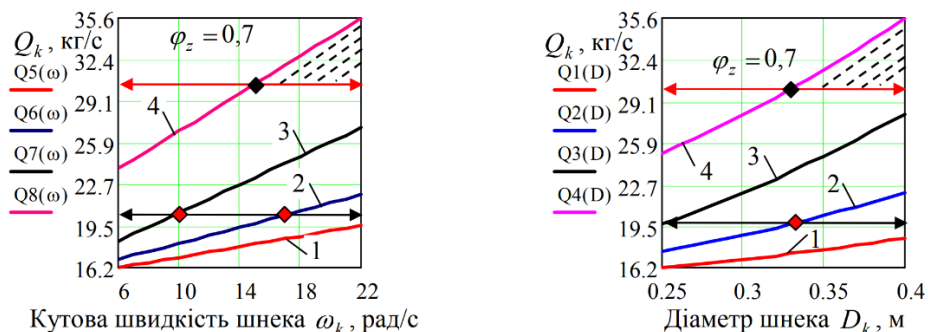


Рисунок 2.11 – Залежність зміни продуктивності роботи гвинтового конвеєра  $Q_k$ : а – від зміни кутової швидкості шнека  $\omega_k$ ; 1, 2, 3, 4 – відповідно,  $D_k=0,25$ ; 0,3; 0,35 і 0,4 м; б – від діаметра шнека  $D_k$ ; 1, 2, 3 – відповідно,  $\omega_k=6, 12, 18, 22$  рад/с

За прийнятих значень  $S_l=0,15$  м,  $\Delta S=0,05$  м,  $k_v=0,35$  і зміни параметрів шнека продуктивність роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра змінюється в доволі значному діапазоні – від 10 до 36 кг/с та зростає зі збільшенням, як частоти обертання  $\omega_k$  шнека, так і діаметра шнека  $D_k$ .

Для забезпечення оптимального функціонування гвинтового конвеєра, або переміщення рослинних компонентів шнеком без їх «звантаження», продуктивність роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра повинна бути не менше діапазону зміни секундної подачі рослинних компонентів  $\Pi_k^*=20\ldots 30$  кг/с. Тоді на основі аналізу графічних побудов, які наведено на рис. 2.10 і рис. 2.11 можна констатувати, що умова  $Q_k \geq \Pi_k^*$  виконується за таких значень параметрів шнека:

- забезпечення нижньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови  $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 20$  кг/с досягається за діаметра шнека  $D_k \geq 0,3$  м та кутової швидкості шнека  $\omega_k \geq 10$  рад/с;

- забезпечення верхньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови  $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 30$  кг/с досягається за діаметра шнека  $D_k \geq 0,35$  м та кутової швидкості шнека  $\omega_k \geq 22$  рад/с.

При цьому  $S_l=0,15$  м,  $\Delta S=0,05$  м,  $\phi_z=0,7$ .

Характер зміни продуктивності роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від агробіологічних властивостей посівів коренеплодів (густоти насаджень, урожайності гички та інтервалу зміни урожайності гички коренеплодів) і конструктивно-кінематичних параметрів гвинтового конвеєра та умов роботи гичкозбирального модуля (швидкості руху гичкозбирального модуля, ширини міжрядь і кількості рядків коренеплодів), дорівнює:

$$Q_k = \frac{g_b N t \left[ 0,82 \cdot 10^{-4} g_b t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{b.c} \right]}{L_k} \times \\ \times \frac{(S_l + \Delta S_i)}{2\pi} \psi_g (1 - k_v) \frac{d\varphi_k}{dt} \quad (2.24)$$

Із врахуванням секундної подачі  $\Pi_k^*$  рослинних компонентів продуктивність роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра визначається за формулою:

$$Q_k = \frac{\Pi_k^* t (S_1 + \Delta S_i)}{L_k} \psi_g (1 - k_v) n_k. \quad (2.25)$$

Згідно з формулою (2.24) побудовано залежності зміни продуктивності роботи гвинтового конвеєра у вигляді залежності:  $Q_k = f_Q(\vartheta; n_k)$ , рис. 2.12, а;  $Q_k = f_Q(n_k)$ , рис. 2.12, б. На рис. 2.12, в наведено функціональну зміну продуктивності роботи  $Q_k = f_Q(\Pi_k^*)$  гвинтового конвеєра залежно від секундної подачі  $\Pi_k^*$  рослинних компонентів.

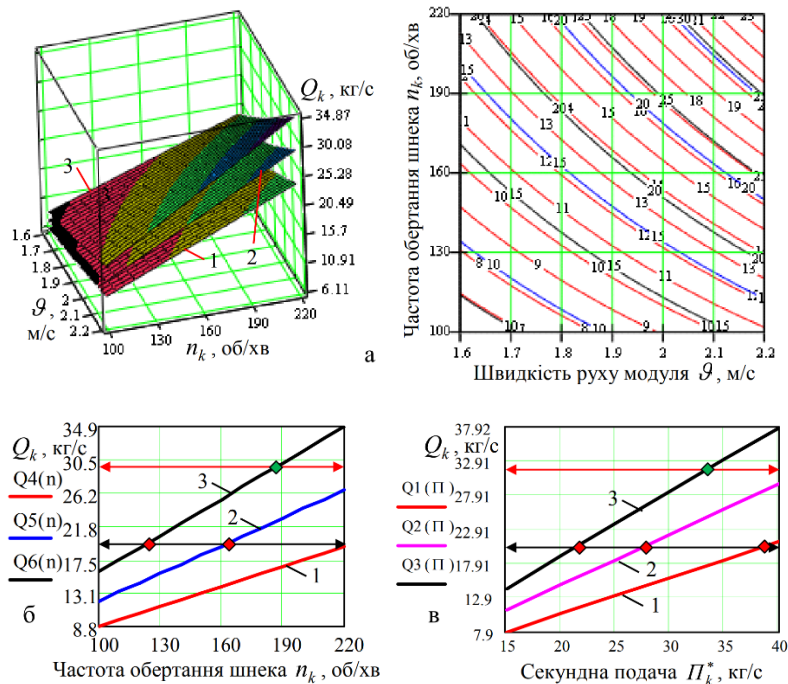


Рисунок 2.12 – Залежність зміни продуктивності роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра як функція: а –  $Q_k = f_Q(\vartheta; n_k)$ ; б –  $Q_k = f_Q(n_k)$ ; 1, 2, 3 –  $\vartheta = 1.6; 1.9; 2.2$  м/с; в –  $Q_k = f_Q(\Pi_k^*)$ , 1, 2, 3 –  $n_k = 100; 160; 220$  об/хв

Продуктивність роботи гвинтового конвеєра залежно від збільшення швидкості руху  $\vartheta$  гвинтозбирального модуля, частоти обертання шнека  $n_k$  та секундної подачі  $\Pi_k^*$  рослинних компонентів також зростає та знаходиться в межах від 6 до 35 кг/с, рис. 2.12.

Тоді на основі аналізу графічних побудов (рис. 2.12) можна констатувати, що умова  $Q_k \geq \Pi_k^*$  виконується за таких значень параметрів:

- забезпечення нижньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови  $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 20$  кг/с досягається за комбінації параметрів: швидкості руху

гичкозбирального модуля  $v \geq 1,6$  м/с та частоти обертання шнека  $n_k \geq 220$  об/хв; швидкості руху гичкозбирального модуля  $v \geq 1,9$  м/с та частоти обертання шнека  $n_k \geq 170$  об/хв; швидкості руху гичкозбирального модуля  $v \geq 2,2$  м/с та частоти обертання шнека  $n_k \geq 120$  об/хв;

- забезпечення верхньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови  $Q_k \geq P_k^* \geq 30$  кг/с досягається за швидкості руху гичкозбирального модуля  $v \geq 2,2$  м/с та частоти обертання шнека  $n_k \geq 90$  об/хв.

При цьому  $S_I = 0,15$  м,  $\Delta S = 0,05$  м,  $\psi_g = 0,7$ ;  $k_v = 0,35$ .

### **Висновки по розділу.**

Таким чином, із проведених теоретичних досліджень маємо:

1. Зміна секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра має прямо пропорційний характер – зі збільшенням швидкості руху гичкозбирального модуля, кількості рядків коренеплодів, густоти насаджень і урожайності гички коренеплодів, секундна подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля збільшується та знаходиться в межах від 19 до 52 кг/с.

2. Встановлено, що в межах інтервалу зміни урожайності гички 2...10 ц/га та середньої швидкості руху гичкозбирального модуля  $v \geq 1,9$  м/с секундна подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра знаходиться в межах від 20 до 30 кг/с.

3. Встановлено, що основні значення кутової швидкості шнека знаходяться у межах 6...22 рад/с, а домінуючий вплив на її зміну має, як секундна подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, так і діаметр шнека – у межах зміни від 15 до 40 кг/с та від 0,25 до 0,4 м відповідно, значення кутової швидкості шнека зростає приблизно в 2...2,5 рази.

4. Продуктивність роботи гвинтового конвеєра залежно від збільшення швидкості руху гичкозбирального модуля, частоти обертання шнека та секундної подачі рослинних компонентів також зростає та знаходиться в межах від 6 до 35 кг/с.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження секундної подачі  $P_{ke}^*$  рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля, які формалізовано у вигляді структурної моделі, провели з метою визначення функціональних закономірностей впливу вхідних факторів на зміну вихідної величини або параметра оптимізації.

Для отримання емпіричної моделі у вигляді рівняння регресії, яка характеризує зміну секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля вибирали план, відповідно, багатофакторного планованого експерименту. При цьому використовували такі параметри: швидкість руху гичкозбирального модуля, яку кодували індексом  $x_1$ ; густоту насаджень коренеплодів, яку кодували індексом  $x_2$ ; інтервал зміни урожайності гички, яку кодували індексом  $x_3$ ; частоту обертання шнека, яку кодували  $x_4$  (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час проведення планованих факторних експериментів

| Фактори                                       | Позначення       |       | Інтерв. варіюв. | Рівні варіювання, натуральні / кодовані |       |        |
|-----------------------------------------------|------------------|-------|-----------------|-----------------------------------------|-------|--------|
|                                               | Натур.           | Код.  |                 |                                         |       |        |
| Швидкість руху модуля, м/с                    | $\vartheta_M$    | $x_1$ | 0,3             | 1,6/-1                                  | 1,9/0 | 2,2/+1 |
| Густота насаджень коренеплодів, тис.шт./га    | $\Gamma_{ke}$    | $x_2$ | 20              | 70/-1                                   | 90/0  | 110/+1 |
| Інтервал зміни врожайності коренеплодів, ц/га | $\pm \Delta U_z$ | $x_3$ | 2               | 3/-1                                    | 5/0   | 7/+1   |
| Частота обертання шнека, об/хв                | $n_k$            | $x_4$ | 60              | 100/-1                                  | 160/0 | 220/+1 |

Обробку експериментального масиву даних з метою одержання рівняння регресії параметра оптимізації з визначенням вигляду функціональної залежності та її коефіцієнтів здійснювали за методом регресійного аналізу.

Рівняння регресії апроксимуючої функції, представленої у вигляді функціональної залежності  $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(x_1; x_2; x_3)$  та  $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_2)$  у загальному вигляді має запис:

$$Y = b_0 + b_p X_p + b_r X_r + \dots + b_{pr} X_p X_r + \dots + b_p^2 X_p^2 + \dots \quad (3.1)$$

Це рівняння описує вплив окремих факторів і їх взаємодій на вихідний параметр оптимізації, або секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля.

Встановлення характеру впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів обрізника залишків гички гичкозбирального модуля та їх сумісної взаємодії на основні агротехнічних показників якості роботи (пошкодження коренеплодів  $P_{ke}$  і кількість вибитих  $B_{ke}$  коренеплодів з ґрунту відносно їх загальної маси) є одними з пріоритетних завдань, які регламентують значимість проведення експериментів і які функціонально описують процес роботи гичкозбирального модуля (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час проведення експериментальних досліджень

| Фактори                       | Позначення      |       | Інтерв. варіюв. | Рівні варіювання, натуральні/кодовані |       |        |
|-------------------------------|-----------------|-------|-----------------|---------------------------------------|-------|--------|
|                               | Натур.          | Код.  |                 |                                       |       |        |
| Швидкість руху модуля, м/с    | $\mathcal{G}_M$ | $x_1$ | 0,3             | 1,6/-1                                | 1,9/0 | 2,2/+1 |
| Висота розміщення головок, см | $h_k$           | $x_2$ | 3,0             | 3,0/-1                                | 6,0/0 | 9,0/+1 |

При цьому наведені показники умов проведення та характеристики культури визначали згідно з діючими стандартними методиками [14].

### 3.2. Експериментальні дослідження секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра.

Відповідно до програми експериментальних досліджень і перевірки адекватності теоретичних положень розробленої математичної моделі, яка характеризує залежність зміни секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля провели експериментальні

дослідження експериментальної установки, конструктивну схему якої наведено в першому розділі.

Технічні характеристики установки: діаметр шнека становив  $D=0,3$  м, крок першого витка шнека  $S_l=0,15$  м, інтервал збільшення кроку шнека  $\Delta S=0,05$  м, кутова швидкість обертання шнека  $\omega_k=190$  об/хв, число заходів шнека  $z=1$ .

Характеристику встановлених змінних входних факторів і значення їх рівнів варіювання наведено у табл. 3.1. Межі зміни рівнів варіювання факторами встановлювали згідно з результатами аналітичних досліджень секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, які проведено в п. 2.1.

Перед початком першого експерименту визначали середню урожайність гички посівів коренеплодів на полі та урожайність гички на ділянці, яка була суміжною з заліковою ділянкою. Середня урожайність гички становила 85 ц/га.

Числові значення реалізації план-матриці експериментальних досліджень з визначення функціональної зміни сумарної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля, наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати досліджень подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля

| ксп. | Фактори |                                    |                              | $\sum_{i=1}^6 \Pi_{ke}^*(t), \text{ кг}$ |                               |                               |                                |
|------|---------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      | м/с     | $\Gamma_{ke}, \text{ тис. шт./га}$ | $- \Delta U_e, \text{ ц/га}$ | Повторності                              |                               |                               | $\sum_{i=1}^6 \Pi_{c,ke}^*(t)$ |
|      |         |                                    |                              | $\sum_{i=1}^6 \Pi_{1ke}^*(t)$            | $\sum_{i=1}^6 \Pi_{2ke}^*(t)$ | $\sum_{i=1}^6 \Pi_{3ke}^*(t)$ |                                |
| 1    | 1,6     | 70                                 | 3                            | 58,5                                     | 59,5                          | 54,5                          | 57,5                           |
| 2    | 1,9     | 70                                 | 3                            | 71,5                                     | 69,5                          | 70,5                          | 70,5                           |
| 3    | 2,2     | 70                                 | 3                            | 100,5                                    | 103,5                         | 102,0                         | 102,0                          |
| 4    | 1,6     | 90                                 | 3                            | 75,5                                     | 72,5                          | 74,9                          | 74,3                           |
| 5    | 1,9     | 90                                 | 3                            | 96,2                                     | 101,2                         | 101,1                         | 99,5                           |
| 6    | 2,2     | 90                                 | 3                            | 133,0                                    | 130,5                         | 135,5                         | 133,0                          |
| 7    | 1,6     | 110                                | 3                            | 87,6                                     | 88,3                          | 91,1                          | 89,0                           |
| 8    | 1,9     | 110                                | 3                            | 116,5                                    | 114,8                         | 115,2                         | 115,5                          |
| 9    | 2,2     | 110                                | 3                            | 160,9                                    | 155,3                         | 156,3                         | 157,5                          |
| 10   | 1,6     | 70                                 | 5                            | 49,1                                     | 52,3                          | 50,1                          | 50,5                           |
| 11   | 1,9     | 70                                 | 5                            | 63,0                                     | 61,2                          | 66,3                          | 63,5                           |
| 12   | 2,2     | 70                                 | 5                            | 96,2                                     | 94,1                          | 96,2                          | 95,5                           |
| 13   | 1,6     | 90                                 | 5                            | 63,8                                     | 72,5                          | 72,2                          | 69,5                           |
| 14   | 1,9     | 90                                 | 5                            | 91,8                                     | 94,2                          | 91,5                          | 92,5                           |
| 15   | 2,2     | 90                                 | 5                            | 128,4                                    | 124,6                         | 126,5                         | 126,5                          |
| 16   | 1,6     | 110                                | 5                            | 84,8                                     | 86,6                          | 85,1                          | 85,5                           |
| 17   | 1,9     | 110                                | 5                            | 116,5                                    | 112,5                         | 117,5                         | 115,5                          |
| 18   | 2,2     | 110                                | 5                            | 152,8                                    | 149,2                         | 148,0                         | 150,0                          |
| 19   | 1,6     | 70                                 | 7                            | 44,8                                     | 49,4                          | 45,3                          | 46,5                           |
| 20   | 1,9     | 70                                 | 7                            | 59,2                                     | 62,1                          | 57,2                          | 59,5                           |
| 21   | 2,2     | 70                                 | 7                            | 89,2                                     | 93,5                          | 90,3                          | 91,0                           |
| 22   | 1,6     | 90                                 | 7                            | 61,8                                     | 66,3                          | 63,9                          | 64,0                           |
| 23   | 1,9     | 90                                 | 7                            | 94,8                                     | 92,3                          | 93,4                          | 93,5                           |
| 24   | 2,2     | 90                                 | 7                            | 122,7                                    | 125                           | 122,8                         | 123,5                          |
| 25   | 1,6     | 110                                | 7                            | 77,2                                     | 77,1                          | 78,2                          | 77,5                           |
| 26   | 1,9     | 110                                | 7                            | 109,4                                    | 105,8                         | 107,3                         | 107,5                          |
| 27   | 2,2     | 110                                | 7                            | 153,2                                    | 147,3                         | 146,5                         | 149,0                          |

Апроксимуючу функцію відгуку, або параметра оптимізації, тобто зміну секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, визначених експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі лінійної функції, для якої значення коефіцієнта множинної детермінації було найбільше – 0,947.

$$\Pi_{ke}^* = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (3.2)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти відповідних значень і  $x_1, x_2, x_3$  – кодовані фактори.

Натуральні значення коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії зміни секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Натуральні значення коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії зміни секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра

| Позначення                                                    | Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                               | $b_0$                                              | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ |
| $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; \Gamma_{kc}; -\Delta U_z)$ | -32,81                                             | 17,35 | 0,23  | -0,23 |

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності моделі і переходу від кодованих позначень змінних факторів до натуральних, отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра у натуральних величинах:

$$\Pi_{ke}^* = -32,81 + 17,35\vartheta_M + 0,23\Gamma_{kc} - 0,23(-\Delta U_z). \quad (3.3)$$

Отримане рівняння регресії (3.3) може бути використано для встановлення характеру функціональної зміни секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра згідно з апроксимуючою моделлю  $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; \Gamma_{kc}; -\Delta U_z)$  у наступних межах зміни діапазону значень вхідних факторів:

- поступальної швидкості руху гичкозбирального модуля у межах  $1,6 \leq \vartheta_M \leq 2,2$  м/с;
- густоти насаджень коренеплодів  $70 \leq \Gamma_{kc} \leq 110$  тис. шт./га;
- інтервалу зміни врожайності коренеплодів  $3 \leq -\Delta U_z \leq 7$  ц/га.

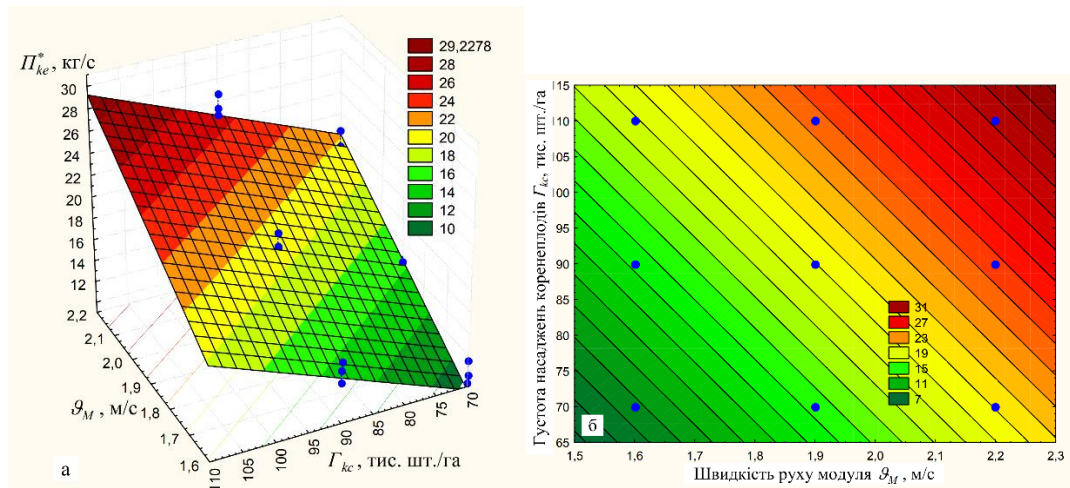


Рисунок 3.1 – Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз

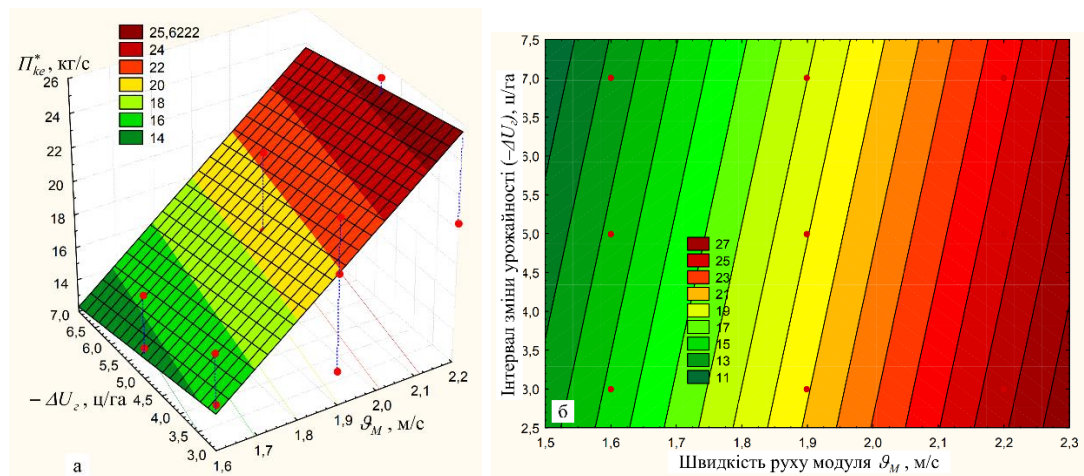
(б) функціональної зміни  $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; \Gamma_{kc})$ 

Рисунок 3.2 – Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз

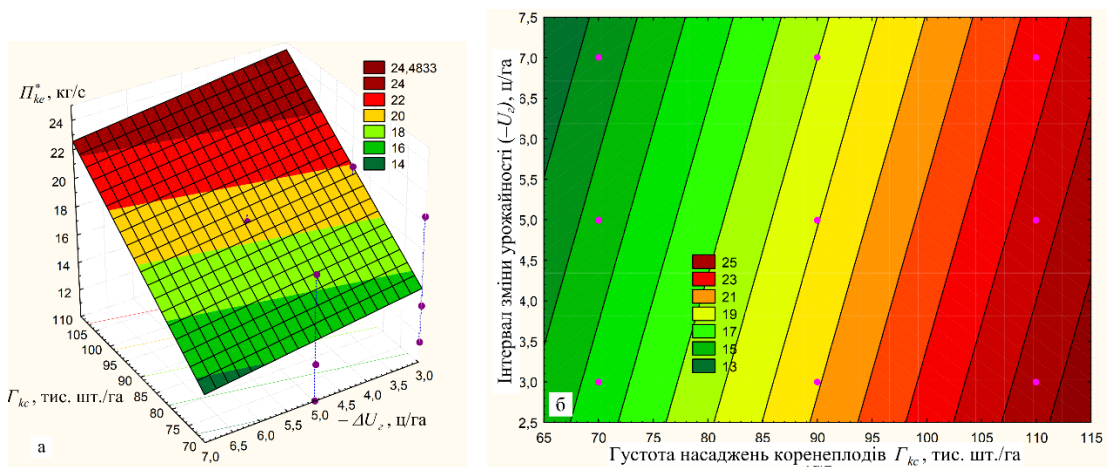
(б) функціональної зміни  $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; -\Delta U_z)$ 

Рисунок 3.3 – Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз

(б) функціональної зміни  $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\Gamma_{kc}; -\Delta U_z)$

Згідно з рівнянням регресії побудовано поверхні відгуку та двомірні перерізи поверхонь відгуку, які характеризують функціональну зміну секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від факторів наведених вище.

На основі проведеного аналізу отриманого рівняння регресії (3.3) та побудованих згідно з ним поверхонь відгуку, встановлено, що функціональна зміна секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра залежно від вхідних змінних факторів має двоякий характер:

- зі збільшенням швидкості руху гичкозбирального модуля та густоти насаджень коренеплодів секундна подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра також збільшується;

- зі збільшенням інтервалу зміни врожайності гички секундна подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра зменшується.

Основний масив апроксимованих експериментальних значень секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля знаходиться приблизно у діапазоні від 9 до 30 кг/с залежно від межі зміни кожного вхідного фактора  $1,6 \leq M \leq 2,2$  м/с,  $70 \leq \Gamma_{kc} \leq 110$  тис. шт./га,  $3 \leq -\Delta U_2 \leq 7$  ц/га.

Домінуючими факторами, збільшення яких призводить до зростання секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля є зміна швидкості руху гичкозбирального модуля та густоти насаджень коренеплодів.

При цьому приріст, або зростання секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра у межах варіювання кожного фактора, відповідно, від  $1,6 \leq M \leq 2,2$  м та  $70 \leq \Gamma_{kc} \leq 110$  тис. шт./га приблизно однаковий та становить в середньому 9...11 кг/с.

Збільшення інтервалу зміни врожайності гички в межах  $3 \leq -\Delta U_1 \leq 7$  ц/га призводить до незначного, в середньому на 0,2...0,25 ц/га, зменшення секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра.

Результати теоретичних та експериментальних порівнянь показують, що розбіжність значень секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, знаходиться у межах 8...12 %.

Одержані експериментальні значення секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра є вихідними умовами для подальшого обґрунтування параметрів гичкозбирального модуля.

### **3.3. Експериментальні дослідження продуктивності роботи гвинтового конвеєра.**

Для перевірки адекватності теоретичних положень і викладень розробленої математичної моделі, яка на аналітичному рівні характеризує функціональну зміну продуктивності роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра провели експериментальні дослідження.

Конструктивну схему експериментальної установки наведено в першому розділі. Технічні характеристики її: діаметр шнека становить  $D=0,3$  м, крок першого витка шнека  $S_1=0,15$  м, інтервал збільшення кроку шнека  $\Delta S=0,05$  м, число заходів шнека  $z=1$ .

Характеристику визначених факторів і значення їх рівнів варіювання, які встановлено згідно з результатами проведених теоретичних досліджень продуктивності шнека (розділ 2), наведено у табл. 3.2.

Результати реалізації план-матриці експериментальних досліджень з визначення – маси зібраної гички  $M_{Q_e}$  з відповідної довжини валка наведено у табл. 3.5.

Апроксимуючу функцію відгуку, або параметра оптимізації, тобто продуктивність  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля, визначену експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі логарифмічної функції.

$$Q_{ke} = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_4 \ln x_4, \quad (3.4)$$

де  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_4$  – вільний член і коефіцієнти відповідних значень  $x_1$  і  $x_4$ ;  $x_1$ ,  $x_4$  – відповідні кодовані фактори.

Таблиця 3.5 – Результати експериментальних досліджень маси  
Зібраної гички з відповідної довжини валка

| ксп. | Фактори             |               | $M_{Q_e}$ , кг |            |            |             |
|------|---------------------|---------------|----------------|------------|------------|-------------|
|      | $\vartheta_M$ , м/с | $n_k$ , об/хв | Повторності    |            |            | $M_{c.Q_e}$ |
|      |                     |               | $M_{1Q_e}$     | $M_{2Q_e}$ | $M_{3Q_e}$ |             |
| 1    | 1,6                 | 100           | 66,1           | 61,3       | 58,6       | 62,0        |
| 2    | 1,9                 | 100           | 80,7           | 69,5       | 94,3       | 81,5        |
| 3    | 2,2                 | 100           | 107,5          | 109,5      | 107,0      | 108,0       |
| 4    | 1,6                 | 160           | 85,5           | 87,6       | 83,4       | 85,5        |
| 5    | 1,9                 | 160           | 96,2           | 94,2       | 87,1       | 92,5        |
| 6    | 2,2                 | 160           | 135,7          | 137,5      | 134,8      | 136,0       |
| 7    | 1,6                 | 220           | 114,3          | 110,3      | 112,9      | 112,5       |
| 8    | 1,9                 | 220           | 145,1          | 148,8      | 147,1      | 147,0       |
| 9    | 2,2                 | 220           | 166,9          | 164,3      | 168,3      | 166,5       |

Натуральні значення коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії зміни продуктивності роботи  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії зміни  
продуктивності роботи гвинтового конвеєра

| Позначення                       | Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії |       |       |
|----------------------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|
|                                  | $b_0$                                              | $b_1$ | $b_4$ |
| $Q_{ke} = f_Q(\vartheta_M; n_k)$ | -62,98                                             | 31,31 | 12,98 |

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності емпіричної моделі і переходу від кодованих позначень факторів до натуральних величин, отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну продуктивності  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра у натуральних факторах [22]:

$$Q_{ke} = -62,98 + 31,31 \ln(\vartheta_M) + 12,98 \ln(n_k). \quad (3.5)$$

Отримана регресійна залежність або емпірична модель (3.5) може бути застосована для визначення продуктивності  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля згідно з апроксимуючою моделлю  $Q_{ke} = f_Q(\vartheta_M; n_k)$  у таких межах зміни діапазону значень вхідних факторів: швидкості руху гичкозбирального модуля  $1,6 \leq \vartheta_M \leq 2,2$  м/с; частоти обертання гвинтового конвеєра  $100 \leq n_k \leq 220$  об/хв.

Це дозволяє розраховувати параметри і режимів роботи гичкозбирального модуля під час розробки та проектування його робочих органів.

Аналіз одержаного рівняння регресії (3.4) та побудованої згідно з ним поверхні відгуку (рис. 3.4) як функції  $Q_{ke} = f_Q(\vartheta_M; n_k)$  показує, що функціональна зміна продуктивності роботи  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра залежно від вхідних змінних факторів має прямо пропорційний характер – зі збільшенням швидкості руху  $\vartheta_M$  гичкозбирального модуля та частоти обертання шнека  $n_k$  продуктивність гвинтового конвеєра  $Q_{ke}$  також збільшується. Основний масив апроксимованих експериментальних значень продуктивності роботи  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра знаходиться у межах від 12,4 до 33,3 кг/с, що також характерно функціональній зміні продуктивності роботи  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра згідно з залежностями, які наведено на рис. 3.5.

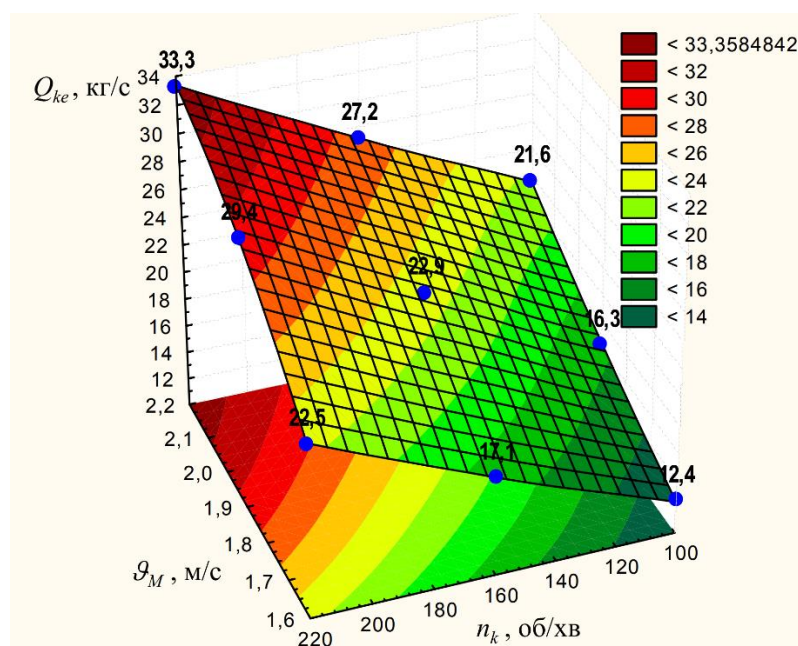


Рисунок 3.4 – Поверхня відгуку функціональної залежності зміни продуктивності роботи  $Q_{ke}$  шнекового конвеєра від швидкості руху  $\vartheta_M$  гичкозбирального модуля та частоти обертання шнека  $n_k$

Домінуючими факторами, збільшення яких призводить до зростання продуктивності гвинтового конвеєра  $Q_{ke}$  є всі діючі фактори – як швидкість руху гичкозбирального модуля  $\vartheta_M$ , так і частота обертання шнека  $n_k$ .

При цьому зростання продуктивності  $Q_{ke}$  у межах варіювання вхідних змінних факторів  $\vartheta_M$  і  $n_k$  (рис. 3.5), відповідно, від  $1,6 \leq \vartheta_M \leq 2,2$  м/с і  $100 \leq n_k \leq 220$  об/хв приблизно однаковий та становить 10...12 кг/с.

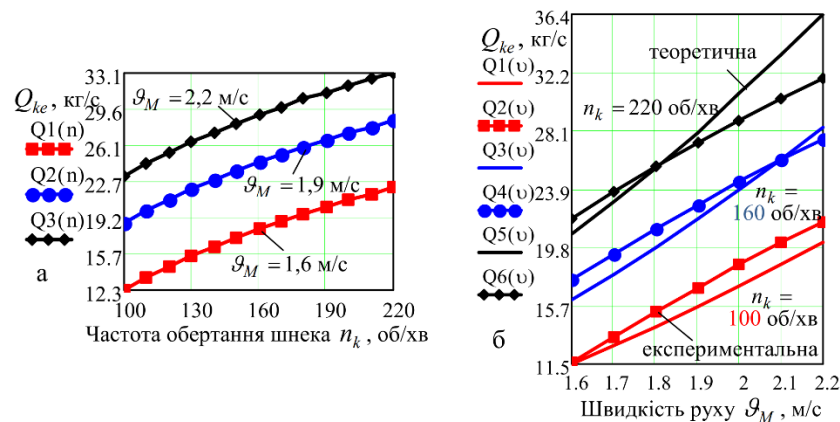


Рисунок 3.5 – Залежність зміни продуктивності роботи  $Q_{ke}$  гвинтового конвеєра як функція: а –  $Q_{ke}=f_Q(n_k)$ ; б –  $Q_{ke}=f_Q(\vartheta_M)$

Для забезпечення раціонального функціонування гвинтового конвеєра, або переміщення рослинних компонентів шнеком без їх «звантаження» на робочих поверхнях шнека, продуктивність роботи гвинтового конвеєра повинна бути не менше діапазону зміни секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля.

На основі аналізу графічних побудов, можна констатувати, що умова  $Q_{ke} \geq \Pi_{ke}^*$  виконується за всіх значень варіювання факторами:

- за швидкості руху  $\vartheta_M$  гичкозбирального модуля від 1,6 до 2,2 м/с;
- за частоти обертання  $n_k$  шнека від 100 до 220 об/хв.

При цьому:

- діаметр шнека дорівнює  $D_k=0,3$  м;
- крок першого витка шнека дорівнює  $S_1=0,15$  м;
- інтервал зміни кроку  $\Delta S=0,05$  м.

Розбіжність експериментальних значень продуктивності гвинтового конвеєра та теоретичних значень, які отримано на аналітичному рівні згідно з математичною моделлю (2.24) знаходиться у межах 5...10 %, рис. 3.5, б.

Таким чином, на основі проведеного аналітичного та емпіричного аналізу продуктивності роботи  $Q_k$  гвинтового конвеєра можна констатувати, що раціональні параметри гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля будуть:

- діаметр шнека  $D=0,3$  м;
- частота обертання шнека  $n_k=160$  об/хв;
- крок першого спірального витка шнека  $S_1=0,15$  м;
- інтервал зміни кроку  $\Delta S=0,05$  м.

### **3.4. Експериментальні дослідження вдосконаленого обрізника залишків гички.**

Програма проведення експериментальних досліджень вдосконаленої конструкції обрізника залишків гички передбачала визначення пошкодження коренеплодів  $P_{ke}$  і кількості вибитих коренеплодів  $B_{ke}$  з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля для двох типів конструктивного виконання обрізника залишків гички.

Технологічну ефективність застосування модернізованої конструкції обрізника залишків гички, який було встановлено на гичкозбиральний модуль, реалізовано на основі проведення досліджень двох типів обрізників: серійного, який виконаного за типом «пасивний копір-пасивний ніж»; удосконаленого обрізника у конструкції якого ніж виконано підпружиненим, а копір встановлено на амортизаторі удару, який являє собою пружну пластину, встановлену між перами та підвіскою копіра.

Експериментальні дослідження з визначення пошкодження коренеплодів і кількості вибитих коренеплодів з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля провели на основі реалізації багатофакторного експерименту.

При цьому досліджували емпіричні залежності, які функціонально описують зміну пошкодження коренеплодів  $P_{ke}$  і кількості вибитих коренеплодів  $B_{ke}$  з ґрунту робочими органами від одночасної зміни двох вхідних факторів – швидкості руху гичкозбирального модуля  $\mathcal{G}_M$  та висоти розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту  $h_k$  у вигляді функції  $P_{ke}; B_{ke}=f_{P(B)}(\mathcal{G}_M, h_k)$ .

Характер апроксимуючої емпіричної залежності або рівняння регресії, яке функціонально описує зміну пошкодження коренеплодів і кількості вибитих коренеплодів з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля від зміни кожного з діючих факторів (швидкості руху та висоти) та їх взаємодії, приймали за найбільшим значення коефіцієнта детермінації у вигляді математичної моделі повного полінома другої степені:

$$P_{ike}; B_{ike} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12} + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (3.6)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$  – відповідні коефіцієнти значень кодованих факторів рівняння регресії;  $x_1, x_2$  – кодовані фактори.

Після обробки масиву експериментальних даних  $P_{ке}$  і  $B_{ке}$ , проведеної за методикою згідно з [3], визначали невідомі коефіцієнти рівняння регресії.

Отримані значення коефіцієнтів рівняння регресії наведено у табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Значення коефіцієнтів рівняння регресії під час дослідження пошкодження коренеплодів і кількості вибитих коренеплодів з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля

| Позначення                          | Значення коефіцієнтів |       |       |          |          |          |
|-------------------------------------|-----------------------|-------|-------|----------|----------|----------|
|                                     | $b_0$                 | $b_1$ | $b_2$ | $b_{12}$ | $b_{11}$ | $b_{22}$ |
| $P_{1ke} = f_P(\mathcal{G}_M, h_k)$ | -0,8                  | 3,3   | -1,8  | 0,6      | -1,1     | 0,1      |
| $P_{2ke} = f_P(\mathcal{G}_M, h_k)$ | 6,5                   | -3,9  | -1,7  | 0,4      | 0,7      | 0,1      |
| $B_{1ke} = f_B(\mathcal{G}_M, h_k)$ | 15,9                  | -12,3 | -2,9  | 0,4      | 4,6      | 0,4      |
| $B_{2ke} = f_B(\mathcal{G}_M, h_k)$ | -5,7                  | 5,1   | -1,9  | 1,1      | -0,4     | 0,1      |

Перевірку адекватності вибраної моделі проводили за F - критерієм Фішера. Статистичну значимість розрахованих коефіцієнтів визначали за t - критерієм Стюдента.

За результатами розрахунків встановлено, що умова адекватності виконується, тобто вибрана математична модель адекватно описує одержаний експериментальний масив даних, або адекватна досліджуваному процесу, а всі коефіцієнти рівняння регресії є значимими.

Отримано рівняння регресії у натуральних величинах, які функціонально описують зміну пошкодження коренеплодів і кількість вибитих коренеплодів з ґрунту робочими органами від загальної маси коренеплодів однієї проби у вигляді

функції  $P_{1ke}=f_P(\vartheta_M, h_k)$ ,  $P_{2ke}=f_P(\vartheta_M, h_k)$ ,  $B_{1ke}=f_P(\vartheta_M, h_k)$ , і  $B_{2ke}=f_P(\vartheta_M, h_k)$  у межах зміни діючих факторів (швидкість руху гичкозбирального модуля  $1,6 \leq \vartheta_M \leq 2,2$  м/с, висота розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту  $3,0 \leq h_k \leq 9,0$  см), мають вигляд:

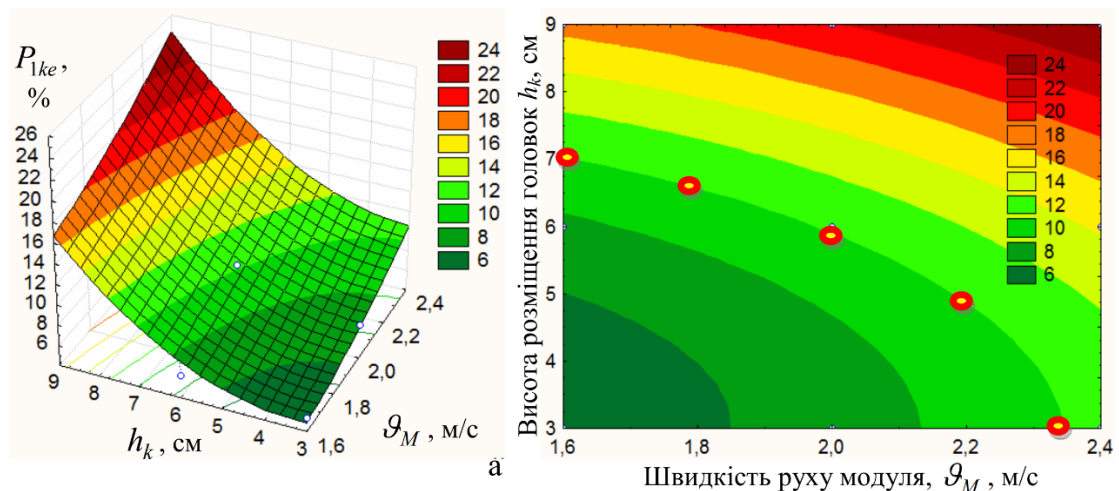
- кількості пошкоджених коренеплодів серійним обрізником  $P_{1ke}$  і обрізником  $P_{2ke}$ , ніж якого виконано підпружиненим, а копір встановлено на амортизаторі, % [20]:

$$\left. \begin{aligned} P_{1ke} &= -0,8 + 3,3\vartheta_M - 1,8h_k + 0,6\vartheta_M h_k - 1,1\vartheta_M^2 + 0,1h_k^2; \\ P_{2ke} &= 6,5 - 3,9\vartheta_M - 1,7h_k + 0,4\vartheta_M h_k + 0,7\vartheta_M^2 + 0,1h_k^2 \end{aligned} \right\}; \quad (3.7)$$

- кількості вибитих коренеплодів з ґрунту серійним обрізником  $B_{1ke}$  і обрізником  $B_{2ke}$ , ніж якого виконано підпружиненим, а копір встановлено на амортизаторі, %:

$$\left. \begin{aligned} B_{1ke} &= 15,9 - 12,3\vartheta_M - 2,9h_k + 0,4\vartheta_M h_k + 4,6\vartheta_M^2 + 0,4h_k^2; \\ B_{2ke} &= -5,7 + 5,1\vartheta_M - 1,9h_k + 1,1\vartheta_M h_k - 0,4\vartheta_M^2 + 0,1h_k^2 \end{aligned} \right\}. \quad (3.8)$$

На рис. 3.6 і рис. 3.7 наведено поверхню відгуку та її двовірний переріз, які побудовано згідно з рівняннями регресії (3.7) і (3.8). Графічні залежності характеризують і функціонально описують зміну  $P_{ke}$  і  $B_{ke}$  з для двох типів конструктивного виконання обрізника залишків гички з головок коренеплодів залежно від швидкості руху гичкозбирального модуля  $\vartheta_M$  та висоти розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту  $h_k$  в таких межах зміни вхідних факторів:  $1,6 \leq \vartheta_M \leq 2,2$  м/с;  $3,0 \leq h_k \leq 9,0$  см.



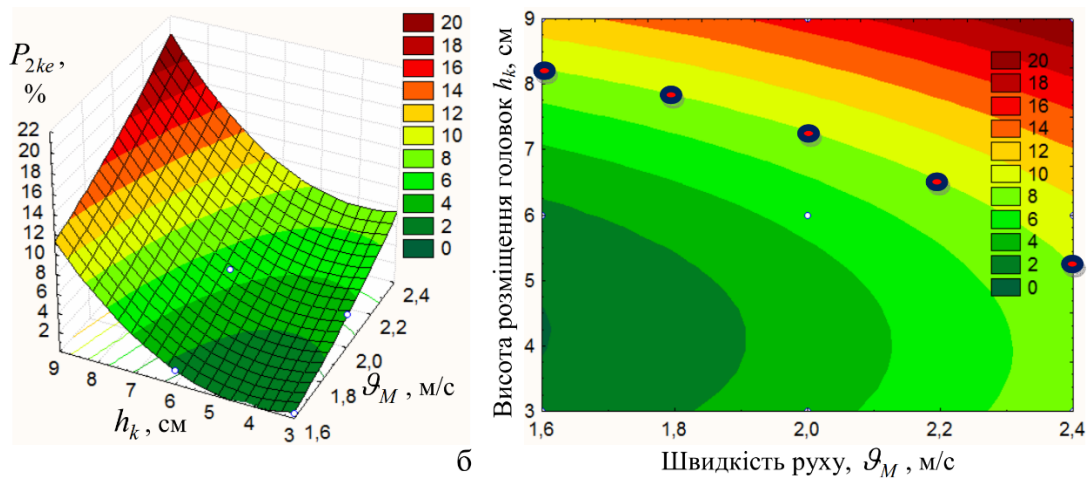
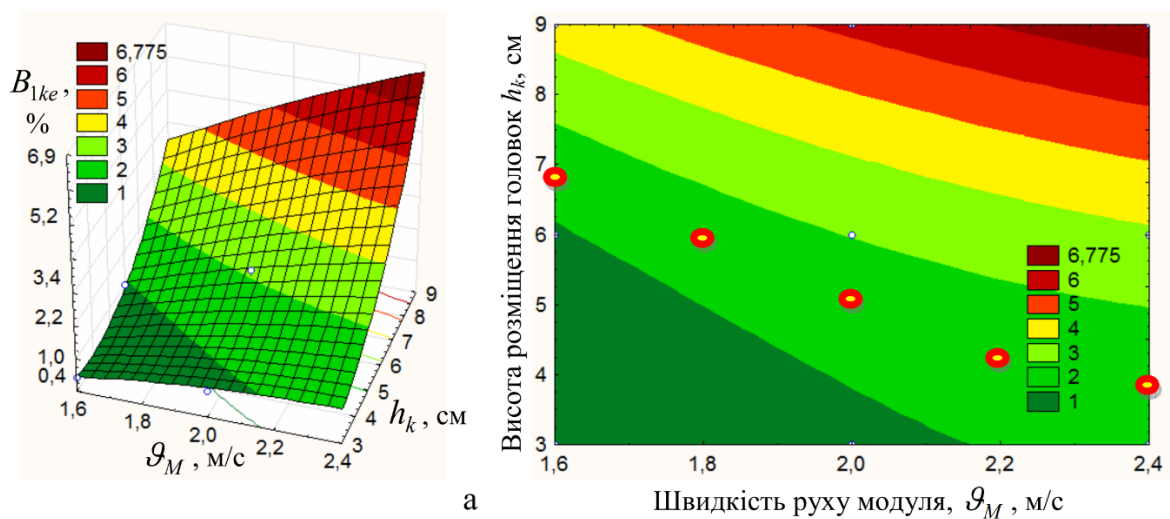


Рисунок 3.6 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз пошкодження коренеплодів як функція: а –  $P_{1ke}=f_P(v_M, h_k)$ ; б –  $P_{2ke}=f_P(v_M, h_k)$

Аналіз отриманих рівнянь регресії (3.7), які функціонально описують характер зміни пошкодження коренеплодів  $P_{1ke}$  серійним обрізником головок і пошкодження коренеплодів  $P_{2ke}$  удосконаленим обрізником головок коренеплодів гичкозбирального модуля і побудованих згідно з ними поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів (рис. 3.6) показує, що закономірність, або характер зміни  $P_{1ke}$  і  $P_{2ke}$  однаковий – зі збільшенням швидкості руху гичкозбирального модуля  $v_M$  та висоти розташування коренеплодів  $h_k$  відносно рівня поверхні ґрунту, пошкодження коренеплодів збільшуються для двох випадків.



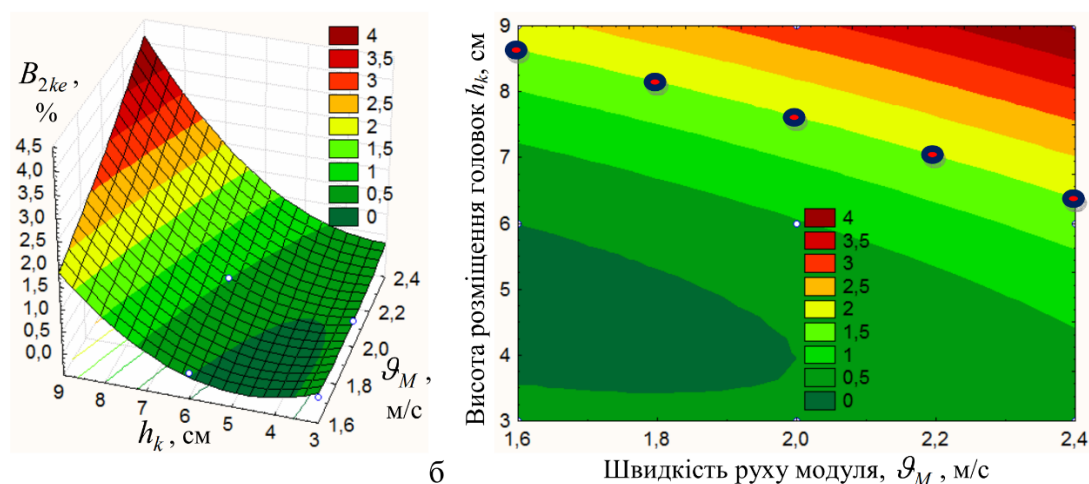


Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку та її двовірний переріз кількості вибитих коренеплодів з ґрунту як функція: а –  $B_{1ke}=f_P(g_M, h_k)$ ; б –  $B_{2ke}=f_P(g_M, h_k)$

Найбільші числові значення пошкодження коренеплодів кормових буряків спостерігаються у серійного обрізника головок коренеплодів, виконаного за типом «пасивний копір-пасивний ніж», при цьому значення пошкодження  $P_{1ke}$  знаходяться у діапазоні  $P_{1ke}=6,0...24,0$  %, рис. 3.6, а. Відповідно, для обрізника у якого ніж виконано підпружиненим, а копір встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної прокладки пошкодження коренеплодів кормових буряків знаходяться у діапазоні  $P_{2ke}=2...20$  % (рис. 3.6, б), що менше за нижній рівень  $P_{1ke}$  у три рази.

Домінуючим фактором, який впливає на показник функціональної зміни пошкодження коренеплодів, як у серійного  $P_{1ke}$ , так і удосконаленого  $P_{2ke}$  обрізника головок коренеплодів є висота  $h_k$  розташування головок коренеплодів відносно рівня поверхні ґрунту (рис. 3.6). У межах збільшення висоти  $h_k$  розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту від 3 до 9 см пошкодження коренеплодів  $P_{1ke}$  і  $P_{2ke}$  робочими органами серійного та удосконаленого обрізника, або двох конструкцій виконання ріжучого ножа та копіра обрізника головок коренеплодів (серійного плоского ножа і гребінчастого копіра та підпружиненого плоского ножа та гребінчастого копіра, встановленого на амортизаторі удару) збільшуються у приблизно в середньому у 2,5...3,0 рази.

При цьому значне зменшення пошкодження коренеплодів  $P_{2ke}$  для удосконаленого обрізника головок коренеплодів кормових буряків відносно показника  $P_{1ke}$  серійного обрізника досягається за рахунок заміни жорсткого процесу «зрубівання» черешків гички на процес різання методом ковзання леза ріжучої кромки підпружиненого ножа обрізника та частковою компенсацією горизонтальної складової сили контакту коренеплодів амортизатором, який встановлений на кронштейні пластинчастого копіра.

На основі проведеного аналізу рівнянь регресії (3.8) та побудованих згідно з ними поверхонь відгуку і їх двомірних перерізів (рис. 3.7) встановлено, що характер зміни кількості вибитих коренеплодів з ґрунту  $B_{1ke}$  серійного обрізника та  $B_{2ke}$  удосконаленого обрізника головок коренеплодів кормових буряків ідентичний – зі збільшенням швидкості руху гичкозбирального модуля  $\vartheta_M$  та висоти розташування коренеплодів  $h_k$  відносно рівня поверхні ґрунту, значення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту, як для серійного  $B_{1ke}$ , так і для удосконаленого  $B_{2ke}$  обрізника збільшуються, рис. 3.7.

Найбільша кількість вибитих з ґрунту коренеплодів кормових буряків спостерігається у серійного обрізника, значення яких знаходяться у діапазоні  $B_{1ke}=1,0...6,7\%$  (рис. 3.7, а), а мінімальні значення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту  $B_{2ke}=0,5...3,9\%$  (рис. 3.7, б), отримано для удосконаленого обрізника у якого ніж виконано підпружиненим, а копір жорстко встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної гумової прокладки.

Домінуючим фактором, який впливає на показник кількості вибитих коренеплодів з ґрунту, як і для серійного обрізника  $B_{1ke}$ , так і для удосконаленого обрізника  $B_{2ke}$ , є висота  $h_k$  розташування головок коренеплодів кормових буряків відносно рівня поверхні ґрунту.

За збільшення висоти  $h_k$  розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту від 3 до 9 см кількість вибитих коренеплодів кормових буряків з ґрунту робочими органами серійного обрізника  $B_{1ke}$  та удосконаленого обрізника  $B_{2ke}$ , або для обох типів виконання ріжучого ножа та гребінчастого копіра обрізника гичкозбирального модуля збільшується у середньому в 2,5...4,5 рази, рис. 3.7.

При цьому значне зменшення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту  $B_{2ke}$  для удосконаленого обрізника головок коренеплодів кормових буряків відносно показника  $B_{1ke}$  серійного обрізника досягається шляхом заміни жорсткого процесу «зрубубання» з головок коренеплодів черешків гички на більш «плавний» процес різання методом ковзання леза ріжучої кромки підпружиненого ножа обрізника та частковою компенсацією амортизатором удару виникаючої при цьому горизонтальної складової сили вивалювання коренеплодів з ґрунтового середовища.

Визначали агротехнічні показники якості роботи гичкозбирального модуля та на основі порівняльного аналізу показників якості роботи модернізованого та базового гичкозбирального модуля визначали загальну технологічну ефективність процесу збирання гички – зрізування основного масиву гички та видалення залишків гички з головок коренеплодів.

За базовий варіант гичкозбирального модуля приймали гичкозбиральний модуль у якого конструкція обрізника головок коренеплодів виконана по типу «пасивний копір-пасивний ніж» (рис. 3.8).

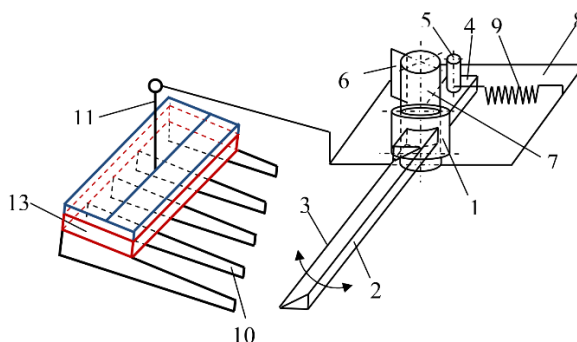


Рисунок 3.8 – Удосконалена конструкція пасивного ножа обрізника головок коренеплодів

Технологічний процес зрізування залишків гички з головок коренеплодів удосконаленим обрізником передбачає наступне: гребінчастий копір обрізника головок коренеплодів наїжджає на головку коренеплодів, копіює головки коренеплодів і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски передає це переміщення гребінчастого копіра підпружиненому ножу. Ніж, рухаючись по головці коренеплодів, лезом ріжучої кромки обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу, виконуючи різання методом ковзання. Крім того, під час

зустрічі копіра з головкою коренеплодів відбувається ударна взаємодія робочої поверхні гребінчастого копіра та головки, що призводить до їх вивалювання з ґрунту, або пошкодження. Завдяки виконанню гребінчастого копіра пружним, або наявності амортизатора удару, виконаного у вигляді гумової прокладки, сила удару гребінчастого копіра значно зменшується за рахунок того, що частина енергії удару витрачається на деформацію амортизатора або гумової прокладки. При цьому ця частина сили удару не передається на шарнірні з'єднання паралелограмної шарнірної навіски і копіру. Це знижує вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження.

Основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри удосконаленого гичкозбирального модуля: робоча швидкість руху гичкозбирального модуля – 1,7 м/с; частота обертання ротора гичкоріза – 600 об/хв; діаметр ротора гичкоріза – 0,6 м; діаметр гвинтового конвеєра – 0,3 м; частота обертання гвинтового конвеєра – 170 об/хв.

Показники якості виконання технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків під час проведення польових порівняльних досліджень наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.7 – Показники якості збирання гички коренеплодів кормових буряків удосконаленим і базовим гичкозбиральним модулем

| № п/п                                              | Найменування показників                                              | Значення показників |         |         |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|---------|
|                                                    |                                                                      | Удосконалений       | Базовий | АТВ     |
| 1                                                  | Робоча швидкість, м/с                                                | 1,7                 | 1,7     | до 1,7  |
| Якість зрізування гички з головок коренеплодів, %: |                                                                      |                     |         |         |
| 2                                                  | - нормальний зріз                                                    | 93,6                | 89,4    | -       |
| 3                                                  | - низький зріз                                                       | 0,2                 | 0,3     | -       |
| 4                                                  | - високий зріз                                                       | 2,8                 | 4,5     | -       |
| 5                                                  | - косий зріз                                                         | 3,9                 | 7,1     | до 10,0 |
| 6                                                  | - * незрізаної гички від маси коренеплодів                           | 1,6                 | 2,9     | 3,0     |
| 7                                                  | - * обрізана маса головок коренеплодів із гичкою, або з її залишками | 2,5                 | 3,0     | 5,0     |
| 8                                                  | - коренеплодів вибитих з ґрунту                                      | 1,0                 | 1,4     | 1,5     |
| 9                                                  | - * пошкодження коренеплодів, із них                                 | 7,3                 | 9,5     | 10,0    |
|                                                    | - * сильнопошкоджених                                                | 2,1                 | 3,2     | до 5,0  |
| 10                                                 | - * втрати цілих коренеплодів і їх частин у гичці                    | 0                   | 0       | -       |

Показник нормального зрізу головок коренеплодів кормових буряків під час збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем більший відносно

базового модуля на 4,6 %, а залишків гички на головках коренеплодів менше приблизно у 1,6 рази, відповідно, 1,8 % в удосконаленого гичкозбирального модуля та 2,9 % у базового.

Значне зменшення кількості вибитих коренеплодів кормових буряків з ґрунтового середовища під час збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем – з 1,4 % у базового до 1,0 % у модернізованого, або у 1,4 рази досягається за рахунок удосконалення конструктивного виконання обрізника залишків гички з головок коренеплодів, або підпружиненням ріжучого ножа та можливості його повороту на деякий кут під час процесу різання головок і встановленням амортизатору удару, виконаного у вигляді пружної гумової прокладки.

Крім того пошкодження коренеплодів удосконаленого гичкозбирального модуля становлять 7,3 %, а базового – 9,5 %, або зменшуються приблизно у 1,3 рази, при цьому сильнопошкоджених коренеплодів робочими органами удосконаленого гичкозбирального модуля менше приблизно у 1,5 рази відносно базового.

Із порівняльного аналізу показників якості виконання технологічного процесу збирання гички (табл. 3.7) можна цілком стверджувати, що застосування розробленої конструкції удосконаленого гичкозбирального модуля дозволяє значно підвищити агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків відносно показників базового гичкозбирального модуля.

### **Висновки по розділу.**

За результатами експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розбіжність експериментальних і теоретичних значень секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра становить 8...12 %, продуктивності гвинтового конвеєра становить 5...10 %;

2. Пошкодження коренеплодів удосконаленого гичкозбирального модуля становлять 7,3 %, а базового – 9,5 %, або зменшуються приблизно у 1,3 рази, при цьому сильнопошкоджених коренеплодів робочими органами удосконаленого гичкозбирального модуля менше приблизно у 1,5 рази відносно базового.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 4.1. Організація охорони праці в господарстві.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (далі – Закон), дія якого поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, обов’язок створення на робочому місці в кожному структурному підрозділі умов праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечення додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці покладається на роботодавця [3].

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, яка створюється суб’єктом господарювання і має передбачати підготовку, прийняття та реалізацію завдань щодо здійснення організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров’я та працездатності найманих працівників у процесі їх трудової діяльності.

До обов’язків роботодавця з охорони праці входить забезпечення фінансування та організація проведення попереднього та періодичного медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах зі шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі, щорічного обов’язкового медичного огляду осіб віком до 21 року. Складання переліків професій і посад, згідно з якими працівники повинні проходити обов’язкові попередні і періодичні медичні огляди, покладається на службу охорони праці підприємства.

У господарствах на основі Типового положення, з урахуванням специфіки сільськогосподарського виробництва та вимог нормативно-правових актів з охорони праці, розробляються і затверджуються відповідні положення підприємств про навчання з питань охорони праці, а також формуються плани-графіки проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці, з якими мають бути ознайомлені працівники.

Працівники та посадові особи, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці, не допускаються до роботи.

Для деяких видів робіт, так званих робіт з підвищеною небезпекою, потрібне спеціальне навчання та щорічна перевірка знань з охорони праці. Перелік робіт з підвищеною небезпекою для конкретного сільськогосподарського підприємства затверджується роботодавцем на підставі наказу Держнаглядохоронпраці від 26 січня 2005 р. № 15.

До таких робіт у сільському господарстві відносять:

- роботи, пов'язані з виробництвом, зберіганням, транспортуванням та застосуванням агрохімікатів, пестицидів, гербіцидів;
- управління тракторами і самохідним технологічним устаткуванням.

На роботах зі шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам сільського господарства видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту.

#### **4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з бурякозбиральним комбайном.**

Внаслідок порушення правил безпеки, недостатньої якості професійної підготовки фахівців можуть виникати небезпечні ситуації (поранення, травми, ураження електричним струмом, професійні захворювання, ураження працівників унаслідок аварій, катастроф тощо), що призводять до погіршення стану здоров'я працівників, викликають травми різного ступеню важкості, можуть призвести до летального наслідку.

З метою підвищення якості та ефективності навчання з питань безпеки, для більш детального та свідомого аналізу причин і наслідків небезпечних ситуацій було запропоновано модельний підхід аналізу травмонезбезпечних та аварійних ситуацій із побудовою логіко-імітаційних схем різноманітних небезпечних ситуацій у техносфері. Це дає можливість не тільки свідомо визначити первинну подію

формування аварійної або травматичної ситуації, а й визначити причетність окремої особи до настання небажаної події, а також ступінь вини самого потерпілого. Використання моделей впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників на соціальні та професійні гурти людей дає можливість розробити досконалу превентивну систему, що ґрунтується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх поглибленому логічному аналізу і, що найголовніше, терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій [11].

Тому, модель виникнення небезпечних ситуацій при роботі із бурякозбиральним комбайном має вигляд:

$$НД — НС — (А;Т)$$

Допущена груба помилка комбайнера (НД) під час руху, що призвело до поломки транспортного засобу (НС) з наслідками у вигляді аварії (А) та травмування людини (Т).

Таким чином, наведена вище логіко-імітаційна схема виникнення аварійної і травмонебезпечної ситуації при роботі із бурякозбиральним комбайном, може запобігти виробничій травмі працівників.

### **Висновки по розділу.**

В розділі охорони праці наведені основні організаційні заходи та правила з охорони праці в сільському господарстві для уникнення виникнення різних виробничих травм працюючих на усіх процесах виконання сільськогосподарських робіт.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

Розрахунок показників економічної ефективності проводять за прямими експлуатаційними витратами: відрахування на реновацію, капітальний та поточний ремонт, технічне обслуговування, оплати праці, затрати на паливно-мастильні матеріали, а також якість та кількість продукції, яку одержують за допомогою порівнювальних машин.

При роботі різних конструкцій однотипної сільськогосподарської техніки, розрахунок показників економічної ефективності їх застосування проводять комплексно з урахуванням функціональних показників якості роботи порівнювальних машин. За базу під час визначення економічної ефективності приймають отримані в процесі проведення порівняльних досліджень показники аналога та модернізованого технічного засобу [18].

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності удосконаленої гичкозбиральної машини, обладнаної новими робочими органами гвинтового конвеєра та обрізника залишків гички, наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності  
удосконаленої гичкозбиральної машини

| Назва показника                                            | Удосконалена машина | Базова машина |
|------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|
| Продуктивність за 1 год. часу зміни, га/год.               | 1,5                 | 1,5           |
| Площа посівів кормових буряків, га                         | 300                 | 300           |
| Річне планове завантаження, год.                           | 300                 | 300           |
| Середня урожайність коренеплодів, т/га                     | 32,05               | 32,05         |
| Відстань транспортування викопаних коренеплодів, км        | 5                   | 5             |
| Показники якості роботи:                                   |                     |               |
| - домішки, (залишки гички), %                              | 1,6                 | 2,9           |
| - пошкодження коренеплодів, %                              | 7,3                 | 9,5           |
| - косий зріз головок коренеплодів (втрати коренеплодів), % | 3,9                 | 7,1           |

Загальний економічний ефект  $E_{zag}$  визначається як сума зменшення прямих експлуатаційних затрат і додаткового економічного ефекту від підвищення показників якості роботи удосконаленої гичкозбиральної машини [18].

$$E_{zag} = (P_{\bar{o}} - P_m) + E_{\partial}, \quad (5.1)$$

де  $P_{\bar{o}}, P_m$  – приведені експлуатаційні затрати базової і удосконаленої машини грн/га;  $E_{\partial}$  – додатковий ефект від експлуатації робочого органу, грн/га.

У нашому випадку, застосування робочих органів удосконаленої гичкозбиральної машини призвело до покращення показників якості виконання 159 технологічного процесу збирання гички кормових буряків, порівняно з базовою гичкозбиральною машиною МБП-6, при цьому незрізаної гички на головках від маси коренеплодів або забрудненості, порівняно з серійною машиною, зменшилось у 1,3 рази, сильних пошкоджень коренеплодів – у 1,5 рази, а обрізаної маси головок коренеплодів із гичкою або втрати коренеплодів – у 1,8 рази. Тому приймаємо додатковий ефект від зменшення забрудненості, пошкодження та втрат коренеплодів.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_P = E_{zag} Q_M. \quad (5.2)$$

де  $Q_M$  – сезонне навантаження машини, га. Приймаємо  $Q_M = 300$  га [14].

Річний економічний ефект  $E_Z$  від зменшення забрудненості коренеплодів:

$$E_Z = E'_Z \cdot W_{з.м} \cdot T_M, \quad (5.3)$$

де  $T_M = 300$  год. – річне планове завантаження машини [4].

Річний економічний ефект від зменшення пошкоджень коренеплодів  $E_n$  (грн) в загальному визначається за залежністю:

$$E_n = 0,95 \cdot 10^{-3} \cdot (x_1 - x_2) \cdot Q m t k_{non}, \quad (5.4)$$

де  $x_1, x_2$  – відповідно, кількість пошкоджених коренеплодів базовою і модернізованою машиною, %;  $Q$  – кількість коренеплодів зібраних за сезон, т;  $m$  – частка коренеплодів, що підлягає зберіганню;  $t$  – середній термін зберігання коренеплодів, днів;  $k_{non}$  – поправочний коефіцієнт.

Поправочний коефіцієнт визначають як добуток коефіцієнтів [4]:

$$k_{non} = k_1 \cdot k_2, \quad (5.5)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт заготовки коренеплодів 0,9;  $k_2$  – коефіцієнт втрат коренеплодів від терміну зберігання 0,96.

Річний економічний ефект  $E_V$  (грн) від зменшення втрат коренеплодів визначається за формулою:

$$E_V = W_3 T_M U_k a c, \quad (5.6)$$

де  $a$  – питома збільшення збирання буряків,  $a=(7,1-3,9)/100\%=0,032$ ;  $c$  – закупівельна ціна буряків,  $c=1421$  грн/т [5].

Результати розрахунку економічної ефективності використання удосконаленого гичкозбирального модуля наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники розрахунку економічної ефективності використання гичкозбирального модуля

| Показник                                                                    | Значення показника |          | Ступінь показника, ± % |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|------------------------|
|                                                                             | Базова             | Модерн.  |                        |
| Продуктивність за 1 год. змінного часу на вивезені коренеплодів, т/год.     | 4,55               | 4,9      | +7,7                   |
| Кількість транспортних засобів для вивезення коренеплодів з 1 га, шт.       | 7                  | 6        | -16,7                  |
| Заробітна плата працівників на вивезенні коренеплодів з 1 га, грн/га        | 189,55             | 159,56   | -18,8                  |
| Питомі витрати на реновацію транспортних засобів, грн/га                    | 619,9              | 576,6    | -7,5                   |
| Питомі відрахування на капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн/га | 1317,3             | 1223,1   | -7,7                   |
| Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га                        | 1666,2             | 1454,2   | -14,6                  |
| Прямі експлуатаційні видатки, грн/га                                        | 3692,95            | 2836,86  | -30,2                  |
| Питомі капіталовкладення, грн/га                                            | 3874,2             | 3597,4   | -7,7                   |
| Приведені витрати на 1 га, грн/га                                           | 4124,2             | 3815,5   | -8,1                   |
| Економічний ефект на 1 га, грн/га                                           | -                  | 851,6    | -                      |
| Річний економічний ефект, грн.                                              | -                  | 255467,0 | -                      |

Таким чином, застосування гичкозбирального модуля, обладнаного удосконаленими робочими органами порівняно з базовою машиною МБП-6 є економічно ефективним і доцільним. Загальний річний економічний ефект від підвищення функціональних показників становить 255467,0 грн, або 851,6 грн на 1 га.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено наукове завдання підвищення показників якості роботи гичкозбирального модуля шляхом розробки і обґрунтування раціональних параметрів гвинтового конвеєра та обрізника залишків гички. Підвищення показників якості роботи досягнуто за рахунок зменшення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження.

У межах зміни швидкості руху модуля від 1,6 до 2,2 м/с та урожайності гички від 70 до 110 ц/га за одночасного збирання коренеплодів з 6 рядків, секундна подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра становить 19...35 кг/с, при цьому в межах зміни інтервалу урожайності гички  $\pm 2...10$  ц/га секундна подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра знаходиться в межах від 16 до 40 кг/с. Розбіжність експериментальних і теоретичних значень продуктивності роботи гвинтового конвеєра становить 8...12 %.

На основі теоретично-експериментальних досліджень встановлено, що продуктивність гвинтового конвеєра змінюється у межах від 12 до 33 кг/с за частоти обертання шнека від 100 до 220 об/хв, діаметра шнека 0,3 м та коефіцієнта заповнення жолоба 0,7. Розбіжність експериментальних і теоретичних значень продуктивності роботи гвинтового конвеєра становить 5...10 %.

Встановлено, що найбільша кількість пошкоджених (6...24%) та вибитих з ґрунту (1,0...6,7%) коренеплодів спостерігається у серійного обрізника, а мінімальні значення (2...20% та 0,5...3,9%) відповідають обрізнику, де ніж виконано підпружиненим, а копір встановлено на пружному амортизаторі.

За результатами досліджень встановлено, що раціональні параметри робочих органів гичкозбирального модуля будуть: діаметр шнека 0,3 м; частота обертання шнека 170 об/хв; крок першого спірального витка шнека 0,15 м; інтервал зміни кроку 0,05 м; робоча довжина активного ножа 0,3 м; швидкість руху активного ножа 0,5 м/с.

Загальний річний економічний ефект від підвищення функціональних показників гичкозбирального модуля становить 255467,0 грн, або 851,6 грн на 1 га.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурякозбиральний комбайн V202. Проспект фірми Stoll. Wilhem Stoll, Maschinenfabrik GmbH.
2. ДСТУ 2258-93. Машина бурякозбиральні. Київ : Держстандарт України, 1993. 18 с.
3. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII - zakon . rada URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.
4. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки. Навчально-методичний посібник для студентів економічних спеціальностей. М.Г. Данильченко, Б.Б. Гладич, Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко. Тернопіль : Економічна думка, 2001. 128 с.
5. Інтернет-ресурс. URL: <http://agrotorg.net/ru/board/r-510/p-1/>
6. Клімук М. Обґрунтування параметрів роторного гичкозрізувального апарату. Вісник Тернопільського державного університету. Тернопіль : ТДТУ, 2003. Т. 8. № 3. С. 64–68.
7. Кравчук В.І. Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарської техніки / В.І. Кравчук, М.І. Грицишин, С.М. Коваль. Київ : Аграрна наука, 2004. 353 с.
8. Мартиненко В.Я. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступення докт. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машина і засоби сільськогосподарського виробництва» / В.Я. Мартиненко. Тернопіль, 2000. 33 с.
9. Погорілий Л.В., Волянський М.С., Фомічов А.М. Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки механізованого процесу збирання. Вісник сільськогосподарської науки. 1993. № 1. С. 64–69.
10. Погорілий М.Л. Моделювання експлуатаційно-технологічних характеристик бурякозбиральних комплексів при різних способах збирання

врожая. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Том 9. К.: НАУ, 1998. С. 175–182.

11. Прокопенко Е.В., Лісовий І.О., Лісова Т.С. Моделювання виробничих небезпек та зменшення їх шкідливого впливу під час проведення механізованих робіт. Зб. наук. праць УНУС. Умань, 2015. С. 79-86.

12. Рибак Т., Цьонь Г. Обґрунтування параметрів гичкозбирального модуля. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій до 100- річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті) : мат. Міжн. наук.-техн. конф. Тернопіль, 22-24 травня 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. С. 153-154.

13. Рибак Т.І., Цьонь О.П. Огляд гичковидальючих апаратів бурякозбиральних машин та шляхи їх вдосконалення. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Технічний сервіс машин для рослинництва”. Харків, 2013. Вип. № 134. С. 203 – 207.

14. Сільськогосподарські машини та основи експлуатації машинно-тракторного парку / Б.М. Четиркін, З.І. Воцький, М.Г. Полікутін и ін. 2-е вид., перероб. і доп. Київ, 2001. 336 с.

15. Смаль М.В., Герасимчук О.О., Барановський В.М. Математичні моделі процесу копіювання головок коренеплодів копіром пасивного дообрізчика залишків гички. Зб. наук. праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. Вінниця : ВНАУ, 2012. Вип. 11. Т. 1 (65). С. 206–212.

16. Сторожук І.М. Результати порівняльних досліджень гичкозбирального модуля Аграрна наука та освіта Поділля: зб. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. 14-16 бер. 2017 р., м. Кам'янець-Подільський. Тернопіль : Крок, 2017. Ч. 2. С.74–76.

17. Сторожук І.М. Розробка конструктивно-технологічної схеми удосконаленої гичкозбиральної машини. Наукові нотатки. 2015. Вип. 51. С. 191–195.

18. Цьонь О.П., Цьонь Г.Б.. Планування багатофакторного експерименту з дослідження активних дообрізувачів гички. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доп. Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль, 11-12 грудня 2013 р. Тернопіль: ТНТУ, 2013. С. 165.

19. Analytical and applied model of the process of the cut vegetable components feeding to the screw conveyor of the top gathering module / Rybak T., Tson A., Stashkiv M., Tson O. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018. No 2 (90). P. 105-114.

20. Experimental researches of parameters technological process of the improved beets tops purifier / Anna Tson, Viktor Baranovskyi, Oleg Lyashuk, Taras Dovbush. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018. No 4 (92). P. 60-67.

21. Substantiation of capacity of screw conveyor of haulm-cutting module / Tson A., Rybak T., Stashkiv M., Shchur T. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin-Rzeszow, 2018. No.1 (20). P. 83-89.

22. Torsional oscillations of an auger multifunctional conveyor's screw working body with consideration of the dynamics of a processed medium continuous flow / [Lyashuk O., Sokil M., Vovk Y., Tson A., Gupka A., Marunych A.]. Ukrainian Food Journal. Kyiv, 2018. Vol. 7. Issue 3. P. 499-510.

23. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Система машин і механізмів АПК. Тернопіль, 2002. 264 с.