

**В.М. БАРАНОВСЬКИЙ, М.Р. ПАНЬКІВ,  
Є.Б. БЕРЕЖЕНКО, Б.М. БЕРЕЖЕНКО, В.А. БОЙКО**

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНИХ МОДУЛІВ**



**В.М. БАРАНОВСЬКИЙ, М.Р. ПАНЬКІВ  
Є.Б. БЕРЕЖЕНКО,, Б.М. БЕРЕЖЕНКО, В.А. БОЙКО**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ  
ГИЧКОЗБИРАЛЬНИХ МОДУЛІВ**

**МОНОГРАФІЯ**

**ТЕРНОПІЛЬ – 2022**

УДК 631.356.22

**Барановський В. М.**

Технологічні аспекти процесів роботи гичкозбиральних модулів: Монографія / В.М.Барановський, М.Р.Паньків, Е.Б. Береженко, Б.М. Береженко, В.А. Бойко. – Тернопіль: Ред.-вид. відділ ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. – 294 с.

Рецензенти:

Мироненко В.Г., д.т.н., професор

Головач І.В., д.т.н., професор

Дідух В.Ф., д.т.н., професор

В монографії наведено відомості про технології та способи збирання основного масиву гички коренеплодів і обрізування залишків гички з головок коренеплодів, аналіз конструкцій і теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів. Подано результати теоретичних і експериментальних досліджень процесу зрізування гички та обрізування залишків гички з головок коренеплодів робочими органами гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин.

Рекомендується науковцям, аспірантам, студентам та інженерним працівникам, які займаються питаннями механізації сільськогосподарського виробництва.

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради*

*ТНТУ ім. І. Пулюя*

*(протокол № 3 від 27 січня 2022р. )*

© В.М.Барановський, М.Р.Паньків, Е.Б. Береженко,  
Б.М. Береженко, В.А. Бойко, 2022

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ .....	11
1.1. Аналіз способів збирання гички коренеплодів і конструкцій гичкозбиральних модулів .....	11
1.2. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів .....	30
1.3. Обґрунтування вибору конструктивної схеми гичкозбирального модуля для проведення досліджень .....	37
1.4. Висновки до розділу та основні напрямки дослідження .....	48
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ .....	51
2.1. Аналіз теоретичної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів .....	51
2.2. Обґрунтування параметрів роторного гичкозрізувального апарата .....	68
2.3. Математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі .....	82
2.4. Дослідження процесу взаємодії копіра з головкою коренеплоду .....	98
2.5. Дослідження процесу різання головок коренеплодів пасивним ножем обрізника .....	115
2.6. Висновки до розділу.....	129
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ .....	131
3.1. Програма, об'єкт і предмет дослідження робочих органів гичкозбирального модуля .....	131

3.2. Методика проведення експериментальних досліджень з визначення технологічної подачі гички в міжряддя невикопаних коренеплодів .....	142
3.3. Методика експериментальних досліджень ефективності процесу зрізування гички з головок коренеплодів .....	150
3.4. Методика проведення порівняльних досліджень базового та удосконаленого способу збирання основного масиву гички .....	157
3.5. Висновки до розділу .....	160
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ .....</b>	<b>161</b>
4.1. Експериментальні дослідження технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів .....	161
4.2. Експериментальні дослідження розмірних частин подрібнених стебел гички роторним гичкорізом .....	174
4.3. Експериментальні дослідження зрізування гички робочими органами гичкозбирального модуля .....	185
4.4. Результати порівняльних досліджень способів збирання основного масиву гички коренеплодів .....	201
4.5. Висновки до розділу .....	208
<b>РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ .....</b>	<b>213</b>
5.1. Перспективні напрямки вдосконалення робочих органів гичкозбиральних модулів .....	212
5.2. Обґрунтування зменшення енергетичних витрат процесу роботи гичкозбирального модуля .....	216
5.3. Висновки до розділу.....	222
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>223</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>227</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>243</b>

## ВСТУП

Подолання кризової ситуації аграрного сектору України неможливе без подальшої розробки принципово нових підходів до створення й використання високоефективних прогресивних технологій збирання сільськогосподарської продукції. У цьому контексті підвищення виробництва крупних коренеплодів, до яких відносяться коренеплоди цикорію, цукрові та кормові буряки є важливим завданням.

Виробництво продукції переробки цикорію кореневого було традиційною та провідною галуззю агропромислового комплексу України. Коренеплоди цикорію використовують у фармацевтичній, кавовій, спиртовій та кондитерській галузях. Продукція двох переробних заводів України, які завантажені на 15...25 % виробничої потужності, експортується у Францію, Бельгію, Угорщину, РФ, Республіку Білорусь, США.

Цінність цикорію визначається вмістом у коренеплодах різних видів цукринів – інуліну, фруктози, глюкозиду інтибіну, різних видів корисних для організму та рідкісних у натуральних продуктах кислот, вітамінів, а також мікроелементів із включенням заліза, міді, цинку, хрому.

На початку XXI ст. світова площа посіву коренеплодів цикорію кореневого становила близько 0,1...0,15 млн. га. У теперішній час посівні площі цикорію кореневого значно зменшилися – середній показник посівних площ у світі становить близько 200...300 тис. га, а виробництво коренеплодів цикорію зменшилося на 50...70%, що спричинено значними втратами коренеплодів цикорію внаслідок недосконалих технологій збирання.

Цукрові буряки – важлива технічна культура, яка є джерелом для одержання сировини з якої виробляють стратегічний харчовий продукт цукор, а також отримують соковиті корми для тваринництва та інші важливі побічні продукти її переробки.

З часу відкриття цукру як концентрату солодкості проблема задоволення цієї потреби людства вирішена майже повністю, оскільки були відкриті й удосконалені такі невичерпні джерела цукру, як цукрова тростина, а потім і цукрові буряки. У 1747 р. в Німеччині вчений хімік А.С. Маркграф

запропонував використовувати білі коренеплоди буряків для отримання цукру, а перші цукрові заводи було побудовано у 1802 р. в окрузі Шляйсен (Німеччина) і Тульській губернії Росії. Уже до 1900 р. посіви цукрових буряків в Україні та чорноземних регіонах Росії склали біля 500 тис. га, а до 1913 р. – 680 тис. га. У другій половині XIX ст. вирощування цукрових буряків і промислове виробництво цукру одержало прискорений розвиток і розповсюдження в багатьох країнах Західної та Центральної Європи.

У теперішній час світова площа посіву фабричних цукрових буряків стабільно становить близько 9 млн. га, що дає змогу виробляти з цукрових буряків 40 % загального виробництва цукру в світі. Понад 80% виробництва цукрових буряків зосереджено в Європі (Україна, Російська Федерація, Німеччина, Франція та ін.). За межами Європи значними виробниками цієї продукції є США, Китай, Японія, Чилі.

Україна була одним з найбільших виробників цукру в складі колишнього СРСР та, як наслідок – виробництва коренеплодів цукрових буряків. При цьому перехід до ринкової економіки став справжнім викликом для цукропереробної галузі в Україні – із втратою ринків збуту на теренах колишнього СРСР та конкурентоспроможності на світовому ринку виробництво цукрових буряків знизилося з 44,3 млн. т. в 1990 р. до 8,3 млн. т. у 2020 р., тобто майже у 5,3 рази.

Але за розмірами посівних площ цукрових буряків і за обсягом виробництва цукру Україна і зараз займає провідне місце серед найбільш розвинених бурякосійних держав світу.

Проте за виходом цукру з одного гектару значно відстає від розвинутих країн, що спричинено значними втратами цукрової сировини внаслідок недосконалих технологій збирання.

Кормові буряки дають стабільний урожай 500...700 і більше центнерів коренеплодів, 200 центнерів гички з гектара, що в перерахунку складає 93...135 центнерів кормових одиниць. Коренеплоди кормових буряків є цінними складовими компонентами кормового раціону сільськогосподарських тварин.

Введення в раціон дійних корів кормових буряків сприяє збільшенню поїдання кормів на 8...11 %, підвищенню молочної продуктивності тварин на 10 %, засвоєнню органічних речовин – на 5...8 %, використання азоту – на 3...5%.

Із-за відсутності надійних і високоефективних механізмів і особливо засобів збирання гички коренеплодів кормових буряків витрати ручної праці на виробництво цієї культури складають 500...600 люд-год/га, у тому числі 30...50% їх припадає на збирання. Занепад галузі тваринництва та недосконалість технологій збирання кормових буряків спричинило значне зменшення посівних площ – у середньому в 3...4 рази.

Крім того, гичка коренеплодів цикорію, цукрових і кормових буряків є одним із джерел повернення поживних речовин після її розкидання на зібране поле та заробляння в ґрунт, а коренеплоди – це екологічно чисті продуктивні відновлювальні джерела енергії у вигляді твердої біомаси для виробництва біоетанолу.

В останні роки як у світі, так і в Україні зокрема, в зв'язку з подорожчанням енергоносіїв, все більше уваги почали приділяти біопаливу, що виробляється з високопродуктивних енергетичних культур. Одним з найбільш перспективних альтернативних джерел енергії на сьогоднішній день є тверда біомаса органічного або рослинного походження, яка є екологічно чистим відновлюваним джерелом енергії. Сучасні сорти та гібриди коренеплодів мають високий потенціал урожайності та великий вихід чистої енергії та біогазу з коренеплодів із 1 га. Після переробки коренеплодів цикорію, цукрових і кормових буряків створюються високо насичені носії енергії у формі цукринів, які є основою для виробництва альтернативного палива. Різновидами такого палива є біодизель і біоетанол. Для виробництва етанолу використовують будь-яку сировину, що містить значну кількість цукру, або матеріали, які можуть бути перетворені в цукор, наприклад, крохмаль або целюлоза.

Основними причинами зниження виробництва коренеплодів цикорію, цукрових і кормових буряків є недосконалість техніки для збирання та невідповідність показників якості роботи встановленим вимогам.

Від застосованих компонувальних схем коренезбиральних машин, конструктивних особливостей транспортно-технологічних систем і параметрів їх робочих органів залежать основні показники якості механізованого збирання коренеплодів – показники збирання гички, викопування коренеплодів, очищення коренеплодів від домішок, завантаження коренеплодів у бункер або



транспортні засоби. До таких показників відносять втрати гички, ступінь якості обрізування головок коренеплодів, втрати коренеплодів, пошкодження коренеплодів і ступінь відокремлення домішок від коренеплодів.

Своєчасне збирання коренеплодів цикорію, цукрових і кормових буряків в оптимальні агротехнічні строки за мінімальних втрат і забрудненості коренеплодів – одна з важливих наукових задач удосконалення коренезбиральної техніки.

Переробна промисловість зацікавлена в одержанні непошкодженої та більш чистої від домішок сировини, особливо від гички та ґрунту. Наявність гички створює значні труднощі під час зберігання та переробки сировини на заводі, що є однією із причин значного зниження якості сировини та як наслідок – втрати виходу продукції переробки цикорію, втрати виходу цукру, значне зниження поживних властивостей кормових буряків.

Втрати фізичної маси коренеплодів цукрових, кормових буряків і коренеплодів цикорію під час збирання обумовлені, як безпосередніми втратами коренеплодів під час їх збирання (більше 1,5 %), так і загальними конструктивно-технічними рішеннями гичкозбиральних модулів, показники якості роботи яких не відповідають агротехнічним вимогам: забрудненість коренеплодів залишками гички та рослинними домішками становить 3...5 %; відходи в гичку маси обрізаних головок до маси коренеплодів – 7...9 %; пошкодження коренеплодів за рахунок сколів – до 15 %, із них сильнопошкоджених – більше 6...8 %.

Підвищення забрудненості коренеплодів зеленою масою на 1 % знижує вихід цукрози на 0,1 %, а одноденне зберігання буряків у кагатах із вмістом гички біля 4 % знижує вихід цукру в середньому на 0,012 %, що не в повній мірі відповідає сучасним вимогам господарювання, повного усунення ручних робіт під час доведення зібраного врожаю до необхідних кондицій, скорочення втрат у процесі зберігання та переробки цукрової сировини.

Тому конкурентоспроможність та ефективність способів виробництва коренеплодів цикорію, цукрових і кормових буряків в Україні є одним з найбільш важливих елементів у проблемі підтримки та збереження всього виробничого комплексу.

Велика різноманітність конструктивних і компоувальних схем робочих органів гичкозбиральних модулів і їх основних структурних елементів – гичкозрізувальних апаратів основного масиву гички та обрізників залишків гички з головок коренеплодів у значній мірі кореляційно пов'язана з технологіями та агротехнічними вимогами до показників якості збирання гички. Зважаючи на це, вибір перспективних компоувальних схем і розробка удосконалених конструкцій гичкозбиральних модулів повинна базуватися на світовому досвіді та враховувати особливості наявних вітчизняних екологічних, агротехнічних, техніко-економічних та інших виробничих вимог.

Першим етапом процесу збирання крупних коренеплодів є енерговитратна технологічна операція зрізування основного масиву гички з їх головок, наявний вміст якої у зібраних коренеплодах значно знижує якість сировини та вихід продуктів їх переробки.

Одним з напрямків підвищення ефективності процесу збирання гички коренеплодів, який базується на вирішенні комплексної науково-технічної задачі, є пошук нових конструктивних схем робочих органів і створених на їх базі удосконалених енергоощадних гичкозбиральних модулів самохідних бункерних коренезбиральних машин.

В основу рішення наукової задачі зменшення витрат енергії при збиранні основного масиву гички крупних коренеплодів покладено наукову гіпотезу, яка передбачає усунення в конструктивно-компоувальній схемі гичкозбирального модуля проміжної ланки або транспортного гвинтового пристрою (механізму), виконаного у вигляді шнекового конвеєра, який встановлено в направляючому жолобі, призначеному для транспортування зрізаної гички.

Це дозволить усунути проміжну операцію переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром на зібране поле, яка забезпечується та реалізується внаслідок системного підходу до удосконалення конструктивних особливостей робочих органів шляхом ефективного моделювання та побудови їх компоувальних схем, що утворюють гичкозбиральний модуль транспортної системи самохідної бункерної коренезбиральної машини.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

### 1.1. Аналіз способів збирання гички коренеплодів і конструкцій гичкозбиральних модулів

Технологічний процес збирання гички з довгоплідних великорозмірних коренеплодів, таких як цукрові та кормові буряки, коренеплоди цикорію (в подальшому – коренеплодів), регламентується в першу чергу агротехнічними характеристиками та фізико-механічними властивостями врожаю в період його збирання, а також конструкцією робочих органів і компоновальними схемами машин і пристроїв [1 – 3].

Перший етап розробки технічних засобів, які призначені для збирання гички з головок коренеплодів повинен базуватися на систематизації та аналізу агрофізичних характеристиках коренеплодів і гички, варіювання та мінливість яких має суттєвий вплив на процес розробки конструктивних особливостей робочих органів [4 – 6].

Тому, комплексна оцінка агробіологічних характеристик і фізико-механічних властивостей коренеплодів є теоретичною основою розрахунку та проектування робочих органів для збирання основного масиву гички коренеплодів (рис. 1.1) та побудови компоновальних схем гичкозбиральних модулів самохідних бункерних коренезбиральних машин [7].

Необхідно акцентувати, що аналіз агробіологічних характеристик і фізико-механічних властивостей гички коренеплодів у період збирання врожаю досить повно наведено у багатьох наукових працях, узагальнені результати яких проаналізовано у публікаціях Барановського В.М. [7 – 9], Бориса В.Н. [10], Вовка П.Ф. [11, 12], Гументика М.Я. [13], Зуєва М.М. [14, 15], Кузьмича В.М. [16, 17], Погорілого Л.В. [18 – 20], Татьянка М.В. [21], Шабельника Б.П. [22], Яценка О.Я. [23, 24] та ін.

Гичка, яка розміщена на головці коренеплодів, у більшості їх сортів має форму розетки. Розетку гички можна подати у вигляді уявної геометричної фігури перевернутого конуса, при цьому розетку утворюють у середньому 10...30 великих листків гички (рис. 1.1), а вершина перевернутого конуса (або головка коренеплоду) може розташовуватися відносно рівня поверхні ґрунту у доволі значному діапазоні: цукрові буряки – ( $\pm 40$ ) мм [25]; кормові буряки – до (+ 50...80) мм [26, 27]; коренеплоди цикорію – до (+ 20...40) мм [28]. Загальна площа листової поверхні гички одного коренеплоду на період збирання становить у середньому 40...60 тис. м<sup>2</sup>/га [29]. У листках гички на період фізіологічної стиглості, або під час збирання коренеплодів міститься 15...22 % сухих речовин, які у своєму складі мають 2...3 % протеїну, до 2 % клітковини, 2 % золи, 0,4 % жиру, водорозчинних вуглеводів 5...8 % [30].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд коренеплодів

Для дослідження процесу зрізування гички пріоритетними показниками, які значно регламентують процес збирання гички та на основі яких моделюють конструкцію робочих органів пристроїв і технологію, або спосіб збирання гички є висота розміщення коренеплоду відносно поверхні ґрунту, форма головки коренеплоду і гички, сила зрізування одного стебла, або пучка гички, коефіцієнт тертя спокою гички, твердість гички за плюсової і мінусової температури повітря тощо [31].

Важливою умовою отримання доброякісної сировини для переробної та харчової галузі агропромислового комплексу є своєчасне збирання коренеплодів згідно встановлених агротехнічних показників якості. Як пізно, так і занадто раннє збирання коренеплодів призводить до значних втрат багатьох видів структурних природних компонентів, або зниження якості сировини для її переробки. Сталий розвиток світового агропромислового комплексу неможливо без розробки нових прогресивних підходів до створення ефективних технологій і технічних засобів збирання гички [32].

Технічний прогрес початку третього тисячоліття зумовив подальший розвиток сільськогосподарського машинобудування – у серійне виробництво впроваджуються нові високоефективні коренезбиральні комплекси, побудовані на основі оригінальних технологічно-компонувальних схем і конструктивних рішень робочих органів.

Радикальні принципи еволюції технічних засобів, призначених для збирання коренеплодів, тісно пов'язані з основними загальними аспектами розвитку технологій та способів їх збирання, а також еволюцією окремих технологічних операцій, особливо таких як збирання основного масиву гички та доочищення її залишків на головках коренеплодів, викопування коренеплодів, очищення викопаного вороху коренеплодів від домішок, завантаження очищених коренеплодів у бункер, формування великих польових кагатів коренеплодів висотою до 3-х метрів із наступним їх підбиранням та завантаженням у транспортний засіб.

Аналіз еволюції розвитку конструктивно-компонувальних і технологічних схем машин для збирання коренеплодів показує, що на сучасному етапі для збирання коренеплодів все більше застосовуються потужні самохідні бункерні комбайни, якими щорічно збирається до 70 % світових площ посівів коренеплодів.

Технологічний процес збирання коренеплодів регламентується в основному агротехнічними характеристиками врожаю, конструкцією робочих органів і компоновальними схемами транспортно-технологічних систем збиральних машин.

Для реалізації технологічного процесу збирання коренеплодів застосовують потокову, перевалочну і потоково-перевалочну технології збирання.

Потокова технологія збирання передбачає відвезення зібраних коренеплодів безпосередньо від збиральної машини на приймальний пункт цукрового заводу (цукрові буряки) або на ферму (кормові буряки), відповідно, для переробки або згодовування, або в кагати для зберігання, а гичку – подрібнення та розкидання її на зібране поле, або відвезення її на ферму або силососховище (рис. 1.2а).



а



б



в



г

Рисунок 1.2 – Технології збирання коренеплодів: а – потокова (відвезення коренеплодів); б, в – перевалочна (формування кагатів і підбирання валка коренеплодів); а, б, в, г – потоково-перевалочна

Перевалочну технологію збирання застосовують, коли замало транспорту для відвезення коренеплодів на приймальний пункт і надмірна засміченість бурякової сировини. Коренеплоди вивантажують на перевалочному пункті в купи, валки або кагати, а потім завантажують їх у транспортні засоби потужними буряконавантажувачами-очисниками, які доочищують коренеплоди від домішок до потрібної кондиції згідно з агротехнічними вимогами до якості цукрової сировини, або продукції кормових буряків (рис. 1.2б, в).

Потоково-перевалочна технологія збирання полягає в тому, що одну частину зібраних коренеплодів безпосередньо від коренезбиральної машини відвозять на приймальний пункт заводу або на ферму, а іншу частину зібраних коренеплодів реалізують за перевалочною технологією – відвозять на перевалочний майданчик (рис. 1.2г).

За функціональним призначенням (виконанням технологічних операцій) машини для збирання коренеплодів поділяють на гичкозбиральні, причіпні або самохідні коренезбиральні, самохідні бункерні комбайни (комплекси), копачі-валкоутворювачі, підбирачі валків, навантажувачі-очисники.

Класифікацію сучасних коренезбиральних машин, які знайшли переважне застосування для збирання коренеплодів цукрових і кормових буряків наведено на рис. 1.3. У зв'язку з великою різноманітністю конструктивно-компонувальних схем і технологічного призначення коренезбиральних машин, за основу побудови класифікаційної схеми прийнято чотири головні критерії систематизації – спосіб агрегування, функціональне призначення, спосіб збирання і технологічний потік (напрямок руху викопаного вороху коренеплодів).

Еволюція технічних засобів, які призначені для збирання коренеплодів, тісно пов'язана з основними аспектами розвитку технологій і способів їх збирання, або удосконаленням технологічних операцій збирання коренеплодів (рис. 1.4):

- збирання гички, яке передбачає зрізування основного масиву гички та обрізування її залишків на головках коренеплодів;
- викопування коренеплодів, яке передбачає витягування коренеплодів з ґрунтового середовища; очищення коренеплодів, яке передбачає відокремлення компонентів домішок від коренеплодів;
- завантаження коренеплодів, яке передбачає завантаження очищених коренеплодів у бункер коренезбиральної машини [33].

Перераховані операції регламентують однофазний спосіб збирання коренеплодів сучасними самохідними бункерними комбайнами, рис. 1.5, 1.6.

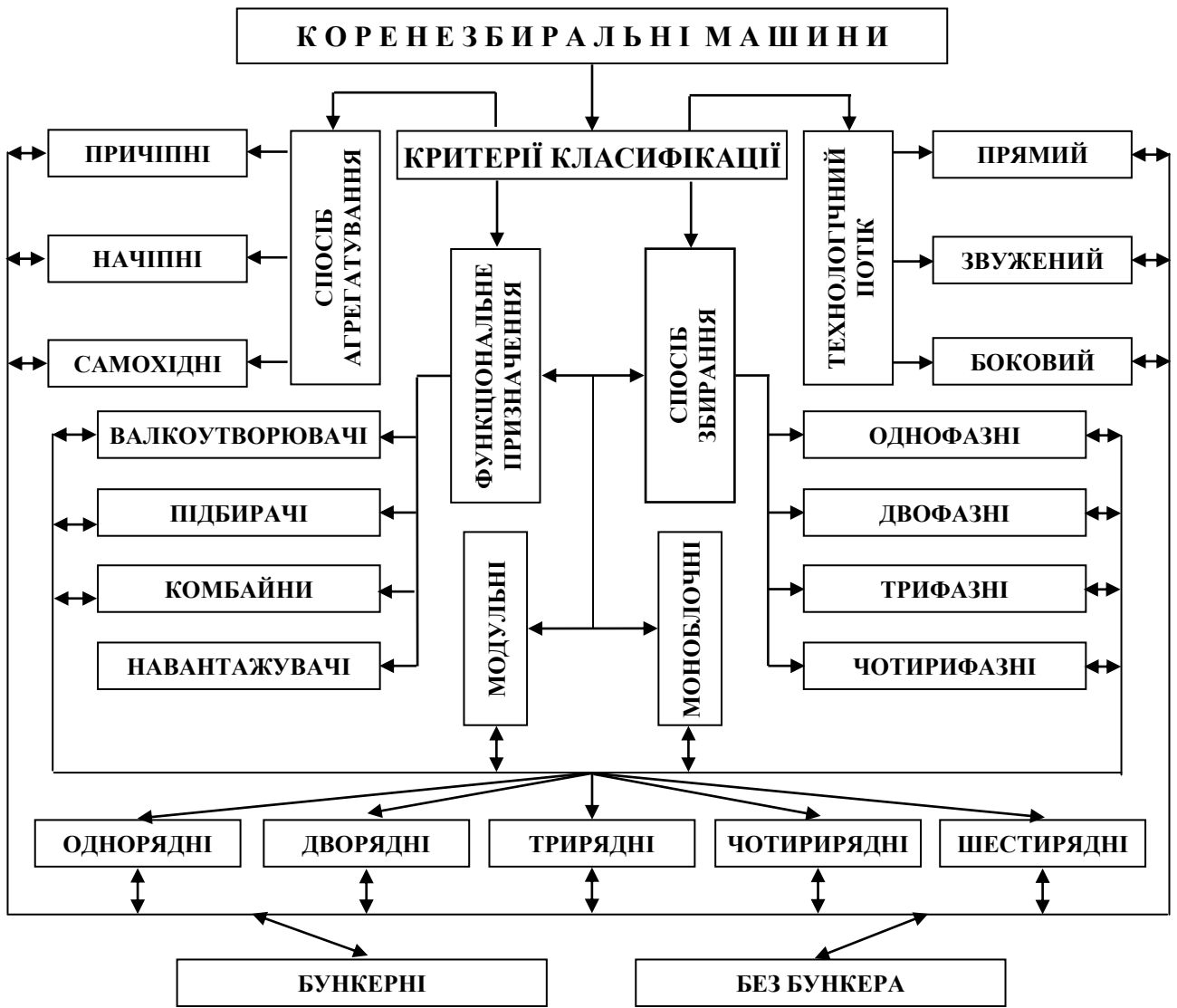


Рисунок 1.3 – Класифікація коренезбиральних машин

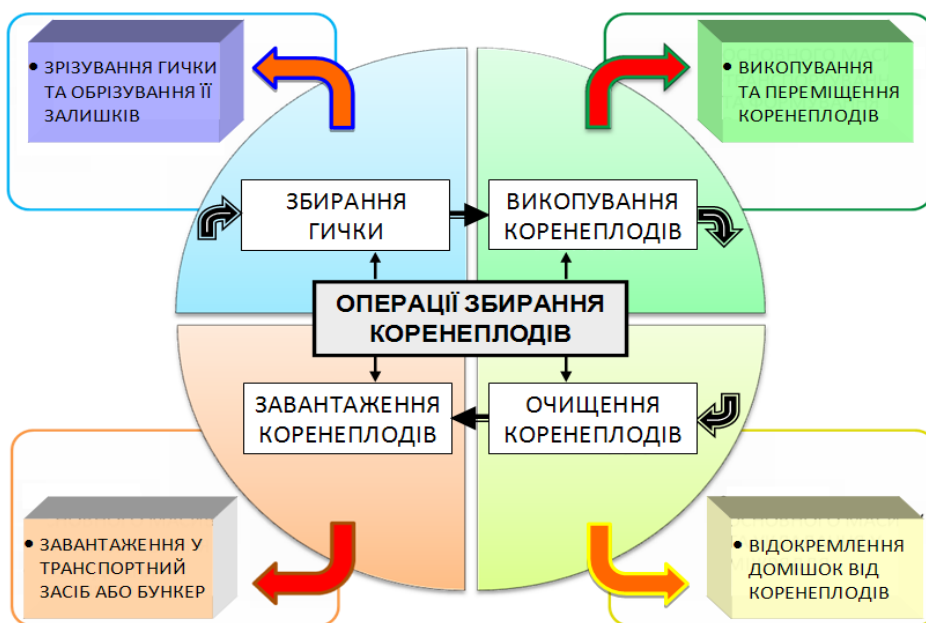


Рисунок 1.4 – Структурна схема операцій збирання коренеплодів





Рисунок 1.5 – Загальний вигляд однофазного способу збирання коренеплодів самохідними бункерними комбайнами

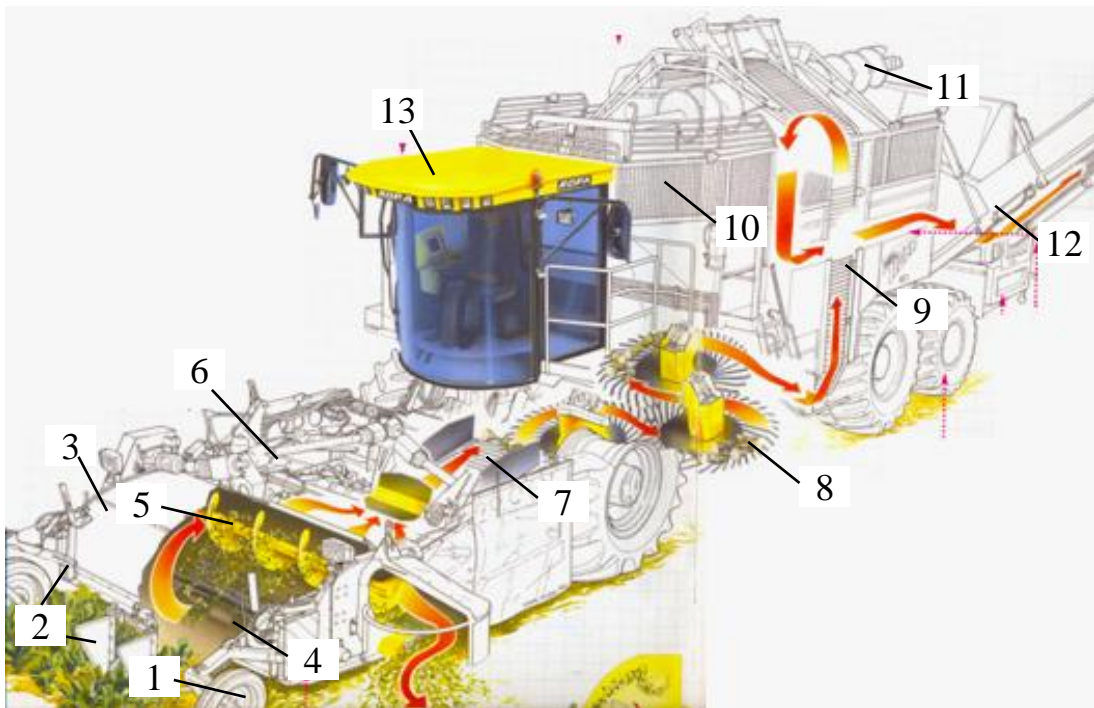


Рисунок 1.6 – Конструктивно-технологічна схема самохідного бункерного комбайна: 1 – опорне копіювальне колесо; 2 – автомат керування; 3 – гичкозбиральний модуль; 4 – роторний гичкоріз; 5 – шнековий конвеєр; 6 – робочі органи модуля викопування коренеплодів; 7, 8 – робочі органи модуля очищення та транспортування викопаного вороху коренеплодів; 9 – транспортний завантажувальний елеватор; 10 – бункер-накопичувач; 11 – шнек для розосередження коренеплодів; 12 – вивантажувальний транспортер; 13 – кабіна з органами керування

Першим етапом однофазного збирання довгоплідних і великорозмірних коренеплодів, який переважно застосовують у теперішній час, є двостадійне збирання гички гичкозбиральним модулем у складі самохідного бункерного комбайна [34]. При цьому механізоване збирання гички коренеплодів передбачає виконання двох послідовних суміжних технологічних операцій або стадій – зрізування основного масиву гички та наступне обрізуванням залишків гички з головок коренеплодів обрізниками [35].

На основі аналізу досліджень технологічних процесів і робочих органів, які реалізують процес зрізування гички коренеплодів і технологічних схем гичкозбиральних модулів і технічних засобів вітчизняного та зарубіжного виробництва [36], можна констатувати, що на сучасному етапі робочі органи гичкозбиральних модулів зрізують основний масив гички, як правило, тільки за принципом «на корені», які реалізують збирання гички коренеплодів без копіювання їх головок коренеплодів [37].

Залежно від призначення (використання) зрізаної гички розрізняють дві основні технології збирання основного масиву гички коренеплодів, рис. 1.7:

- завантаження гички, яка зрізана дисковими робочими органами у транспортні засоби, або на корм для згодовування тваринам, рис. 1.8;
- розкидання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички на поверхню поля в якості сидератів або добрив [34, 38].

У зв'язку з значним подорожчанням енергоресурсів, а в більшості випадків значного хімічного забруднення біологічної структури листків гички гербіцидами та пестицидами, спосіб збирання гички для згодовування тваринам на корм на даному етапі не застосовують.

Розкидання основного масиву зрізаної гички коренеплодів на поверхню поля систематизують за трьома критеріями класифікації [39]:

- укладання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів у валок на поверхню поля з якої викопано коренеплоди;
- розкидання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів на поверхню поля з якої викопано коренеплоди;
- розкидання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів на поверхню поля у міжряддя невикопаних коренеплодів.

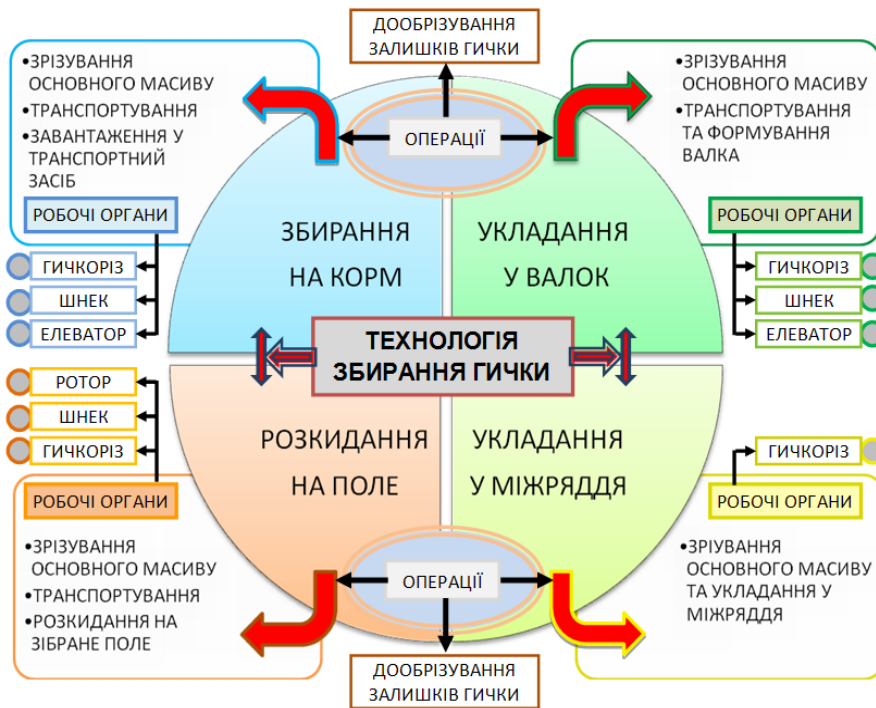


Рисунок 1.7 – Структурна схема технологій збирання гички коренеплодів



Рисунок 1.8 – Завантаження зрізаної гички коренеплодів у транспортний засіб

Перший критерій передбачає виконання таких послідовних операцій збирання основного масиву гички коренеплодів:

- зрізування та подрібнення гички ножами роторного гичкоріза;
- переміщення зрізаної та подрібненої гички по траєкторії направляючого кожуха до шнекового конвеєра;
- переміщення та вивантаження витками шнекового конвеєра зрізаної та подрібненої гички на зібране поле у поздовжній валок відносно руху самохідного коренезбирального комбайна, рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Укладання зрізаної гички коренеплодів у валок на поверхню зібраного поля

Другий критерій передбачає виконання таких послідовних операцій збирання основного масиву гички коренеплодів:

- зрізування та подрібнення гички ножами роторного гичкоріза;
- переміщення зрізаної та подрібненої гички по траєкторії направляючого кожуха до шнекового конвеєра;
- переміщення та вивантаження витками шнекового конвеєра зрізаної та подрібненої гички на ротор гичкометальника;
- розкидання ротором гичкометальника зрізаної гички на поверхню зібраного поля, рис. 1.10.

Третій критерій передбачає виконання таких послідовних операцій збирання основного масиву гички коренеплодів:

- зрізування та подрібнення гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її переміщенням під дією повітряного потоку до вхідного отвору направляючого каналу;
- переміщення зрізаної та подрібненої гички по траєкторії направляючого каналу до фартуха;
- вільне укладання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів на поле у міжряддя незібраних коренеплодів, рис. 1.11.

Узагальнена класифікація реалізації способів збирання гички наведена на рис. 1.12 [40, 41].



Рисунок 1.10 – Розкидання зрізаної гички коренеплодів  
на поверхню зібраного поля

Гичкозбиральні машини призначені для збирання або зрізування гички з головок коренеплодів залежно від способу використання та технології збирання основного масиву гички.

Спосіб збирання гички з копіюванням головок коренеплодів застосовували для збирання основного масиву гички, яка була придатна для згодовування на корм тваринам. Цей спосіб збирання гички на корм переважно був широко поширений у СРСР і країнах Східної Європи. Гичку основного масиву коренеплодів зрізували гичкозрізувальними машинами (додаток А.1.1) на заданому рівні головки коренеплодів, який мав механізм поєднання ножа та копіра різних типів.



Рисунок 1.11 – Розкидання зрізаної гички  
у міжряддя незібраних коренеплодів

За основу побудови класифікаційної схеми гичкозбиральних машин (рис. 1.13) прийнято основні чотири критерії систематизації – спосіб агрегування, функціональне призначення, спосіб збирання та форма гичкоріза [12, 42].

Таким чином, можна констатувати наступне [38]:

- вивантаження зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички на зібране поле у поздовжній валок відносно руху коренезбирального комбайна, або розкиданням гички на поверхню зібраного поля реалізується шляхом зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її подрібненням та подачею подрібненої гички по траєкторії руху

до шнекового конвеєра, який транспортує зрізану та подрібнену гичку та вивантажує її з вихідного торця шнека у валок, або вивантажена гичка переміщується на робочі органи гичкометальника роторного типу, який встановлюється за вихідним торцем шнекового конвеєра та розкидається ними на поверхню зібраного поля, рис. 1.14а;

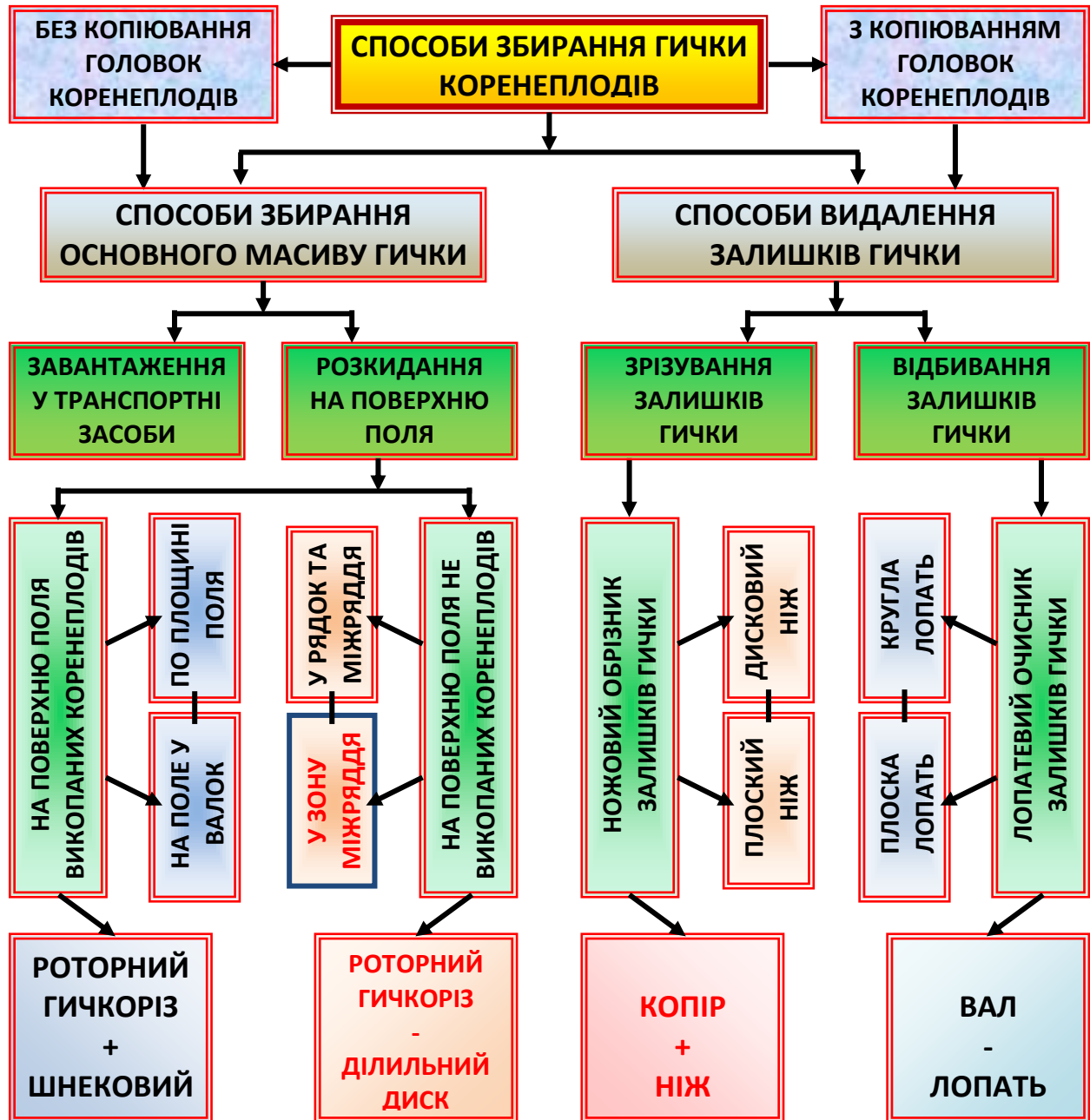


Рисунок 1.12 – Класифікація реалізації способів збирання гички коренеплодів

- розкидання зрізаної гички на поверхню незібраного поля у міжряддя невикопаних коренеплодів реалізується шляхом зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її подрібненням та подачею

подрібненої гички по траєкторії руху на поверхню поля у рядок і міжряддя невикопаних коренеплодів. рис. 1.146.

Механізоване збирання коренеплодів цукрових, кормових буряків і цикорію кореневого, є однією з найбільш трудомістких і енерговитратних операцій в загальному контексті виробництва сільськогосподарських культур і переробки сировини не тільки в Україні, але і в високорозвинених державах світового співтовариства [40, 42].



Рисунок 1.13 – Класифікація гичкозбиральних машин

Економічні відносини, що складаються в агропромисловому комплексі України на сучасному етапі, тісно пов'язані зі зміною в діяльності підприємств і організацій, основною діяльністю яких є матеріально-технічне забезпечення ресурсами та енергозберігаючими технологіями сільських товаровиробників. Головна проблема технічної політики в сільськогосподарському виробництві полягає в тому, щоб забезпечити виконання всіх технологічних операцій із дотриманням вимог агротехніки і одночасно зниженням затрат матеріально-технічних, трудових і енергетичних ресурсів [39, 43, 44].



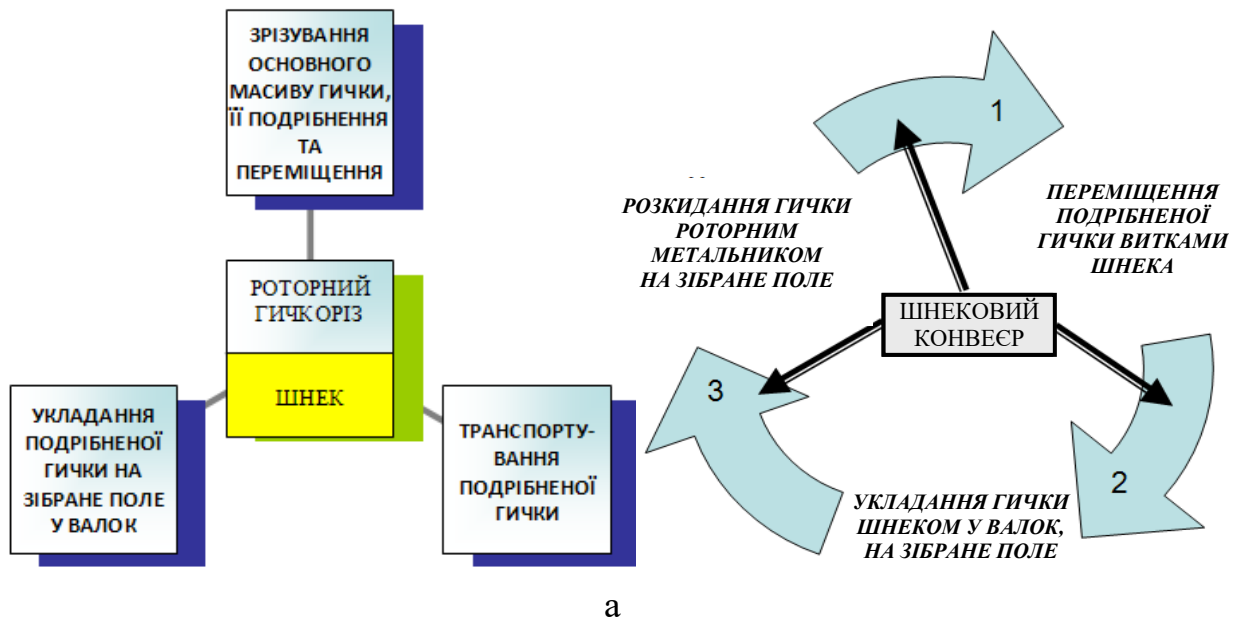


Рисунок 1.14 – Технологічні операції збирання основного масиву гички

Ефективність технологічних процесів збирання коренеплодів, або ефективність зрізування гички, викопування та очищення коренеплодів від домішок залежить не тільки від конструкції та параметрів робочих органів коренезбиральної машини, але й від агробіологічних і фізико-механічних характеристик коренеплодів у період їх збирання.

Вибір конструкції робочих органів і налаштування параметрів і режимів роботи основних робочих технологічних модулів, або модуля для зрізування

гички, викопувальних і очисних модулів самохідних коренезбиральних комбайнів регламентовані розмірними параметрами та формою коренеплодів і фізико-механічним станом навколоплідного ґрунтового середовища.

Агробіологічні характеристики гички коренеплодів, до яких відносять розмірно-масові параметри гички коренеплодів і фізико-механічні властивості гички коренеплодів під час їх збирання, показники яких мають випадковий характер і коливаються в певних межах, значно впливають, або вносять корективи на технологічний процес роботи робочих органів гичкозбиральних модулів [45-53].

Для зрізування гички коренеплодів на корені використовуються два основні типи гичкозрізувальних апаратів, які виконують двостадійний спосіб збирання гички:

- роторні з віссю обертання перпендикулярній осі рядка коренеплодів;
- дискові, що включають різні комбінації копіра та ріжучого ножа: пасивний копір-активний дисковий ніж; активний катковий копір-пасивний ріжучий ніж; пасивний полозковий копір-пасивний ріжучий ніж.

У теперішній час для зрізування основного масиву гички коренеплодів, або реалізації першої стадії збирання гички переважно застосовують перший тип гичкозрізувальних апаратів (у подальшому – роторний гичкоріз), якими збирають до 75...85 % площ посівів великорозмірних і довгоплідних коренеплодів [54-57].

При цьому для обрізування залишків гички з головок коренеплодів застосовують комбінацію обрізника, який виконано за схемою пасивний полозковий копір-пасивний плоский ніж, який виконує другу стадію збирання гички коренеплодів [58, 59].

Одним з шляхів підвищення ефективності технологічного процесу збирання гички коренеплодів, яке являє собою комплексну науково-технічну задачу, є пошук нових конструктивних схем робочих органів і створених на їх базі удосконалених гичкозбиральних модулів, які є складовими системами сучасних самохідних коренезбиральних машин, рис. 1.15 [60].



Рисунок 1.15 – Загальна схема самохідного бункерного комбайна

Розглянемо основні конструктивні особливості прототипів модулів для збирання гички коренеплодів, які реалізують двостадійний спосіб її збирання.

Переважно структурно-компонувальні схеми самохідних бункерних комбайнів і коренезбиральних машин провідних фірм світу однотипні та мають подібну будову, рис. 1.15. На рамне шасі, яке опирається на опорні колеса, спереду керованих коліс машини начіплюють гичкозбиральний модуль для реалізації двостадійного способу збирання гички (рис. 1.16а) та модуль для викопування коренеплодів (рис. 1.16б), у міжбазовому просторі шасі – модуль очищення та транспортування викопаного вороху коренеплодів (рис. 1.16в) та модуль накопичення очищених коренеплодів від домішок, який, як правило, виконаний у вигляді бункера-накопичувача коренеплодів і вивантажувального транспортера, а позаду бункера-накопичувача – силовий модуль, або двигун. Кабіну з органами керування машиною та робочими органами встановлюють над передніми керованими колесами машини.

Двостадійний модуль збирання гички (рис. 1.16а) призначений для збирання основного масиву гички методом безкопірного зрізування гички з наступним її вивантаженням на зібране суміжне міжряддя, або рівномірного розкидання на зібране поле та обрізування головок коренеплодів від залишків гички.

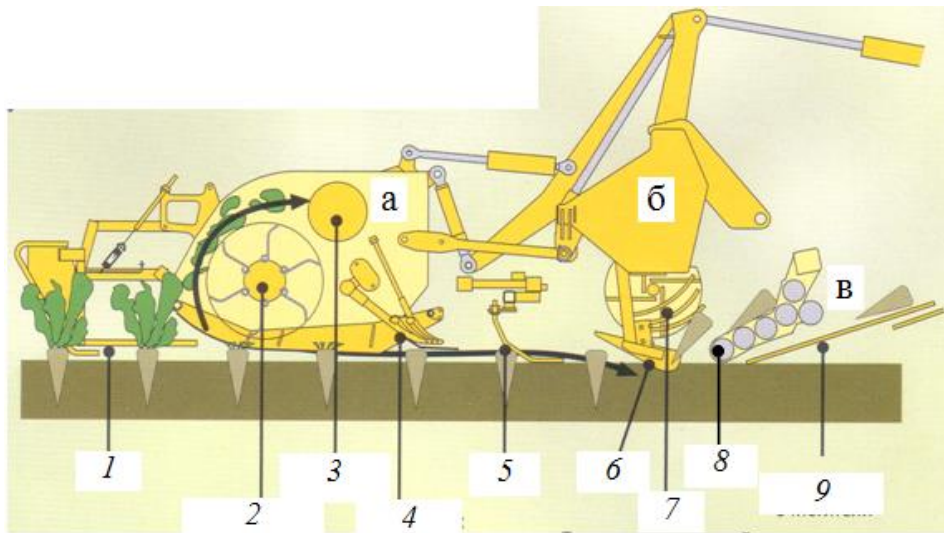


Рисунок 1.16 – Конструктивна схема модуля збирання гички (а), модуля викопування коренеплодів (б) і модуля очищення та транспортування викопаного вороху коренеплодів (в): 1 – сенсор управління машини по рядках; 2 – роторний гичкоріз; 3 – шнековий конвеєр; 4 – обрізник залишків гички; 5 – сенсор управління копачів; 6 – лемішні вібраційні копачі; 7 – бітер-виштовхувач; 8, 9 – шнековий і роторний очисник вороху

Він складається з встановлених на рамному шасі сенсора 1 (рис. 1.16) управління руху гичкозбирального модуля по рядках коренеплодів, роторного гичкоріза 2, шнекового конвеєра 3, обрізника залишків гички 4.

Роторний гичкоріз виконано у вигляді барабана 1 (рис. 1.17) на якому шарнірно закріплено молоткові плоскі ножі 2, а обрізник залишків гички з головок коренеплодів виконано у вигляді пасивного полозкового копіра (рис. 1.18) та встановленого за ним пасивного ріжучого плоского ножа 2.

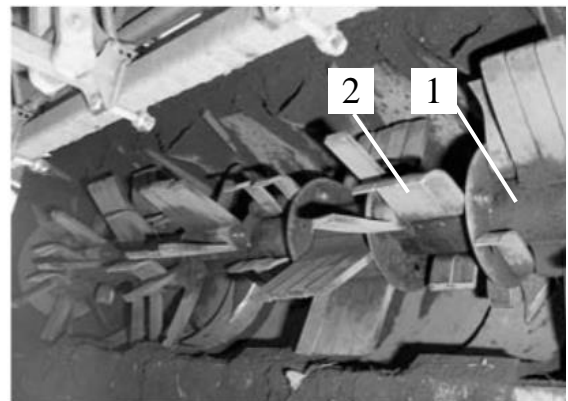
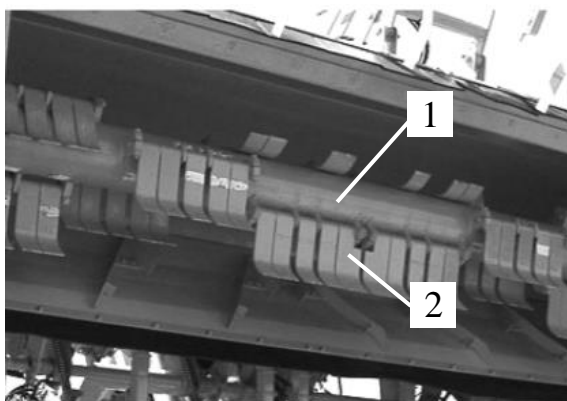


Рисунок 1.17 – Загальний вигляд роторного гичкоріза: 1 – барабан; 2 – ніж

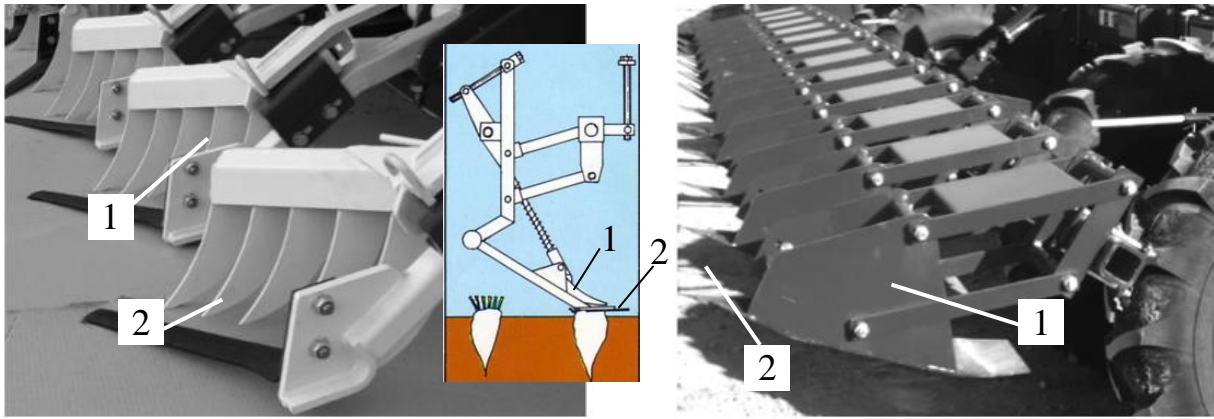


Рисунок 1.18 – Загальний вигляд обрізника гички: 1 – копір; 2 – ніж

Роторний гичкоріз зрізує і подрібнює основну масу гички та бур'янів за допомогою шарнірно підвішених сталевих ножів лопатевого типу (рис. 17). Такий спосіб кріплення ножа запобігає його поломці при зіткненні з камінням та іншими сторонніми предметами. Висоту зрізу встановлюють на рівні високостоячих коренеплодів. Збільшення частоти обертання ротора гичкоріза призводить до зростання підсосу повітря, що сприяє піднесенню сухих і низьковисячих листків гички коренеплодів та їх подрібнення. У більшості бурякозбиральних машин зрізана гичка відкидається ножами, які закріплено на роторі гичкоріза в сторону різання. При цьому зрізана гичка подрібнюється та одночасно переміщується по лінії направляючого контура, який утворює кожух в поперечний транспортер (зазвичай шнековий конвеєр). Далі за допомогою витків шнека подрібнена гичка транспортується з машини та може укладатися на поверхню зібраного поля у валок, або розкидатися по поверхні поля.

Гичкозбиральний модуль коренезбиральної машини KR-6-II (рис. 1.19а) та гичкозбиральної машини К-6-II (рис. 1.19б, в) за своєю будовою практично аналогічний гичкозбиральному модулю, який наведено на рис. 1.16а. Незначна відмінність полягає в тому, що в технологічну схему збирання гички модулями коренезбиральної машини KR-6-II та гичкозбиральної машини К-6-II введено лопатевий доочишник 4 (рис. 1.19б), плоскі прогумовані лопаті якого під час свого обертання методом ударного відбивання доочищують залишків гички з головок коренеплодів, а обрізник 5 виконує прикінцеве обрізування головки на заданому рівні. Цей спосіб застосовують для цукрових буряків.

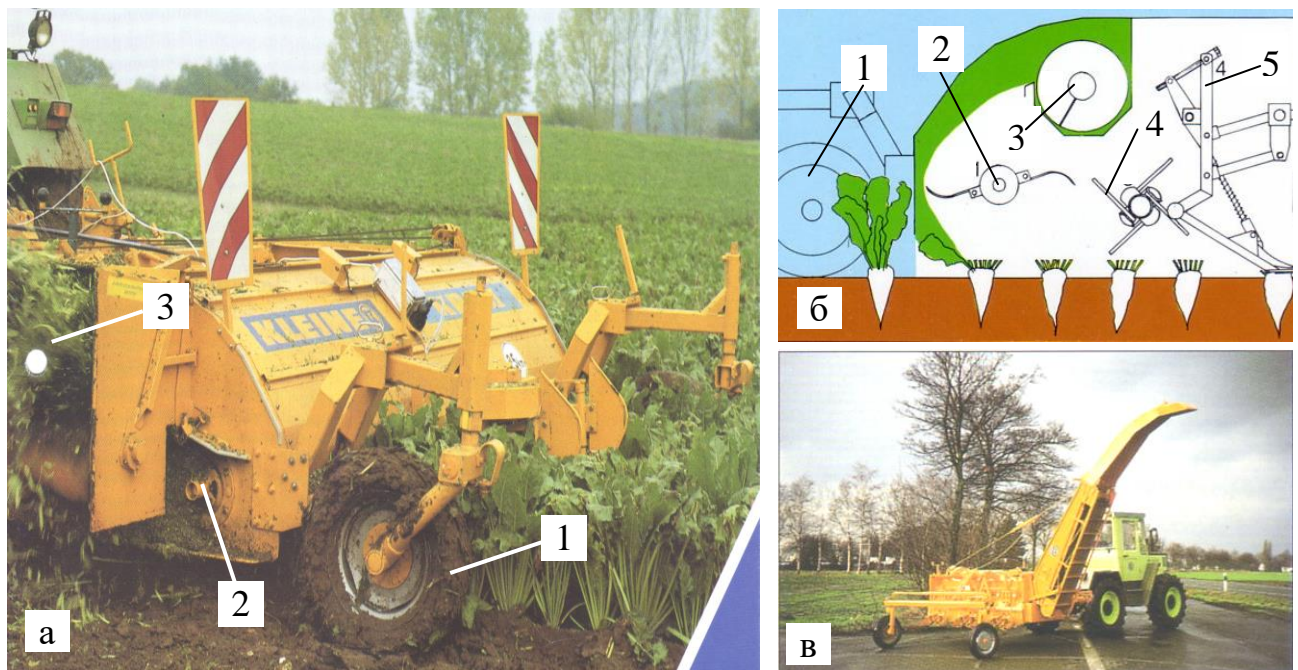


Рис. 1.19 – Загальний вигляд гичкозбирального модуля:

- а – коренезбиральної машини KR-6-II; в – гичкозбиральної машини К-6-II;  
 б – схема гичкозбирального модуля К-6-II: 1 – опорне регулювальне колесо; 2 – роторний гичкоріз; 3 – шнековий конвеєр; 4 – лопатевий доочисник головок коренеплодів; 5 – обрізник головок коренеплодів

Незважаючи на наявні недоліки, роторні гичкорізи в складі багаторядних самохідних коренезбиральних машин є ефективними робочими органами на першій фазі видалення основного масиву гички. Перевагами роторного ріжучого апарату є простота конструкції, висока надійність в роботі, багатофункціональність і універсальність. Одним ротором забезпечується зрізування гички на всій ширині захоплення машини.

## 1.2. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів

Теоретичні та експериментальні результати наукових досліджень технологічних процесів збирання гички коренеплодів з визначення основних параметрів робочих органів гичкозбиральних модулів наведено в працях вчених Аванесова Ю.Б., Барановського В.М., Березового М.Г., Булгакова В.М.,

Василенка П.М., Василенка А.А., Гевка Р.Б., Головача І.В., Зуєва М.М., Козаченка О.В., Кобца О.М., Мартиненка В.А., Мартинова В.М., Мишина М.А., Погорілого Л.В., Татьяна М.В., Топоровського С.А., Хелемендика М.М., Цимбала О.Г. та інших вітчизняних і зарубіжних дослідників [19, 25, 32, 42, 45 – 47, 49, 51, 59, 61 – 106].

За результатами наукових досліджень описано основні загальні процеси взаємодії робочих органів роторних гичкорізів з головкою коренеплодів, обґрунтування параметрів і режимів їх роботи, викладено методики проведення експериментальних досліджень і оцінки технологічних параметрів.

У працях Зуєва М.М. і Топоровського [72, 73, 87] наведено аналіз досліджень, які відносилися до вирішення технічної задачі пошуку способів зрізування гички та методів його зрізування.

При цьому досліджували вплив висоти безкопірного зрізування ріжучими пристроями на показники якості обрізування головок коренеплодів цукрових буряків, моделюючи при цьому форму головки коренеплоду та формалізуючи розподіл висоти розташування головок над рівнем поверхні ґрунту нормальним законом розподілу.

За результатами проведених експериментів безкопірного зрізування гички коренеплодів було встановлено відсоткові втрати цукроносної маси та кількість залишків гички на головці коренеплоду за встановлення ріжучого ножа на висоті 10...50 мм відносно рівня поверхні ґрунту.

Борис М.М. у праці [97] доповнив дослідження, за результатами яких було розроблено математичну модель процесу безкопірного зрізування гички коренеплодів, за допомогою якої є можливість розрахувати прогнозовані відходи цукроносної маси (цукрові буряки), або втрати коренеплодів (кормові буряки) та залишки гички на головках коренеплодів з розрахунку одиниці зібраної площі:

- відходи цукроносної маси, або втрати коренеплодів

$$BM(h, h_3) = \sum_{i=h_3}^n NF\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}\right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f(h)\right); \quad (1.1)$$

- залишки гички на головках коренеплодів

$$GM(h, h_3) = \sum_{i=h_2}^n NF_c \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f(h) \right), \quad (1.2)$$

де  $n$  – кількість інтервалів класів зони зрізування гички з головки коренеплоду;

$N$  – кількість коренеплодів на одиниці площі;  $F = f(h, h_3)$  – функція визначення відходів цукроносної маси, або втрат коренеплодів залежно від певного інтервалу висоти розташування головок коренеплодів;  $F_c = f(h, h_3)$  – функція визначення залишки гички залежно від певного інтервалу висоти розташування головок коренеплодів;  $h_i$  і  $h_{i+1}$  – межі зміни інтервалу;  $c_j$  – члени відповідного ряду,  $c_j = 1, 4, 2, 4, 2, \dots, 2, 4, 1$ ;  $f(h)$  – функція щільності закону розподілу висоти розташування головок коренеплодів.

За результатами досліджень було побудовано залежності відходів цукроносної маси та залишків гички залежно від висоти розташування пучка гички відносно поверхні рівня ґрунту, рис. 1.20.

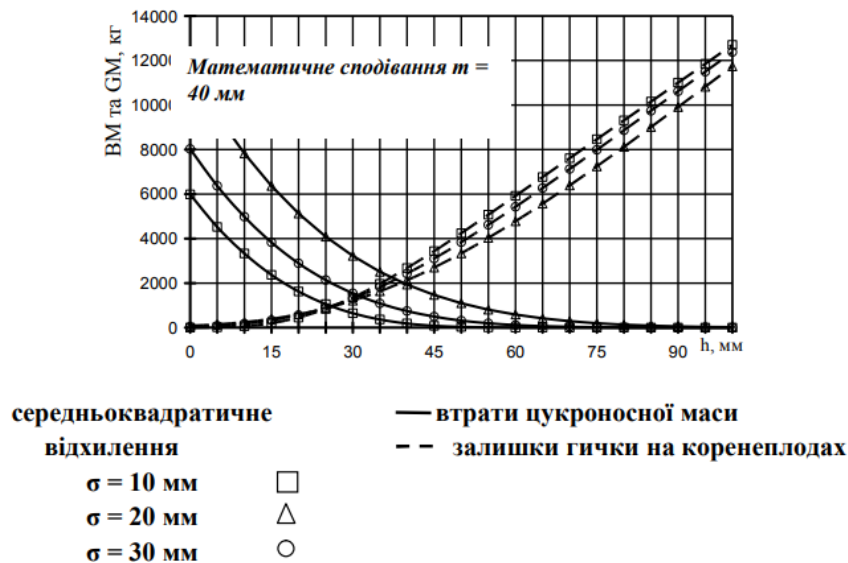


Рисунок 1.20 – Залежності втрат цукроносної маси та залишків гички на головках коренеплодів при безкопірному зрізі гички коренеплодів

Також ним було обґрунтовано, що раціональними параметрами роботи експериментальної гичкозбиральної машини для безкопірного зрізування гички коренеплодів є робоча швидкість машини до 2 м/с та частоти обертання роторного гичкоріза у межах від 700 до 800 об/хв.



Погорілий Л.В. та Татянянко М.В. [19, 49, 85] проаналізував процеси динаміки та кінематики обрізування одного ізольованого коренеплоду шляхом поділу всього циклу на окремі технологічні етапи. При цьому ними розроблено динамічну модель процесу зрізування гички, яка характеризує умову обмеження робочої швидкості руху машини для збирання гички

$$V_M \leq \sqrt{\frac{Q_{Hi} \cos \psi_n}{2M_n \delta} [L - d_k + (\delta/i) \operatorname{tg} \psi]}, \quad (1.3)$$

де  $Q_{Hi}$  – сума приведених статичних сил до ріжучого робочого органу;  $\psi_n$  – вертикальний кут нахилу осі обертання ножа;  $M_n$  – маса рухомих частин ріжучого пристрою, які приведені до ножа;  $\delta$  – різниця висоти розміщення суміжних коренеплодів над рівнем ґрунту;  $L$  – відстань між суміжними коренеплодами у рядку;  $d_k$  – діаметр коренеплоду;  $i$  – вертикальна похибка відносного переміщення ріжучого ножа.

За результатами дослідження побудовано графічні залежності якості обрізування гички від швидкості руху гичкозбиральної машини, рис. 1.21.

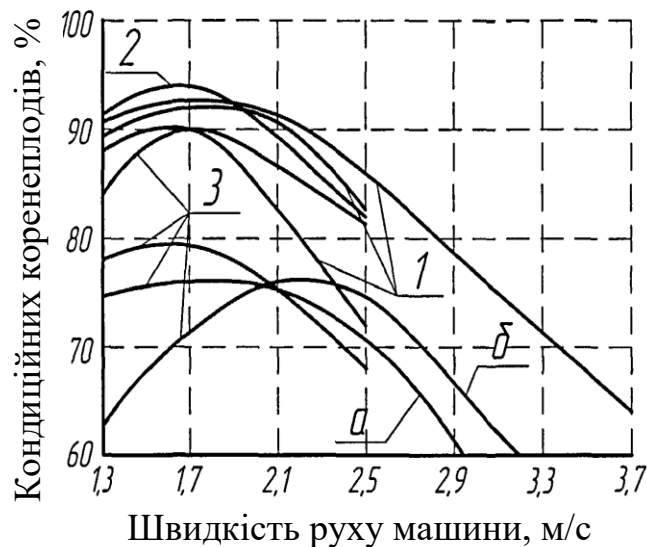


Рисунок 1.21 – Залежність якості обрізування залишків гички від швидкості руху гичкозрізувальної машини

Чорновол М.І. і Свирень Н.О. [65] за результатами теоретичного аналізу безкопінного зрізування гички коренеплодів побудували номограму для визначення параметрів ротора гичкоріза, рис. 1.22.

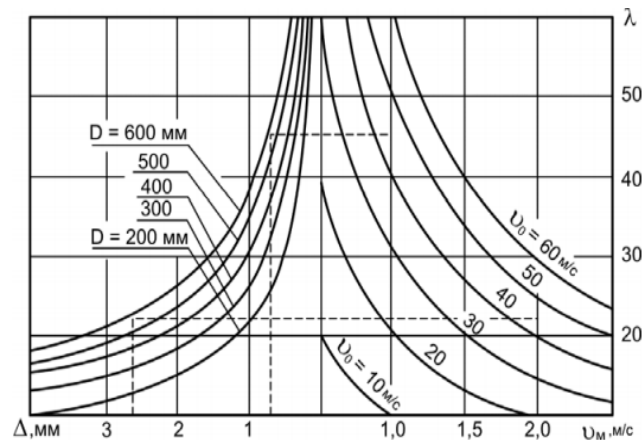


Рисунок 1.22 – Номограма для визначення параметрів роторного гичкоріза

Ними акцентовано, що в прямокутній системі координат:

- нижні торці леза ножів роторного гичкоріза в абсолютному русі переміщуються по видовженим циклоїдам, які мають такі параметри

$$x = r(\omega t - \lambda \sin \omega t); \quad y = r(1 - \cos \omega t) \quad (1.4)$$

- рівняння руху торця ножа, або кромки його леза в параметричній формі мають вигляд

$$x = \mathcal{G}_M t + R \sin \omega t; \quad y = R \cos \omega t, \quad (1.5)$$

де  $r$  – радіус барабана ротора, м;  $\omega$  – кутова швидкість ротора, рад/с;  $\lambda = R/r$  – коефіцієнт відношення радіуса кінця леза ножа до радіуса барабана м;  $\mathcal{G}_M$  – швидкість руху гичкозбиральної машини, м/с;  $R$  – описаний радіус обертання торця ножа, м.

На основі теоретичного аналізу було встановлено, що практичний радіус  $R$  роторного гичкоріза знаходиться в межах  $0,3 \dots 0,35$  м.

Мартинов В.М. досліджував вплив висоти зрізування гички на показники якості збирання гички. У праці [83] наведено узагальнюючий висновок, що:

- зміна висоти встановлення вала роторного гичкоріза над ґрунтом забезпечує різний середній розмір  $\Delta l$  черешків гички, який визначається за формулою

$$\Delta l = \int_0^a (a_c - h_k) f(h_k) dh_k; \quad (1.6)$$

- за результатами статистичної обробки даних для різних сортів кормових буряків було встановлено нормальний закон розподілення  $f(h_k)$ , який записано у вигляді

$$f(h_k) = 0,887 \exp\left[-2,469\left(h_k / \bar{h} - 1_k\right)^2\right] / \bar{h}_k, \quad (1.7)$$

де  $a_c$  – висота зрізування гички відносно поверхні ґрунту;  $f(h_k)$  – закон розподілення розміщення висоти  $h_k$  над ґрунтом;  $h_k$  і  $\bar{h}_k$  – середня висота розміщення головок коренеплідів над ґрунтом;

- маса зрізаної частини головки коренеплідів визначається за формулою

$$m_c = \pi \rho_k k_\varphi (h_k - a_c)^2 \left[ 6D - 4,8\sqrt{k_\varphi D (h_k - a_c)} + k_\varphi (h_k - a_c) \right] / 12, \quad (1.8)$$

де  $k_\varphi = D / l_m$ ,  $D$  – максимальний діаметр коренеплоду,  $l_m$  – довжина коренеплоду;  $\rho_k$  – питома маса коренеплоду.

За результатами теоретичних досліджень побудовано залежність відходів маси головок коренеплідів у зрізану гичку залежно від висота  $a_c$  зрізування гички відносно поверхні ґрунту, рис. 1.23

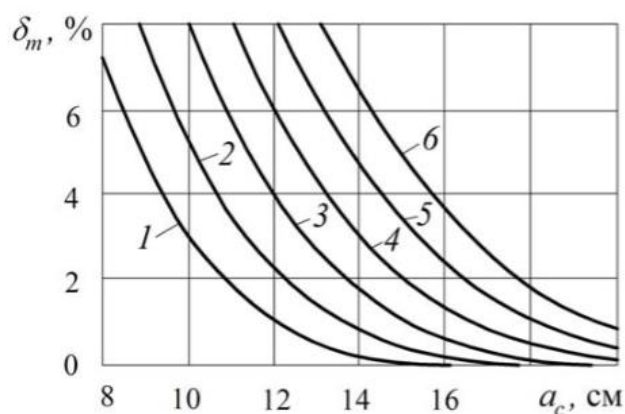


Рисунок 1.23 – Залежність відходів маси головок у зрізану гичку від висоти зрізування головок коренеплідів кормових буряків сорту «Победитель»: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – за середньої висоти розміщення головки над поверхнею ґрунту, відповідно, 8, 9, 10, 11, 12, 13 см

Також ним [84] на основі проведеного аналізу процесу взаємодії ножа роторного гичкоріза з пучком гички ним було встановлено, що:

- виходячи з передумов відсутності реакції в шарнірі при ударі ножа по інерідному предметі та наявності неповторних ударів ножа об той же предмет і швидкого загасання коливань ножа встановлено, що оптимальними є співвідношення:

$$R_o = (0,373...0,425) R_n ; R_n = (1,595...1,739) (R_n - R_o), \quad (1.9)$$

де  $R_o$  – радіус розташування осі шарніра ножа, м;

$R_n$  – радіус кола, описаного ножем, м.

- визначені алгебраїчні співвідношення між основними конструктивними параметрами ножа, а також маса  $m_n$  і момент інерції ножа  $I_A$ , що забезпечують якісне безпідірне зрізування гички і головок коренеплодів

$$I_A = m_n a_c (R_n - R_o). \quad (1.10)$$

Проте наведені результати відомих теоретично-експериментальних досліджень не в повному обсязі враховують особливості критеріальної оцінки кожного з етапів виконання технологічного процесу зрізування основного масиву гички запропонованими удосконаленими робочими органами гичкозбирального модуля та наступним послідовним переміщення подрібненої гички в направляючому каналі.

При цьому, технологічний процес роботи удосконаленого гичкозбирального модуля має свої специфічні властивості та технологічні відмінності, які повинні забезпечити гарантоване транспортування зрізаної та подрібненої гички до місця її призначення, або вивантаження та її укладання на поверхню поля у зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів.

Тому виникає потреба в розроблені та дослідженні нових математичних моделей, аналіз яких забезпечать виконання поставленої задачі на основі уточненого дослідження технологічного процесу взаємодії робочих органів гичкозбирального модуля з гичкою та її гарантованого переміщення до фартуха та укладання на поверхню поля.

### 1.3. Обґрунтування вибору конструктивної схеми гичкозбирального модуля для проведення досліджень

У країнах Європейського Союзу, РФ, США, де великорозмірні та довгоплідні коренеплоди вирощують на значних площах, застосовують переважно однофазний спосіб збирання, і в меншій мірі – роздільний із застосуванням валкової технології [36].

Однофазний спосіб збирання реалізують сучасні шестирядні самохідні бункерні комбайни (рис. 1.24, рис. 1.25), які за один прохід виконують усі технологічні операції від збирання гички робочими органами гичкозбирального модуля до завантаження коренеплодів у бункер.



Рисунок 1.24 – Загальний вигляд шестирядного бункерного самохідного коренезбирального комбайна

Основними модулями сучасного самохідного бункерного комбайна для збирання великорозмірних і довгоплідних коренеплодів є модуль для збирання гички, модуль для викопування коренеплодів, модуль транспортування та очищення коренеплодів від домішок, завантажувальний бункер, кабіна з органами керування робочим процесом і силова установка.

Гичкозбиральний модуль, який виконує двостадійний спосіб збирання гички, як правило має автомат керування по рядках, опорне регульовальне колесо 1 (рис. 1.25), роторний гичкоріз 2, шнековий конвеєр 3, обрізник залишків гички типу пасивний пластинчастий копір-пасивний ніж.

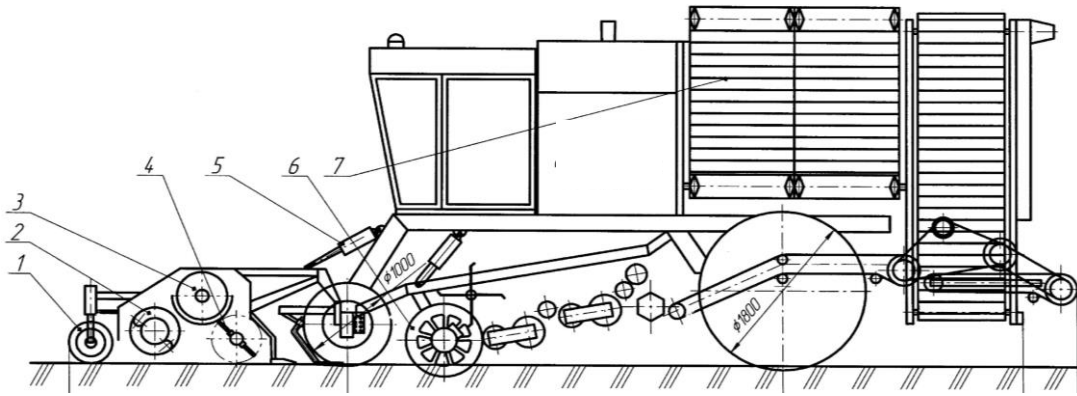


Рисунок 1.25 – Узагальнена конструктивна схема самохідного бункерного коренезбирального комбайна: 1 – регулювальне колесо гичкозбирального модуля; 2 – роторний гичкоріз; 3 – шнековий конвеєр; 4 – очисник залишків гички; 5 – механізм підйому гичкозбирального модуля; 6 – модуль для викопування коренеплодів; 7 – бункер

Велика різноманітність конструктивних та компоувальних схем гичкозбиральних модулів тісно пов'язана, як з існуючими способами збирання гички, так і з агротехнічними вимогами до показників якості їх роботи [9, 10].

За час розробки та практичного застосування перших механізованих пристроїв для викопування коренеплодів (Франція, 1890 р. та Бельгія, 1907 р.) інженерами та науковцями розроблено багато різновидностей робочих органів складових модулів машин, які призначені для збирання коренеплодів.

За різноманітності технологій збирання гички найбільш поширеним способом, який застосовується в теперішній час є двостадійний спосіб збирання гички робочими органами гичкозбирального модуля. Збирання гички з головок коренеплодів реалізується шляхом різання пучка гички лезом ножа, яке застосовують, як для збирання основного масиву гички за принципом безкопірного зрізування, так і для обрізування залишків гички з головок коренеплодів за принципом безпідпірного різання [107].

Це зумовлено, в першу чергу, фізико-механічними властивостями коренеплодів та технологією збирання гички – збирання гички в транспортний засіб шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.26а), переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром і завантаження її через

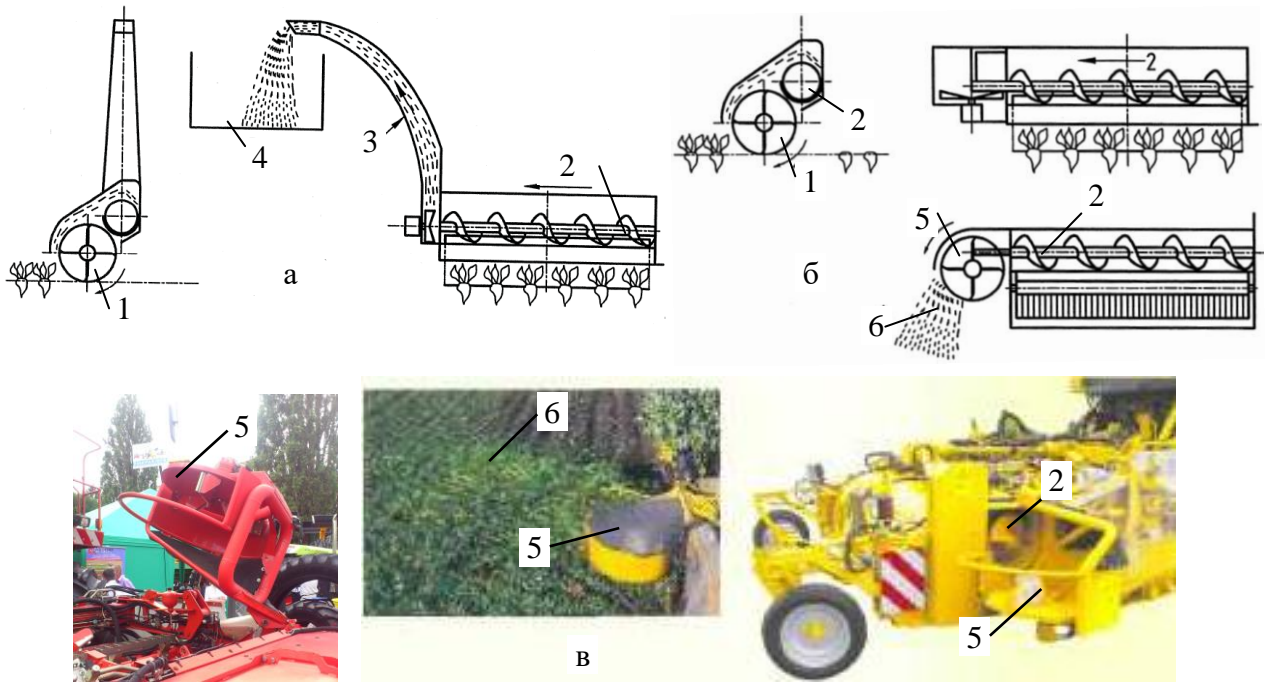


Рисунок 1.26 – Схеми та загальний вигляд використання зібраної гички:  
 а – збирання гички в причіп транспортного засобу; б, в – розкидання гички  
 на зібране поле; 1 – роторний гичкоріз; 2 – шнековий конвеєр;  
 3 – дефлектор; 4 – причіп транспортного засобу; 5 – горизонтальний  
 роторний розкидач гички; 6 – подрібнена гичка

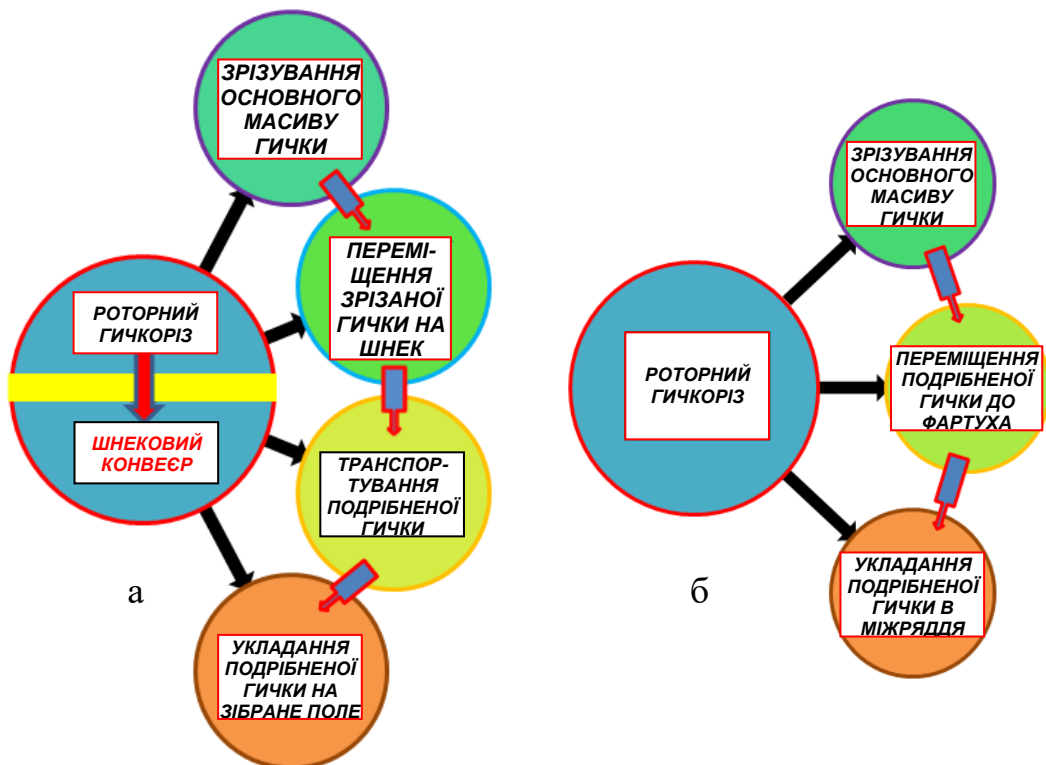


Рисунок 1.27 – Схеми технології збирання гички коренеплодів:  
 а – існуючий спосіб; б – удосконалений спосіб

дефлектор 3 у причіп 4 транспортного засобу, або у якості органічних добрив шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.26б, в) і переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром 2 до роторного розкидача 5 та розкидання подрібненої гички 6 горизонтальним ротором 5 на зібране поле [107].

Розкидання гички на поверхню поля систематизують за двома критеріями класифікації – розкидання подрібненої гички на поверхню поля з якої викопано коренеплоди та розкидання гички на поверхню поля невикопаних коренеплодів.

Перший критерій передбачає вивантаження зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички коренеплодів на зібране поле у поздовжній валок відносно руху коренезбирального комбайна, або розкиданням гички на поверхню зібраного поля, рис. 1.27а. Другий критерій передбачає розкидання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички на поверхню поля у рядок та міжряддя невикопаних коренеплодів, рис. 1.27б [34, 108 – 110].

Розкидання зрізаної гички на поверхню незібраного поля у рядок та міжряддя невикопаних коренеплодів реалізується шляхом зрізування основного масиву гички ножами 1 (рис. 1.28) роторного гичкоріза 2 з одночасним її подрібненням та переміщенням подрібненої гички по траєкторії руху на поверхню поля у рядок і міжряддя не викопаних коренеплодів [107].

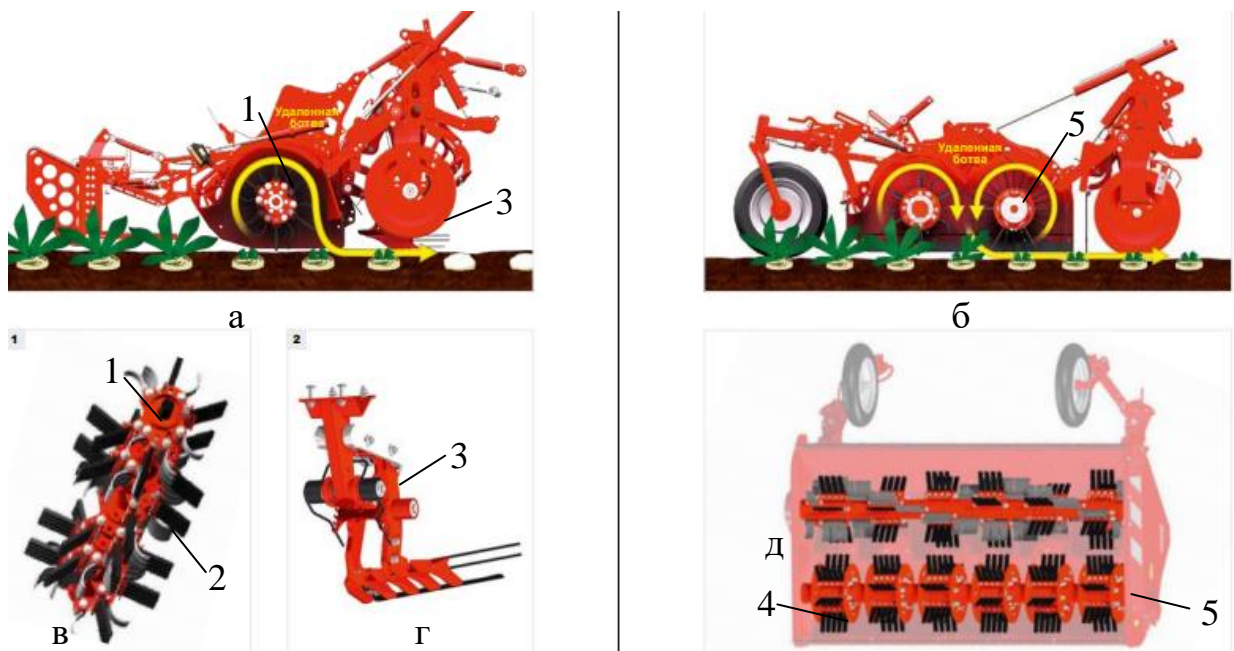


Рисунок 1.28 – Схеми робочих органів гичкозбирального модуля: 1 – ніж; 2 – роторний гичкоріз; 3 – обрізник головок коренеплодів; 4 – очисні елементи; 5 – приводний вал



Спосіб, за якого зрізану та подрібнену гичку розкидають на поверхню поля незібраних коренеплодів є значно менш енергомістким, порівняно з способом вивантаження гички у валок, або її розкиданням на поверхню зібраного поля.

Проте основними недоліками двох способів збирання основного масиву гички коренеплодів розкидання зрізаної гички в межі рядка захисної зони коренеплодів – у першому випадку це втрати гички під час її зрізування ножами роторного гичкоріза, а в другому – втрати та технологічне переміщення гички у рядки невикопаних коренеплодів; значні затрати енергії, які необхідні для виконання технологічного процесу збирання основного масиву гички в першому випадку.

Наявність гички на поверхні поля незібраних коренеплодів значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини у контексті дотримання агротехнічних вимог до показників якості викопування та очищення викопаних коренеплодів від домішок [107 – 109].

Вибір перспективних компоувальних схем і розробка нових конструкцій робочих органів і технічних засобів для збирання гички, в загальному, повинні базуватися на світовому досвіді зменшення енергетичних ресурсів, враховуючи при цьому особливості вітчизняних агротехнічних, техніко-економічних, екологічних та інших виробничих вимог.

Розробка та впровадження у аграрне виробництво енергозберігаючих технологічних процесів збирання основного масиву гички коренеплодів можливе на основі наукового підходу до вирішення актуальних задач подальшого конструктивного удосконалення робочих органів гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин.

На основі проведеного аналізу відомих способів і конструкцій машин для збирання гички можна зробити узагальнений висновок, що на сучасному етапі застосовують спосіб збирання основного масиву гички довгоплідних і великорозмірних коренеплодів, який реалізується робочими органами гичкозбирального модуля, узагальнену компоувальну конструкцію якого можна подати у вигляді схеми, наведеної на рис. 1.29 [111 – 116].



Це забезпечує значне зменшення енергетичних затрат процесу збирання основного масиву гички за рахунок усунення операції вивантаження зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички у валок, або її розкидання на зібране поле. Реалізація такого енергоощадного способу збирання основного масиву гички коренеплодів можлива шляхом переміщення та укладання зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів [34, 38].

Цей спосіб, який дозволить знизити енергоємність та значно підвищити технологічні можливості процесу збирання коренеплодів цикорію, реалізується шляхом застосування удосконаленого гичкозбирального модуля (рис. 1.30), який складається з основної рами 1, яка опирається на колесо 2 та на якій встановлено роторний гичкоріз 3 з шарнірними Г-подібними ножами 9, дугоподібного кожуха 4, що огинає траєкторію руху ножів.

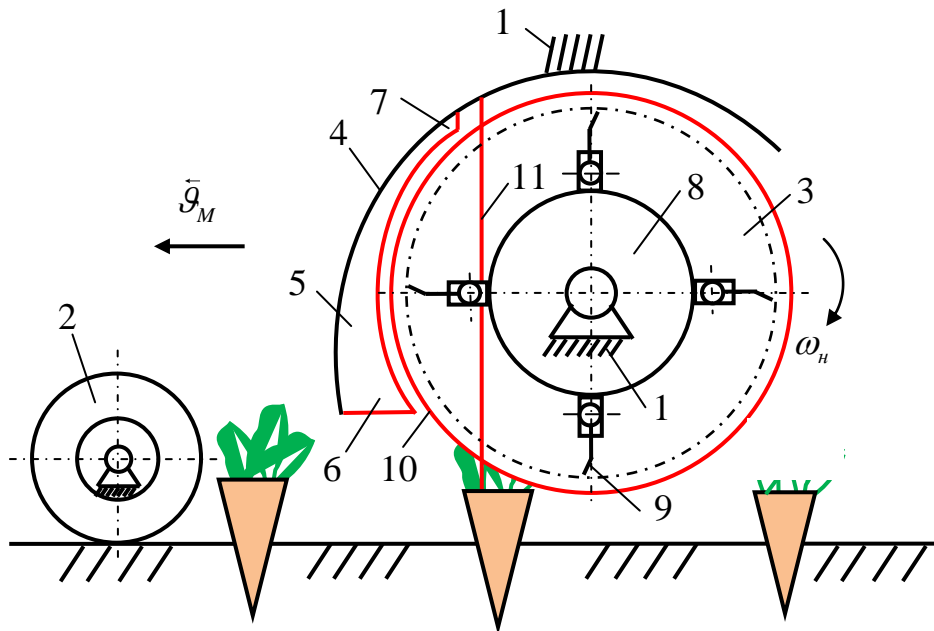


Рисунок 1.30 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля: 1 – рама; 2 – колесо опорне; 3 – роторний гичкоріз; 4 – кожух; 5 – направляючий канал транспортування гички; 6, 7 – вхідна та вихідна горловина; 8 – барабан; 9 – Г-подібний ніж; 10 – ділильний диск; 11 – фартух

Дугоподібний кожух, який огинає верхню частину роторного гичкоріза, виконано у вигляді направляючого каналу 5 для транспортування зрізаної та подрібненої гички. Направляючий канал має вхідну 6 та вихідну 7 горловини, причому за вихідною горловиною 7 направляючого каналу встановлено фартух 11 прямокутної форми [108, 117].

Між Г-подібними ножами на барабані 8 роторного гичкоріза встановлено обмежувальні ділильні диски 10, які розміщено у міжрядді невикопаних коренеплодів. Вихідна частина кожного направляючого каналу і фартуха розташована між суміжними ділильними дисками [117], додаток А.2.3. Роторний гичкоріз обертається назустріч напрямку руху гичкозбирального модуля. Зрізана Г-подібними ножами 9 гичка за рахунок створеного ножами повітряного потоку надходить до вхідної горловини 6 направляючого каналу 5 та переміщується по його поверхні до вихідної горловини 7, де відбувається вивантаження зрізаної та подрібненої гички ножами роторного гичкоріза у міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування двох суміжних ділильних дисків 10, шляхом вільного переміщення гички по фартуху 11 на поверхню міжряддя невикопаних коренеплодів.

Крім того, за результатами проведеного 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 домінуючим способом зрізування залишків гички з головок коренеплодів є їх обрізування обрізником, який виконано за принципом «пасивний копір-пасивний ніж» (рис. 1.31, рис. 1.32, додаток А.3.3).

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 «коління» матеріалу гички, що призводить до відносно незадовільної якості обрізування головок коренеплодів, їх значних сколів і косих зрізів головок і, як наслідок, значного пошкодження та вивалювання коренеплодів з ґрунту, або значних втрат.

На основі проведеного аналізу показників якості роботи та технологічних показників збирання гички існуючими гичкозбиральними модулями, нами запропоновано удосконалений гичкозбиральний модуль, конструктивна схема якої наведена на рис. 1.31, додаток А.4.3.

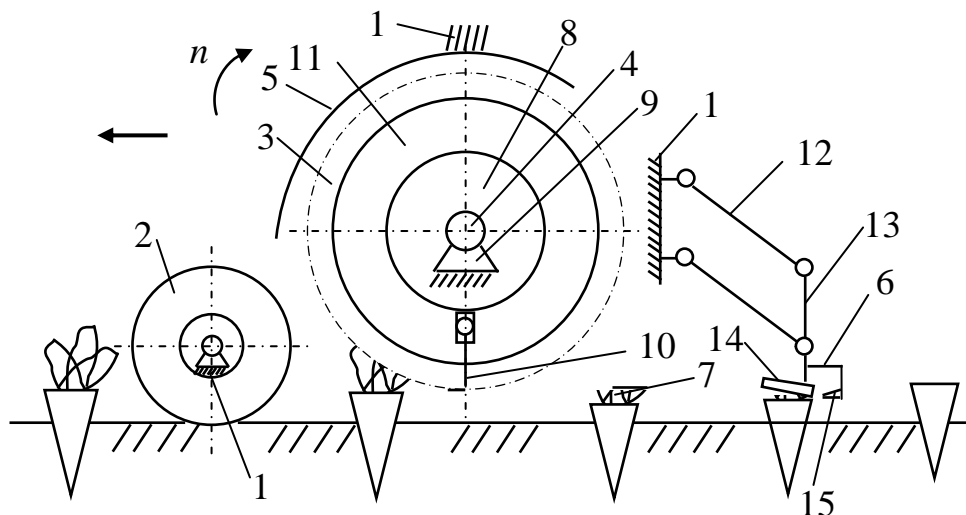


Рисунок 1.31 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля

На рис. 1.32 наведено схему обрізника головок коренеплодів від залишків гички [39, 78-82].

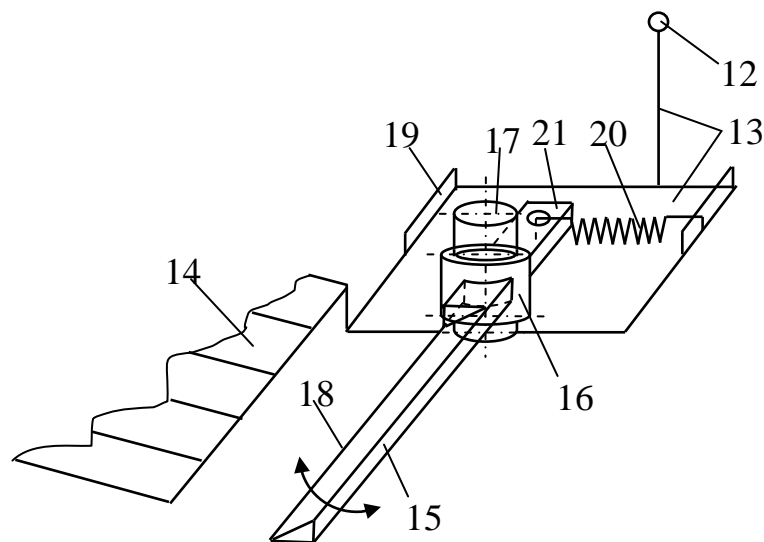


Рисунок 1.32 – Схема обрізника залишків гички

Гичкозбиральний модуль складається з рами 1, на якій послідовно встановлено опорні колеса 2, вал 3 з горизонтальною віссю обертання 4, кожух 5, обрізники 6 залишків гички 7. Вал виконано у вигляді барабана 8 та розташовано в опорах 9, які встановлено на рамі машини. На барабані вала по гвинтовій лінії встановлено гичкозрізувальні ножі 10, які виконані Г-подібної форми. Гичкозрізувальні ножі, встановлено на барабані вала шарнірно, а їх радіальний поворот в шарніри обмежено упором. Між гичкозрізувальними ножами на валу розташовано ділильні диски 11. Верхня частина ножів і ділильних дисків закрита кожухом 5.

Позаду вала на рамі змонтовано обрізників залишків гички, кожен з яких виконано у вигляді паралелограмної шарнірної підвіски 12, на стояку 13 якої встановлено пасивний гребінчастий копір 14. За гребінчастим копіром встановлено ніж 15. Кожен ніж виконано у вигляді двоплечевого важеля 16 (рис. 1.32), який встановлено шарнірно на своєму вертикальному пальці 17, який жорстко закріплено на стояку. При цьому кожен ніж, а відповідно, і лезо 18 ріжучої кромки ножа, жорстко зв'язане з гребінчастим копіром, завдяки стояку. Лезо ріжучої кромки гичкозрізувального ножа Г-подібної форми утворює з горизонтальною віссю обертання вала гострий кут. Робочий хід леза ріжучої кромки ножа в горизонтальній площині обмежено упором 19, закріпленим на стояку і регулювальною пружиною 20, один кінець якої закріплено на плечі 21 двоплечевого важеля, а другий – на стояку.

Удосконалений гичкозбиральний модуль працює наступним чином.

Під час переміщення гичкозбирального модуля вздовж рядків коренеплодів і обертання вала 3 (рис. 1.31), гичкозрізувальні ножі 10 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії направлення кожуха 5 в сторону ділильних дисків 11. При цьому зрізування основного масиву гички виконується за методом різання з проковзування леза гичкозрізувального ножа вздовж головки коренеплодів і гички, що дозволяє виконувати процес різання гички значно «м'якше» ніж «жорстким» процесом колення за рахунок того, що гичкозрізувальні ножі встановлені шарнірно на барабані 8 вала, а лезо ріжучої кромки гичкозрізувального ножа виконано Г-подібної форми та утворює з горизонтальною віссю обертання вала гострий кут. Вдаряючись у поверхню ділильних дисків, зрізана та подрібнена гичка падає в міжряддя коренеплодів. Це забезпечується за рахунок того, що гичкозрізувальні ножі встановлені на барабані вала по гвинтовій лінії.

Гребінчастий копір 14 обрізника 6 залишків гички 7 наїжджає на головку коренеплодів з залишками гички (копіює головки коренеплодів) і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски 12 передає це переміщення гребінчастого копіра ножу 15. Ніж, рухаючись поступально напрямку руху машини по головці коренеплодів, лезом ріжучої кромки 18 (рис. 1.32) обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу.

У процесі зрізування головки коренеплодів ніж відхиляється на вертикальному пальці 17 до упора 19, виконуючи різання методом ковзання. Після зрізування головки коренеплодів ніж завдяки регулювальній пружині 20 повертається в попереднє положення.

Таким чином, за рахунок усунення проміжної операції транспортування зрізаної і подрібненої гички шнековим конвеєром та її вивантаження на зібране поле значно зменшуються енерговитрати на реалізацію технологічного процесу збирання основного масиву гички коренеплодів, а заміна процесу рублення основного масиву гички та головок коренеплодів процесом різання з проковзування леза ріжучої кромки Г-подібного ножа роторного гичкоріза та ножа обрізника відносно головок коренеплодів призводить до зменшення енергоємності процесу різання та покращує якість обрізування гички та головок коренеплодів за рахунок значного зменшення кількості їх сколів, а також вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх втрат.

При цьому робочі органи удосконаленого гичкозбирального модуля дозволяють реалізувати транспортування та укладання зрізаної гички на поверхню поля фактично одним робочим органом – роторним гичкорізом у поєднанні з кожухом, а покращення якості роботи гичкозбирального модуля досягається також конструктивним удосконаленням ножів роторного гичкоріза, при цьому лезо ріжучої кромки гичкозрізувального ножа виконано Г-подібної форми та утворює з горизонтальною віссю обертання вала гострий кут, а лезо ножа обрізника виконано підпружиненим, що дозволяє виконувати різання основного масиву гички та головок коренеплодів з проковзуванням їх вздовж леза ножа, або виконувати цей процес значно “м’якше” ніж колінням “жорстким” ножем і значно покращити якість зрізаної поверхні коренеплоду, отримуючи меншу кількість сколів.

Тому перспективним напрямком є подальше проведення поглиблених теоретичних і експериментальних досліджень технологічного процесу збирання основного масиву гички та обрізування залишків гички з головок коренеплодів робочими органами удосконаленого гичкозбирального модуля з метою

зниження енергетичних витрат процесу збирання крупно розмірних і довгоплідних коренеплодів кормових, цукрових буряків і коренеплодів цикорію шляхом розробки методології та методики обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи робочих органів для збирання гички коренеплодів.

Комплексна оцінка параметрів і режимів роботи є передумовами для подальшої інтенсифікації зменшення енергетичних витрат процесу збирання гички крупно великих коренеплодів, шляхом обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи гичкозбирального модуля та коренезбиральної машини загалом.

#### **1.4. Висновки до розділу та основні напрямки дослідження**

Виходячи із аналізу стану питання, можна зробити висновок, що технологічний процес збирання гички коренеплодів із застосуванням традиційних робочих органів не забезпечує необхідних показників якості роботи гичкозбиральних модулів, а подальше вдосконалення технологічного процесу збирання гички без розроблення нових і удосконалених конструктивних схем робочих органів і визначення їх функціональних параметрів практично вичерпало себе у плані підвищення показників якості зрізування гички коренеплодів.

Тому:

1. Удосконалення традиційних способів збирання гички коренеплодів можливе за рахунок розробки енергоощадних способів збирання основного масиву гички та обрізування залишків гички з головок коренеплодів шляхом мінімізації кількості етапів процесу їх реалізації.

2. Запропоновано удосконалений технологічний процес збирання гички коренеплодів, який забезпечує зниження енергоємності за рахунок одночасного зрізування, подрібнення та укладання зрізаної гички на поверхню поля між двома суміжними дисками, які закріплено на барабані роторного гичкоріза та розташовані у міжрядді незібраних коренеплодів.



3. Зниження енергоємності процесу та підвищення агротехнічних показників якості збирання гички досягається за рахунок одночасного поєднання операцій зрізування та переміщення зрізаної гички одним активним (роторний гичкоріз) і пасивним (направляючий канал) робочим органом, а також з застосуванням удосконалених робочих органів, призначених для зрізування гички, які виконують процес різання ковзанням, а не коленням.

3. Енергоощадний спосіб збирання основного масиву гички реалізується шляхом усунення проміжної операції транспортування основного масиву зрізаної гички шнековим конвеєром та її укладання у валок, або розкидання на зібране поле шляхом розроблення удосконалених робочих органів гичкозбирального модуля.

4. На основі аналіз наукових праць можна констатувати, що застосувати результати та методи для розрахунку процесу роботи запропонованого гичкозбирального модуля в повному обсязі неможливо, тому що його робочі органи мають ряд специфічних конструктивних особливостей.

Тому метою дослідження є зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички та обрізування залишків гички з головок коренеплодів шляхом удосконалення та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

Завдання дослідження – вирішення важливої науково-технічної задачі, яке полягає у розробці аналітично-емпіричних методів обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля коренезбиральних машин.

На основі ідентифікації відомих у літературі теоретичних і експериментальних досліджень технологічних процесів збирання гички коренеплодів вирішення даного завдання зведено до розв'язку таких прикладних задач:

- на основі аналізу технологічних процесів зрізування основного масиву гички коренеплодів розробити конструктивно-технологічну схему удосконаленого гичкозбирального модуля;

- розробити математичні моделі, які описують та характеризують функціональну залежність зміни технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля;
- встановити функціональні зв'язки розмірних частин подрібнених стебел гички залежно від основних конструктивно-кінематичних параметрів роторного гичкоріза та умов роботи гичкозбирального модуля;
- теоретично обґрунтувати основні конструктивно-кінематичні параметри роторного гичкоріза на основі побудови математичної моделі, яка характеризує зміну розмірних частин подрібнених стебел гички від параметрів процесу;
- провести математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі та визначити його раціональний профіль;
- розробити математичні моделі процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів обрізником типу «пасивний копір-пасивний підпружинений ніж» з умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження;
- розробити залежність, яка характеризує зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички удосконаленим гичкозбиральним модулем;
- провести експериментальні дослідження:
  - технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля;
  - показників якості роботи коренезбиральної машини для способу укладання зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів та в зону між двома суміжними ділільними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів;
  - показників якості виконання процесу збирання гички коренеплодів залежно від зміни основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля;
  - визначити економічну ефективність застосування удосконаленого гичкозбирального модуля у виробничих умовах.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

#### **2.1. Аналіз теоретичної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів**

На стадії конструктивної розробки та проектування гичкозбирального модуля необхідно обґрунтувати його раціональні параметри. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля доцільно провести на основі визначення та теоретичного аналізу кількості зрізаної гички, яка зрізується ножами роторного гичкоріза та яка укладається на поле у міжряддя невикопаних коренеплодів.

Мета дослідження – розробка аналітичних функціональних закономірностей, які описують характер зміни технологічної подачі гички у міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від параметрів насаджень коренеплодів, технологічних параметрів роботи та конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

З огляду на світову тенденцію однофазного способу збирання коренеплодів сучасними самохідними машинами, які передбачають блочно-модульний принцип їх побудови, нами запропоновано удосконалений енергоощадний спосіб збирання основного масиву гички коренеплодів.

Спосіб збирання передбачає три суміжних операції: зрізання основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її подрібненням; транспортування подрібненої гички в направляючих каналах кожуха роторного гичкоріза; укладання подрібненої гички в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування ділільних дисків.

При цьому зрізання основного масиву гички і розкидання подрібненої гички в міжряддя незібраних коренеплодів здійснюється одним робочим органом – роторним гичкорізом.

Для аналітичного обґрунтування функціональної зміни технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів розглянемо складену конструктивно-технологічну схему способу збирання основного масиву гички коренеплодів, загальний вигляд якого наведено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд коренеплодів і гички на період збирання

Схему енергоощадного способу збирання основного масиву гички з головок коренеплодів наведено на рис. 2.2 [40, 118].

Під час руху гичкозбирального модуля уздовж рядків коренеплодів 1 (рис. 2.2) з гичкою на їх головках з поступальною робочою швидкістю руху  $\mathcal{G}_M$  Г-подібні ножі 5 за рахунок обертання роторного гичкоріза 3 зрізують з головок коренеплодів основний масив гички і подають її по траєкторії руху до вхідній горловині 9 направляючого каналу 8. За рахунок створеного обертанням ножів Г-подібної форми направленою повітряного потоку зрізана та подрібнена гичка 12 по траєкторії направляючого каналу переміщується до його вихідній горловині 10, а далі до фартуха 11, де подрібнена гичка 12 укладається в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування ділильних дисків 6.

Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля доцільно провести на основі визначення або розрахунку та подальшого аналізу кількості зрізаної з головок коренеплодів 1 (рис. 2.3) основного масиву гички 2, яка зрізується Г-подібними ножами 4 роторного гичкоріза 3, який рухається зі швидкістю  $\mathcal{G}_M$  та переміщується на

шлях  $L_g = \mathcal{G}_M t$ , де  $t$  – час переміщення гичкозбирального модуля, с. Зрізана гичка 5 у подальшому укладається на поверхню поля між двома невикопаними суміжними рядками коренеплодів у зону шириною  $b_n$ , яка розташована між двома суміжними ділильними дисками, що встановлені у одному міжрядді невикопаних коренеплодів, ширина якого становить  $b_k$ .

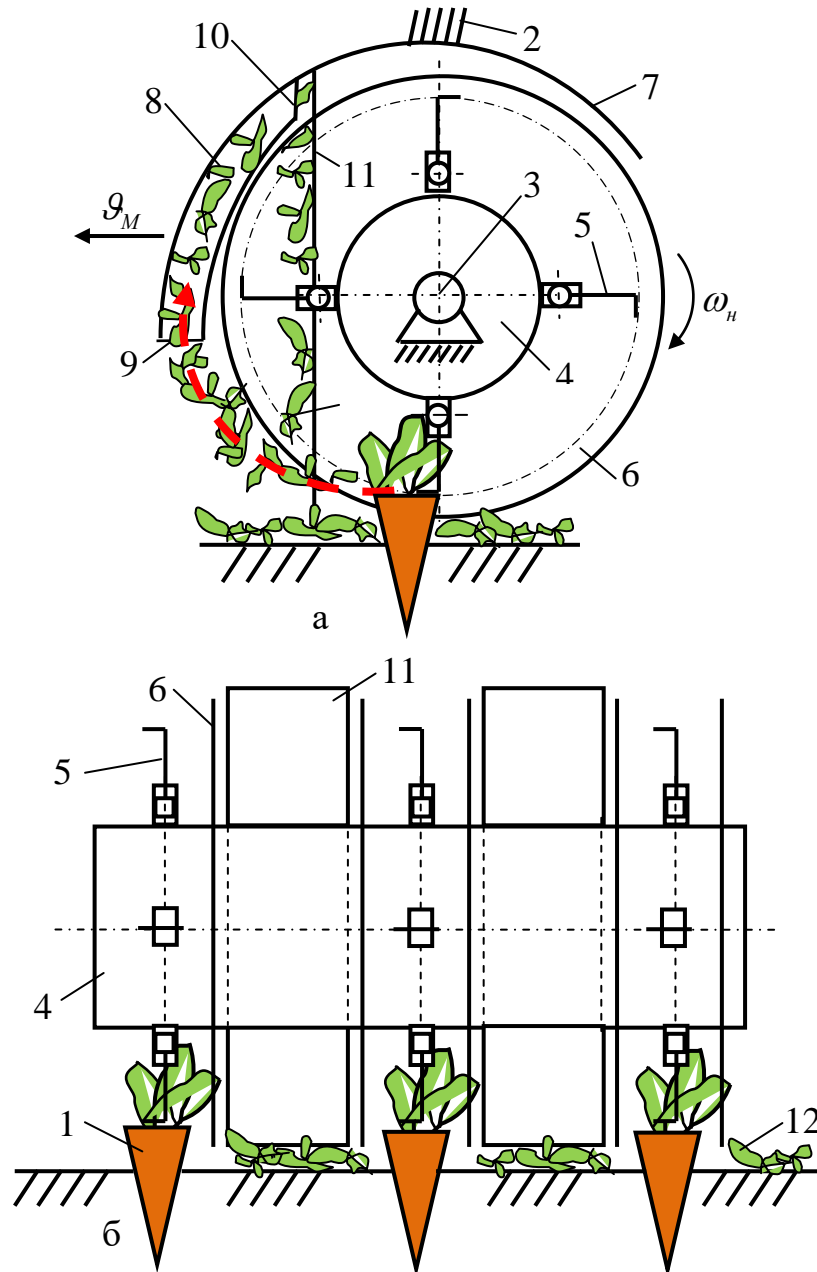


Рисунок 2.2 – Схема способу збирання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів: а – вигляд збоку; б – вигляд ззаду; 1 – коренеплід з гичкою; 2 – рама; 3 – роторний гичкоріз; 4 – барабан; 5 – ніж; 6 – ділильний диск; 7 – кожух; 8 – направляючий канал; 9, 10 – вхідний і вихідний отвір; 11 – фартух; 12 – укладена у міжряддя подрібнена гичка

Формалізуємо технологічний процес роботи гичкозбирального модуля, або об'єкт дослідження наступним чином, приймаючи при цьому такі припущення [40, 118]:

- гичкозбиральний модуль рухається вздовж рядків коренеплодів 1 (рис. 2.3) рівномірно з постійною поступальною швидкістю руху, яку позначимо через  $\mathcal{G}_M$ , м/с;

- ділильні диски встановлено у міжрядді коренеплодів із захисною зоною, ширина якої відносно центра рядка та встановленого біля нього ділильного диска дорівнює  $c_k$ ;

- після зрізування основного масиву гички Г-подібними ножами на головках деяких коренеплодів, які знаходяться у ґрунті нижче за основний масив розташування коренеплодів над рівнем поверхні поля, або нижче високостоячих коренеплодів залишаються залишки гички 7, рис. 2.3.

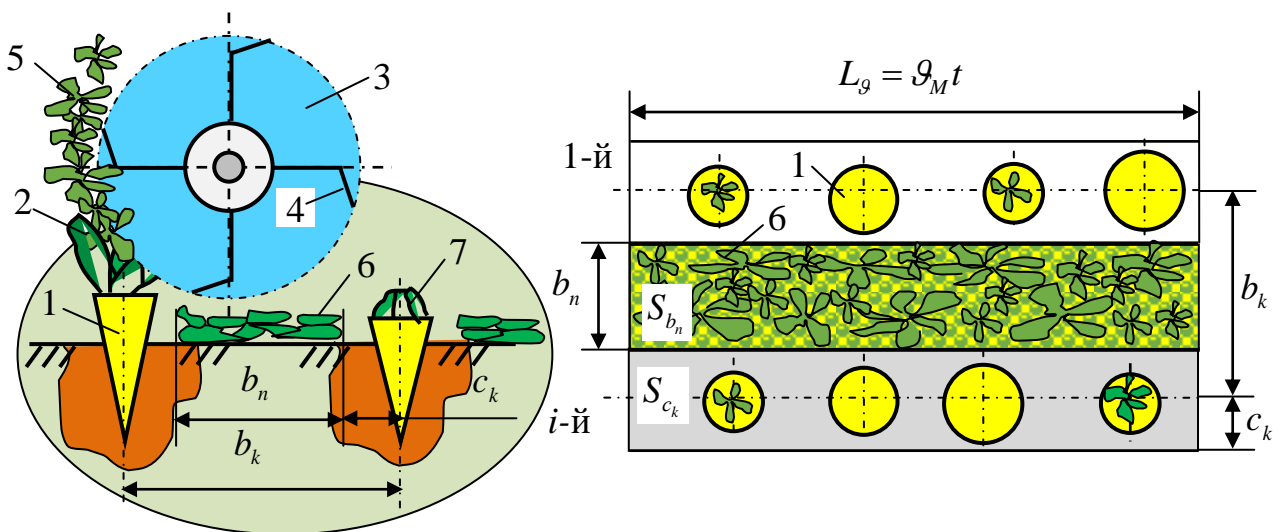


Рисунок 2.3 – Схема до розрахунку технологічної подачі зрізаної гички роторним гичкорізом: 1 – коренеплід; 2 – гичка; 3 – роторний гичкоріз; 4 – ніж; 5 – зрізана гичка; 6 – гичка укладена у міжряддя невикопаних коренеплодів; 7 – залишки гички на головках коренеплодів

Аналіз кількості зрізаної з головок коренеплодів основного масиву гички проведемо шляхом розрахунку дійсної сумарної подачі та укладання на поверхню поля зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля гички в зоні між двома суміжними ділильними

дисками та розрахунку питомої подачі гички, укладеної у міжряддя невикопаних коренеплодів.

У загальному контексті отримані дані аналізу секундної подачі та питомої маси зрізаної та подрібненої гички є передумовою для подальшого обґрунтування технологічного процесу та параметрів робочих органів викопування коренеплодів і їх очищення від домішок враховуючи при цьому агробіологічні характеристики коренеплодів [119]

Проаналізуємо технологічний процес роботи гичкозбирального модуля, або процес зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза за певний проміжок часу  $t$  переміщення гичкозбирального модуля.

Якщо гичка з головок коренеплодів одночасно зрізується з декількох рядків, кількість яких позначимо через  $n_k$ , тоді сумарна маса зрізаної гички  $M_p$  у загальному випадку дорівнює сумі маси зрізаної гички з кожного  $i$ -го рядка

$$M_p = \sum_{i=1}^{n_i} m_{pi} = m_{1p} + m_{2p} + \dots + m_{n_i p}, \quad (2.1)$$

де  $\sum_{i=1}^{n_i} m_{pi}$  – сумарна маса зрізаної гички з  $n_k$  рядків коренеплодів, кг.

$m_{1p}, m_{2p}, \dots, m_{n_i p}$  – маса зрізаної гички з головок коренеплодів з 1-го, 2-го, ...,  $n_i$ -го рядка, кг.

Сумарна маса зрізаної гички  $\sum_{i=1}^{n_i} m_{pi}$  з головок коренеплодів є не що інше, як сумарна подача зрізаної гички з  $n_i$ -х рядків коренеплодів, яка в свою чергу дорівнює сумі подачі зрізаної гички  $\Pi_{ip}(t)$  з кожного одного  $i$ -го рядка коренеплодів за проміжок часу  $t$  переміщення гичкозбирального модуля, або часу руху гичкозбирального модуля зі швидкістю  $\mathcal{G}_M$ .

Сумарна подача зрізаної гички  $\Pi_{ip}(t)$  з кожного одного  $i$ -го рядка коренеплодів за проміжок часу  $t$ , або часу руху гичкозбирального модуля буде залежати від загальної кількості коренеплодів  $K_{iz}(t)$  (шт.) із яких зрізано гичку ножами роторного гичкоріза та урожайності гички кожного окремого  $i$ -го рядка коренеплодів  $U_{ip}(t)$  (кг/м<sup>2</sup>), або [120]

$$\Pi_{ip}(t) = \left[ (U_{ip} K_{iz})(t) \right], \quad (2.2)$$

при цьому

$$K_{iz}(t) = L_g k_{iz}(t) = \mathcal{G}_M t k_{iz}(t) = \mathcal{G}_M t b_k \Gamma_{ik}(t), \quad (2.3)$$

де  $L_g$  – шлях, який пройде гичкозбиральний модуль за час  $t$ , м;

$k_{iz}$  – кількість коренеплодів на одному погонному метрі у кожному  $i$ -го рядку, шт.

$\mathcal{G}_M$  – швидкість руху гичкозбирального модуля, м/с;

$b_k$  – ширина міжряддя коренеплодів, м;

$\Gamma_{ik}(t)$  – густина насаджень коренеплодів у кожному  $i$ -му рядку на час збирання коренеплодів, шт./м<sup>2</sup>;

$$\Pi_{ip}(t) = \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[ (\Gamma_{ik} U_{ip})(t) \right]. \quad (2.4)$$

Тоді згідно з (2.1) – (2.4) можна записати, що сумарна подача гички з  $n_k$  рядків коренеплодів, або у подальшому загальна подача  $\Pi_p(t)$  гички з  $n_k$  рядків коренеплодів визначається за формулою

$$\Pi_p(t) = \left( \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[ (\Gamma_{1k} U_{1p})(t) \right] + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[ (\Gamma_{2k} U_{2p})(t) \right] + \dots + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[ (\Gamma_{nk} U_{np})(t) \right] \right). \quad (2.5)$$

При цьому, питома подача зрізаної та подрібненої гички  $\Pi_{np}(t)$  на площі  $S_{b_n}$  (рис. 2.2) визначається за формулою

$$\Pi_{np}(t) = \Pi_p(t) / S_{b_n}(t), \quad (2.6)$$

де  $S_{b_n}$  – площа поля з якої зрізана гичка з головок  $n_k$  рядків коренеплодів, м<sup>2</sup>.

Або згідно з (2.5) маємо

$$\Pi_{np}(t) = \frac{1}{S_{b_n}} \left( \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[ (\Gamma_{1k} U_{1p})(t) \right] + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[ (\Gamma_{2k} U_{2p})(t) \right] + \dots + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[ (\Gamma_{nk} U_{np})(t) \right] \right). \quad (2.7)$$



Отримана функціональна залежність (2.6) та (2.7) характеризують зміну загальної подачі  $\Pi_p(t)$  і питому подачу  $\Pi_{np}(t)$  зрізаної та подрібненої гички з  $n_k$  рядків коренеплодів за умови однакової (постійної) урожайності гички  $U_{ip}(t) = const$  та густоти насаджень коренеплодів  $\Gamma_{ik}(t) = const$  у кожному  $i$ -му рядку на шляху  $L_g = \mathcal{G}_M t$  переміщення гичкозбирального модуля за час  $t$  та ширини міжряддя коренеплодів  $b_k$ .

Згідно з даними дослідження [121 – 123] показники  $U_{ip}(t)$  та  $\Gamma_{ik}(t)$  є непостійними та мають значну мінливість їх зміни, яку запишемо у вигляді  $U_{ip}(t) \pm \Delta U_{ip}(t)$  та  $\Gamma_{ik}(t) \pm \Delta \Gamma_{ik}(t)$ , де  $\Delta U_{ip}(t)$  – величина зміни урожайності гички  $U_{ip}(t)$ , кг/м<sup>2</sup>;  $\Delta \Gamma_{ik}(t)$  – величина зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_{ik}(t)$ , шт./м<sup>2</sup>.

Тоді з врахуванням значної мінливої зміни урожайності гички  $U_{ip}(t) \pm \Delta U_{ip}(t)$  та густоти насаджень  $\Gamma_{ik}(t) \pm \Delta \Gamma_{ik}(t)$  коренеплодів на ділянках поля, залежності (2.5) і (2.7) набудуть вигляду:

$$\Pi_p(t) = \frac{dL_g}{dt} b_k t \left\{ \left[ \Gamma_{1k}(t) \pm \Delta \Gamma_{1k}(t) \right] \left[ U_{1p}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] + \left[ \Gamma_{2k}(t) \pm \Delta \Gamma_{2k}(t) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[ U_{2p}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] + \dots + \left[ \Gamma_{nk}(t) \pm \Delta \Gamma_{nk}(t) \right] \left[ U_{np}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] \right\}; \quad (2.8)$$

$$\Pi_{np}(t) = \left( \frac{dL_g}{dt} \right) \frac{b_k t}{S_{b_n}} \left\{ \left[ \Gamma_{1k}(t) \pm \Delta \Gamma_{1k}(t) \right] \left[ U_{1p}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] + \left[ \Gamma_{2k}(t) \pm \Delta \Gamma_{2k}(t) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[ U_{2p}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] + \dots + \left[ \Gamma_{nk}(t) \pm \Delta \Gamma_{nk}(t) \right] \left[ U_{np}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] \right\}. \quad (2.9)$$

При цьому, отримані функціональні залежності (2.8) та (2.9) характеризують зміну загальної подачі  $\Pi_p(t)$  і питому подачу  $\Pi_{np}(t)$  зрізаної та подрібненої гички з  $n_k$  рядків коренеплодів за умови повного (100 відсоткового) зрізування гички з усіх  $K_{iz}(t)$  коренеплодів з яких зрізана гичка.

Але висоту безкопінного зрізування основного масиву гички встановлюють за характером розташування більшості коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту та за принципом вибору схеми зрізування основного масиву

гички на рівні високостоячих, або превалюючої кількості найвище розміщених головок коренеплодів [124]. Згідно з дослідженнями [124, 125], після безкопінного зрізування гички з головок коренеплодів ножами роторного гичкоріза на деяких головках коренеплодів, які розміщені відносно рівня поверхні ґрунту нижче за основний масив розташування превалюючої кількості коренеплодів залишаються залишки гички 7, рис. 2.3.

Тому для врахування маси цих залишків введемо поправочний коефіцієнт  $k_{i_z}(t)$ , який корегує зменшення загальної подача  $\Pi_p(t)$  зрізаної гички з кожного  $i$ -го рядка та зменшення питомої подачі  $\Pi_{np}(t)$  зрізаної та подрібненої гички у кожному міжрядді невикопаних коренеплодів.

Тоді загальна подача  $\Pi_p(t)$  зрізаної гички з  $n$  рядків і питома подача зрізаної та подрібненої гички  $\Pi_{np}(t)$  на площі  $S_{b_n}$  згідно з залежностями (2.8) та (2.9) визначається за формулою:

$$\Pi_p(t) = \frac{dL_g}{dt} b_k t \left\{ \begin{aligned} & \left[ \Gamma_{1k}(t) \pm \Delta\Gamma_{1k}(t) \right] \left[ U_{1z}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] k_{1z}(t) + \\ & + \left[ \Gamma_{2k}(t) \pm \Delta\Gamma_{2k}(t) \right] \left[ U_{2z}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] k_{2z}(t) + \dots + \\ & + \left[ \Gamma_{nk}(t) \pm \Delta\Gamma_{nk}(t) \right] \left[ U_{nz}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] k_{nz}(t) \end{aligned} \right\}; \quad (2.10)$$

$$\Pi_{np}(t) = \left( \frac{dL_g}{dt} \right) \frac{b_k t}{S_{b_n}} \left\{ \begin{aligned} & \left[ \Gamma_{1k}(t) \pm \Delta\Gamma_{1k}(t) \right] \left[ U_{1z}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] k_{1z}(t) + \\ & + \left[ \Gamma_{2k}(t) \pm \Delta\Gamma_{2k}(t) \right] \left[ U_{2z}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] k_{2z}(t) + \dots + \\ & + \left[ \Gamma_{nk}(t) \pm \Delta\Gamma_{nk}(t) \right] \left[ U_{nz}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] k_{nz}(t) \end{aligned} \right\}. \quad (2.11)$$

Для подальших розрахунків і спрощення теоретичного аналізу технологічної подачі зрізаної з головок коренеплодів і подрібненої ножами роторного гичкоріза гички у міжрядді невикопаних коренеплодів приймемо час переміщення гичкозбирального модуля рівного 1 с.

Тоді згідно з (2.10) та (2.11), отримаємо вирази для визначення загальної подачі  $\Pi_p$  (кг) та питомої подачі  $\Pi_{np}$  (кг/м<sup>2</sup>) зрізаної та подрібненої гички 5 (рис. 2.3), яка укладається на поверхню поля у зону між двома суміжними

ділильними дисками 6 (рис. 2.2), які розташовано у одному міжрядді невикопаних коренеплодів 1 за час руху гичкозбирального модуля рівного 1 с:

$$P_p = \left( \frac{dL_g}{dt} \right) b_k t \left[ \begin{array}{l} (\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} +, \dots, + \\ + (\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{array} \right]; \quad (2.12)$$

$$M_{np} = \left( \frac{dL_g}{dt} \right) \frac{b_k t}{S_{b_n}} \left[ \begin{array}{l} (\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} +, \dots, + \\ + (\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{array} \right]. \quad (2.13)$$

Згідно з рис. 2.3 можна записати, що

$$S_{b_n} = L_g b_k - S_{c_k} = \mathcal{G}_M t b_k - \mathcal{G}_M t 2c_k = \mathcal{G}_M t (b_k - 2c_k), \text{ або } S_{b_n} = L_g b_n = \mathcal{G}_M t b_n, \quad (2.14)$$

де  $S_{c_k}$  – площа міжкоренеплідної захисної зони поверхні поля посіву коренеплодів, м<sup>2</sup>;

$c_k$  – відстань від центра рядка коренеплодів до ділильного диска, або ширина міжкоренеплідної захисної зони, м;

$b_n = b_k - 2c_k$  – відстань між двома ділильними дисками, які встановлено у одному міжрядді коренеплодів, м.

Підставивши значення (2.14) у залежність (2.13) та після спрощення виразу, отримаємо функціональну залежність для визначення питомої подачі  $P_{np}$  зрізаної гички з урахуванням ширини міжкоренеплідної захисної зони  $c_k$ , або відстані  $b_n$  між двома суміжними ділильними дисками, які встановлено у одному міжрядді коренеплодів, тобто:

$$P_{np} = \frac{b_k}{b_k - 2c_k} \left[ \begin{array}{l} (\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} +, \dots, + \\ + (\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{array} \right]; \quad (2.15)$$

$$M_{np} = \frac{b_k}{b_n} \left[ \begin{aligned} &(\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ &+(\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} + \dots + \\ &+(\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{aligned} \right]. \quad (2.16)$$

Для зручності практичного застосування залежностей (2.12), (2.15) і (2.16) можна прийняти умову, що густина насаджень  $\Gamma_{ik} \pm \Delta\Gamma_{ik}$  коренеплодів та урожайність гички  $U_{ip} \pm \Delta U_{ip}$  коренеплодів і поправочний коефіцієнт  $k_{iz}$  кожного  $i$ -го рядка дорівнюють середнім значення для певного сорту коренеплодів, або

$$\Gamma_{ik} \pm \Delta\Gamma_{ik} = \Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k; \quad U_{ip} \pm \Delta U_{ip} = U_p \pm \Delta U_p; \quad k_{iz} = k_z. \quad (2.17)$$

Тоді залежності (2.12), (2.15) і (2.16) набудуть вигляду:

$$\Pi_p = \left( \frac{dL_M}{dt} \right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p); \quad (2.18)$$

$$M_{np} = \frac{\Pi_p}{S_{b_n}} = \frac{b_k k_z}{b_k - 2c_k} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) = \frac{b_k k_z}{b_n} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p). \quad (2.19)$$

За початкових умов  $b_k = 0,45$  м,  $k_{zc} = 0,9$ ,  $c_k = 0,075$  м, або  $b_n = 0,3$  м,  $t = 1$  с,  $n_k = 6$  шт. та згідно з рівняннями (2.18) і (2.19) побудовано теоретичні залежності зміни, відповідно:

- секундної подачі  $\Pi_p$  (кг/с) зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів як функція:  $\Pi_p = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p)$  та  $\Pi_p = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)$ , відповідно, рис. 2.4 та рис. 2.5;

- питомої маси  $M_{np}$  (кг/м<sup>2</sup>) зрізаної та укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів  $M_{np} = f_M(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p)$ , рис. 2.6.

На основі аналізу графічних побудов (рис. 2.4) встановлено, що:

- у межах зміни швидкості руху  $\mathcal{G}_M$  гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни урожайності гички  $U_p \pm \Delta U_p = U_p \pm 0,2$  кг/м<sup>2</sup> секундна подача

гички  $\Pi_p$ , яку зрізано і подрібнено ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону суміжних ділільних дисків, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

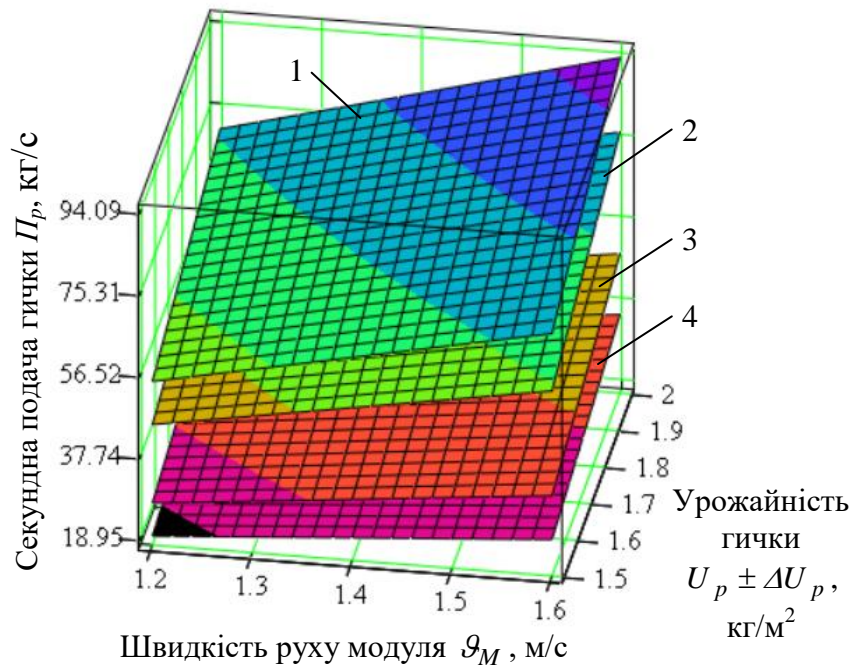


Рисунок 2.4 – Залежність зміни секундної подачі гички як функція  $\Pi_p = f_{II}(\mathcal{Q}_M; U_p \pm \Delta U_p)$ : 1 –  $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2$ ;  
2 –  $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$ ; 3 –  $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$ ,  
 $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2 \text{ шт./м}^2$ ; 4 –  $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$ ,

$$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2 \text{ шт./м}^2$$

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$  – від 56,6 до 94,1 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6 \text{ шт.}$ , поверхня 1;

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 5 + 2 \text{ шт./м}^2$  – від 37,7 до 75,3 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6 \text{ шт.}$ , поверхня 2.

- у межах зміни швидкості руху  $\mathcal{Q}_M$  гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни урожайності гички  $U_p - \Delta U_p = U_p - 0,2 \text{ кг/м}^2$  секундна подача гички  $\Pi_p$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться в діапазоні:

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2$  шт./м<sup>2</sup> – від 23,1 до 42,3 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6$  шт., поверхня 3;

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2$  шт./м<sup>2</sup> – від 18,9 до 34,7 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6$  шт., поверхня 4.

Ці функціональні закономірності зміни секундної подачі гички  $\Pi_p$  у міжряддя невикопаних коренеплодів підтверджуються також отриманими даними згідно з графічними залежностями, які наведено на рис. 2.7.

На основі аналізу графічних побудов (рис. 2.5) встановлено, що:

- у межах зміни швидкості руху  $\mathcal{G}_M$  гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k = \Gamma_k \pm 2$  секундна подача гички  $\Pi_p$ , яку зрізано і подрібнено ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону суміжних ділільних дисків, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

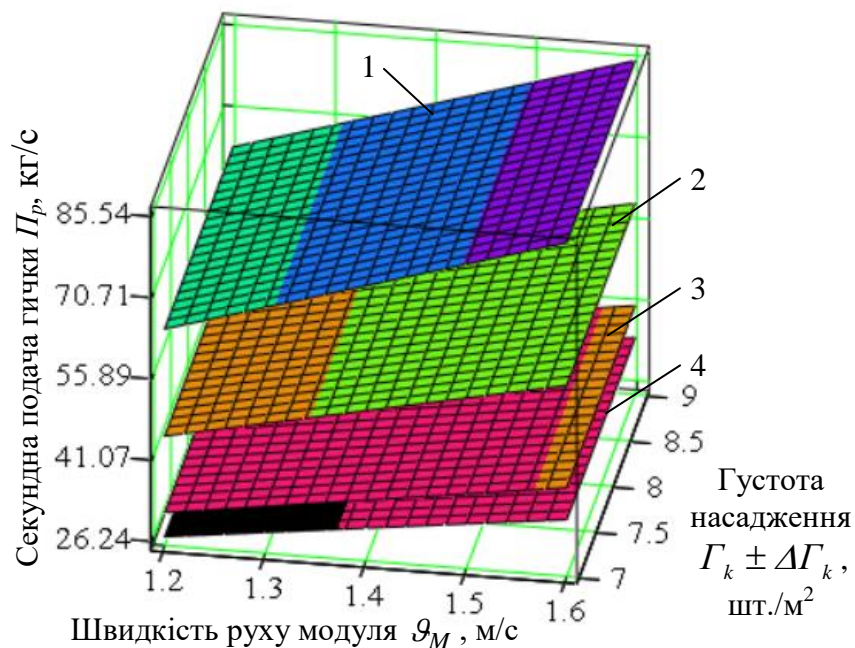


Рисунок 2.5 – Залежність зміни секундної подачі гички як функція  $\Pi_p = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)$ : 1 –  $\Delta\Gamma_k = +2$  шт./м<sup>2</sup>,  $U_p + \Delta U_p = 1,8 + 0,2$  кг/м<sup>2</sup>;

$$2 - \Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2, U_p + \Delta U_p = 1,5 + 0,2 \text{ кг/м}^2;$$

$$3 - \Delta\Gamma_k = -2 \text{ шт./м}^2; U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2;$$

$$4 - \Delta\Gamma_k = -2 \text{ шт./м}^2; U_p - \Delta U_p = 1,7 - 0,2 \text{ кг/м}^2$$

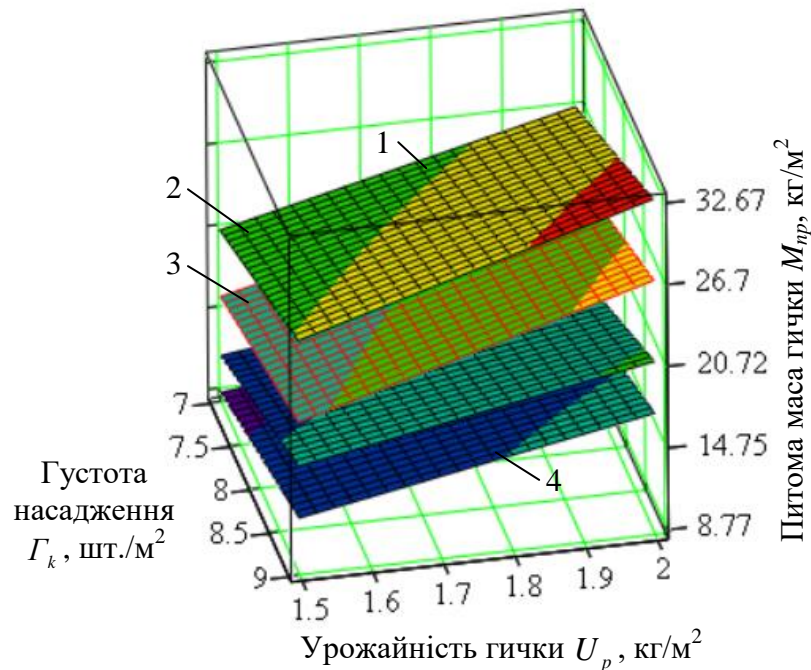


Рисунок 2.6 – Залежність зміни питомої маси гички як функція  $M_{np} = f_M(\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k; U_p \pm \Delta U_p)$ : 1 –  $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2$ ;  
 2 –  $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2$ ; 3 –  $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$ ,  
 $\Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2$ ; 4 –  $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Delta\Gamma_k = -2 \text{ шт./м}^2$

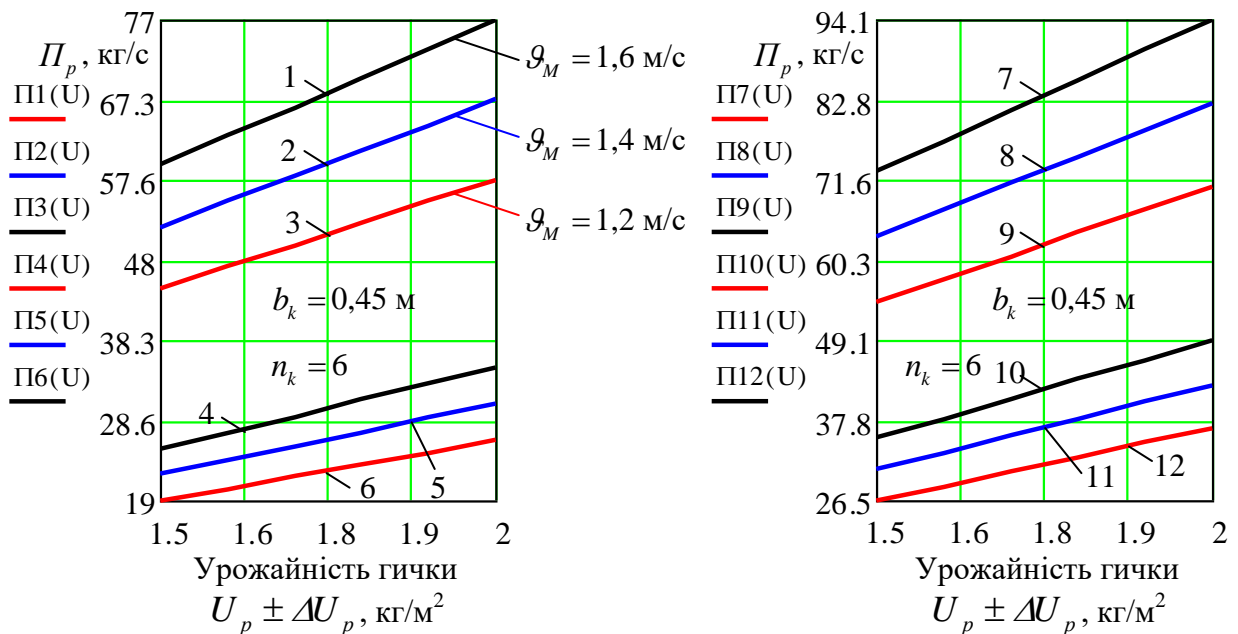


Рисунок 2.7 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція  $\Pi_p = f_{\Pi}(U_p \pm \Delta U_p)$ : 1, 2, 3 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$ ,  $U_p + 0,2 \text{ кг/м}^2$ ; 4, 5, 6 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$ ,  $U_p - 0,2 \text{ кг/м}^2$ ;  
 7, 8, 9 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2$ ,  $U_p + 0,2 \text{ кг/м}^2$ ;  
 10, 11, 12 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2$ ,  $U_p - 0,2 \text{ кг/м}^2$

- за зміни урожайності гички коренеплодів  $U_p + \Delta U_p = 1,8 + 0,2$  кг/м<sup>2</sup> – від 53,7 до 85,5 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6$  шт., поверхня 1;

- за зміни урожайності гички коренеплодів  $U_p + \Delta U_p = 1,5 + 0,2$  кг/м<sup>2</sup> – від 37,8 до 69,7 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6$  шт., поверхня 2.

- у межах зміни швидкості руху  $\mathcal{G}_M$  гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни урожайності гички  $U_p - \Delta U_p = U_p - 0,2$  кг/м<sup>2</sup> секундна подача гички  $\Pi_p$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться в діапазоні:

- за зміни урожайності гички коренеплодів  $U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2$  кг/м<sup>2</sup> – від 25,4 до 45,9 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6$  шт., поверхня 3;

- за зміни урожайності гички коренеплодів  $U_p - \Delta U_p = 1,4 - 0,2$  кг/м<sup>2</sup> – від 21,9 до 39,3 кг/с за кількості рядків коренеплодів  $n_k = 6$  шт., поверхня 4.

Ці функціональні закономірності зміни секундної подачі гички  $\Pi_p$  на незібране поле у міжряддя невикопаних коренеплодів підтверджуються також отриманими даними згідно з графічними залежностями, які наведено на рис. 2.8.

На основі аналізу графічних побудов, які наведено на рис. 2.6 було встановлено, що:

- у межах зміни урожайності гички  $U_p + \Delta U_p = U_p + 0,2$  кг/м<sup>2</sup> питома маса гички  $M_{np}$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 9 + 2$  шт./м<sup>2</sup> – від 24,3 до 32,6 кг/м<sup>2</sup>, поверхня 1;

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 7 + 2$  шт./м<sup>2</sup> – від 18,5 до 26,7 кг/м<sup>2</sup>, поверхня 2;



- у межах зміни урожайності гички  $U_p - \Delta U_p = U_p - 0,2$  кг/м<sup>2</sup> питома маса гички  $M_{np}$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2$  шт./м<sup>2</sup> – від 11,8 до 16,7 кг/м<sup>2</sup>, поверхня 3;

- за зміни густоти насадження коренеплодів  $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2$  шт./м<sup>2</sup> – від 8,7 до 12,7 кг/м<sup>2</sup>, поверхня 4.

Ця закономірність констатації функціональної зміни питомої маси гички  $M_{np}$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону ділільних дисків, підтверджується отриманими графічними даними, які наведено на рис. 2.9.

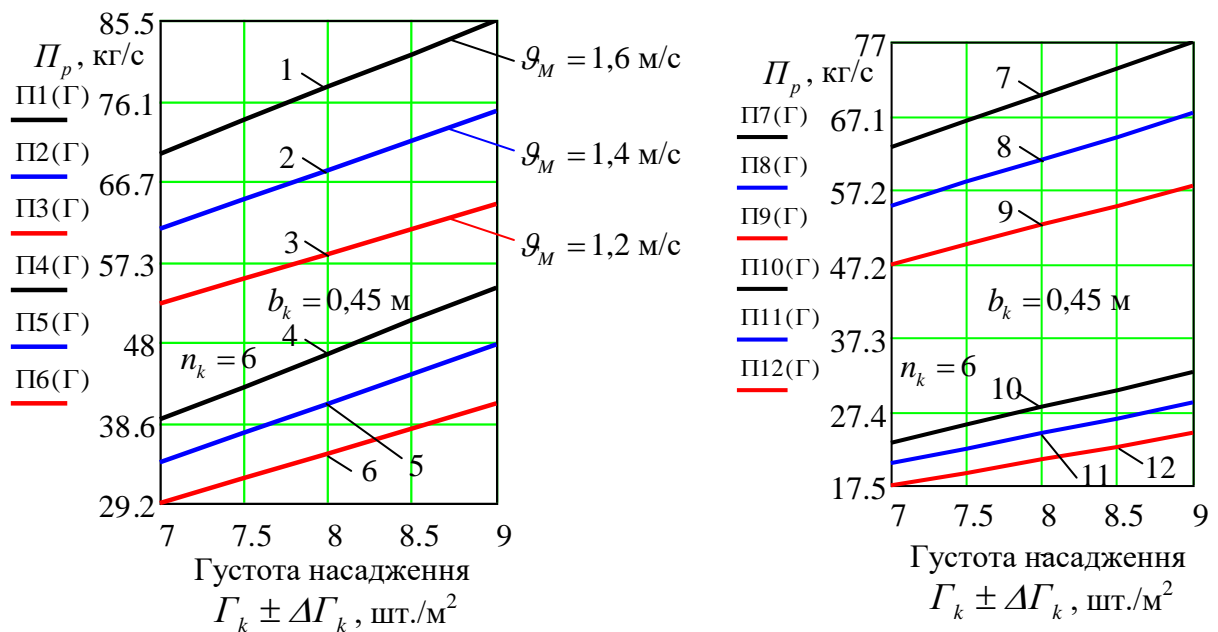


Рисунок 2.8 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція  $P_p = f_{II}(\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)$ : 1, 2, 3 –  $U_p + \Delta U_p = 1,8 + 0,2$  кг/м<sup>2</sup>,

$$\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = \Gamma_k + 2 \text{ шт./м}^2; 4, 5, 6 – U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = \Gamma_k - 2 \text{ шт./м}^2; 7, 8, 9 – U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = \Gamma_k + 2 \text{ шт./м}^2 \text{ кг/м}^2; 10, 11, 12 – U_p - \Delta U_p = 1,4 - 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = \Gamma_k - 2 \text{ шт./м}^2$$

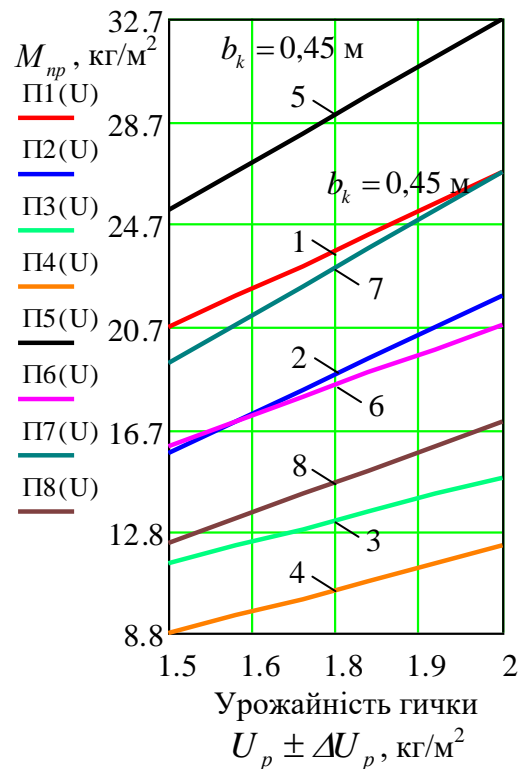


Рисунок 2.9 – Залежність зміни питомої маси гички як функція

$M_{np} = f_{II}(U_p \pm \Delta U_p)$ : 1, 3 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2$  шт./м<sup>2</sup>, відповідно, при  $U_p + 0,2$  кг/м<sup>2</sup> та  $U_p - 0,2$  кг/м<sup>2</sup>; 2, 4 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 - 2$  шт./м<sup>2</sup>, відповідно, при  $U_p + 0,2$  кг/м<sup>2</sup> та  $U_p - 0,2$  кг/м<sup>2</sup>; 5, 7 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2$  шт./м<sup>2</sup>, відповідно, при  $U_p + 0,2$  кг/м<sup>2</sup> та  $U_p - 0,2$  кг/м<sup>2</sup>; 6, 8 –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 - 2$  шт./м<sup>2</sup>, відповідно, при  $U_p + 0,2$  кг/м<sup>2</sup> та  $U_p - 0,2$  кг/м<sup>2</sup>

Функціональна зміна, як секундної подачі  $P_p$ , так і питомої подачі маси  $M_{np}$  зрізаної та подрібненої гички залежно від зміни складових правої частини рівняння (2.18) і (2.19), або залежно від зміни швидкості руху гичкозбирального модуля, урожайності гички та густоти насадження коренеплодів має лінійний, прямопропорційний характер.

Таким чином, за наявної середньої урожайності гички великорозмірних довгоплідних коренеплодів 170...190 ц/га, або відповідно, 1,7...1,9 кг/м<sup>2</sup>, густоти насадження коренеплодів 8...10 шт./м<sup>2</sup> та усередненого значення робочої швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с середнє значення секундної подачі гички становить від 60 до 80 кг/с, а питомої маси укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів – від 25 до 30 кг/м<sup>2</sup>.

Підставивши в формули (2.18) і (2.19) аналітичне значення поправочного коефіцієнта  $k_2$  згідно з (1.2), отримаємо остаточні прикінцеві математичні залежності, які описують характер функціональної зміни секундної подачі та питомої маси зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички коренеплодів залежно від параметрів процесу, яка укладається на поверхню поля між двома суміжними ділильними дисками, що розміщені у міжряддях невикопаних коренеплодів:

$$\begin{aligned} \Pi_p = & \left( \frac{dL_M}{dt} \right) b_k t n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) - \\ & - \sum_{i=h_z}^n \left[ k_{iz} f_c \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j [f(h)] \right) \right]; \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} M_{np} = & \frac{b_k}{b_k - 2c_k} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) - \sum_{i=h_z}^n \left[ k_{iz} f_c \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j [f(h)] \right) \right] = \\ = & \frac{b_k}{b_n} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) - \sum_{i=h_z}^n \left[ k_{iz} f_c \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j [f(h)] \right) \right], \end{aligned} \quad (2.21)$$

де  $n$  – кількість встановлених інтервалів поділу на класи зони висоти зрізування гички;

$f_c$  – функція визначення залишків гички певного інтервалу розташування головок відносно рівня поверхні ґрунту;

$h_i$  та  $h_{i+1}$  – межі зміни встановленого інтервалу;

$c_j$  – відповідні члени ряду;

$f(h)$  – функція щільності нормального розподілення.

Таким чином, розроблені математичні моделі (2.18)-(2.21) на теоретичному рівні дозволяють прогнозувати загальну секундну подачу та питому масу зрізаної та укладеної у міжряддя невикопаних коренеплодів гички, яка розташовується у зоні між двома суміжними ділильними дисками, що встановлені між секціями Г-подібних ножів на барабані роторного гичкоріза.

Отримані дані є вихідними умовами для подальшого розрахунку та обґрунтування робочих органів для викопування та очищення коренеплодів.

Застосування розроблених моделей дозволяє визначати загальну кількість рослинних домішок, які викопуються копаками коренезбиральної машини та в подальшому подаються ними на очисні транспортно-технологічні системи.

## 2.2. Обґрунтування параметрів роторного гичкозрізувального апарата

На сучасному етапі гичку коренеплодів збирають, як правило однофазним способом, який поєднує в собі виконання двох послідовних суміжних операцій одним гичкозбиральним модулем – збирання основного масиву гички без копіювання головок коренеплодів методом безпідпирного різання робочими органами роторного гичкозрізувального апарата з горизонтальною віссю обертання ротора та наступного видалення залишків гички з головок коренеплодів методом різання робочими органами обрізника залишків гички з головок коренеплодів типу пасивний копір – пасивний ніж [1, 4].

Для реалізації даного однофазного способу збирання гички коренеплодів нами на рівні винаходів розроблено гичкозбиральні модулі, конструктивні схеми яких наведено на рис. 1.29 – рис. 1.31 [39, 80-82].

Ефективність повноти збирання та показників якості зрізування гички залежить від встановлених значень основних конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи робочих органів гичкозбирального модуля: роторного гичкоріза та обрізника залишків гички з головок коренеплодів.

Для обґрунтування основних параметрів і режимів роботи роторного гичкозрізувального апарата розглянемо складену еквівалентну розрахункову схему, яку наведено на рис. 2.10.

Під час поступального руху ГМ в напрямку осі  $Ox$  (рис. 2.10) з робочою швидкістю  $V_M = dL_M / dt_M$ , де  $L_M$  – переміщення машини за час  $t_M$ , і одночасного обертання барабана ротора 3 з кутовою швидкістю  $\omega_p$ , радіально закріплені ножі 4 зрізують стебла гички та подають їх угору в зазор між кожухом 6 і барабаном ротора у напрямку його обертання, або обертання

ножів. Стебла гички, рухаючись у зазорі, зазнають повторних взаємодій з іншими ножами 5, подрібнюються та переміщуються по кожуху з наступним вкладанням подрібненої гички в міжряддя коренеплодів.

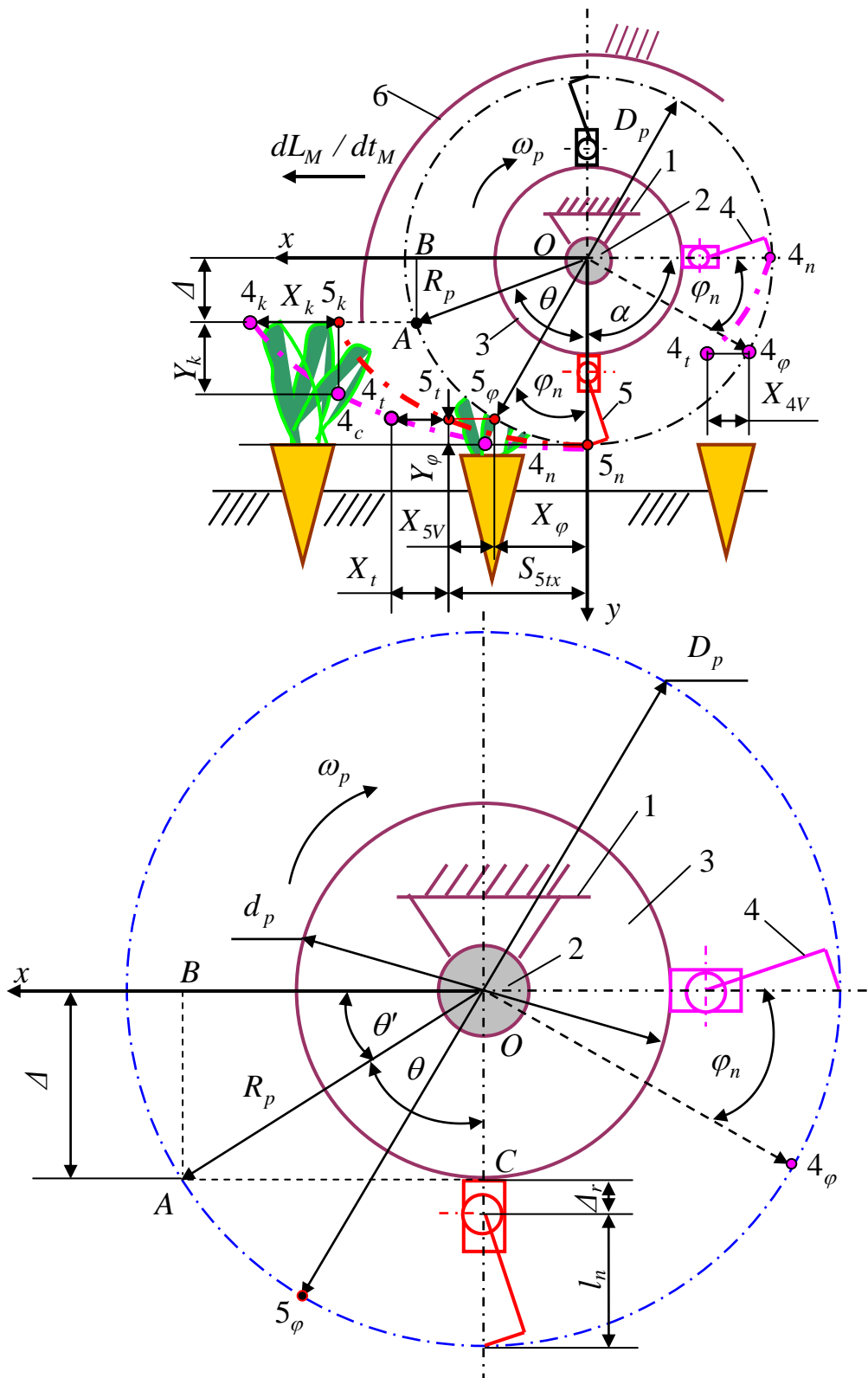


Рисунок 2.10 – Схема до визначення параметрів роторного гичкоріза:

1 – рама; 2 – опора; 3 – барабан ротора; 4, 5 – ножі; 6 – кожух

Обґрунтування параметрів робочих органів роторного гичкозрізувального апарата проведено з умови мінімізації розмірних значень початкових частин подрібнених стебел гички  $X_k$  і  $Y_k$ , або забезпечення режиму роботи гичкоріза, коли  $X_k$  і  $Y_k$  прямує до мінімальних значень, тобто  $X_k \rightarrow \min$ ,  $Y_k \rightarrow \min$ . На основі аналізу розрахункової схеми (рис. 2.10) можна стверджувати, що значення  $Y$  є найбільш несприятливим у загальному контексті прийнятої умови [6].

Для формалізації технологічного процесу роботи роторного гичкозрізувального апарата приймаємо певні припущення та спрощення:

- для забезпечення гарантованої подачі зрізаної маси гички ножами 4, 5 на внутрішню поверхню кожуха 6 його передня частина виконана вертикальною та зміщена відносно осі обертання барабана ротора 3 в напрямку поверхні ґрунту на величину  $\Delta$ , м;

- гичкозбиральний модуль переміщується з постійною швидкістю руху, тобто  $V_M = dL_M / dt_M = \text{const}$ , м/с.

Згідно з [21] різальна кромки кожного ножа 4 і 5 у процесі обертання і переміщення барабана ротора гичкоріза 3 вздовж рядків коренеплодів описує циклоїду, при цьому відносні початкові положення різальної кромки ножа показано, відповідно, позиціями точки  $4_n$  і  $5_n$ , а кінцеві – відповідно, позиціями точки  $4_k$  і  $5_k$ .

Оскільки передня частина кожуха 6 зміщена на величину  $\Delta$ , тоді кінцеве відносне положення різальних кромки точки  $4_k$  і  $5_k$  ножа 4, 5 буде знаходитися на одній лінії з нижньою кромкою кожуха.

Після повороту барабана ротора гичкоріза на кут  $\varphi_n = \omega_p t_\varphi$ , де  $\omega_p$  – кутова швидкість барабана ротора, або ножа (рад/с),  $t_\varphi$  – час повороту ножа (с), відносна початкова точка  $5_n$  ножа 5 переміститься в відносну кінцеву точку  $5_\varphi$ , а ГМ за цей же час  $t_\varphi$  переміститься з цієї точки у кінцеву точку  $5_t$ , або пройде шлях  $L_M = V_M t_\varphi = t_\varphi (dL_M / dt_M)$ .

Згідно з рис. 2.10 можна констатувати, що проекція зони різання  $X_k$  на вісь  $Ox$  дорівнює різниці проекцій зони різання кінцевих точок  $4_k$  і  $5_k$  ножа 4 і 5

$$X_k = X_{4kx} - X_{5kx}. \quad (2.20)$$

Для визначення конструктивно-кінематичних параметрів робочого органу гичкозрізувального апарата на першому етапі складемо рівняння руху кінцевої точки  $5_t$ ,  $4_t$  різальної кромки ножа 5 і 4 у процесі повороту барабана ротора на кут  $\varphi_n$ .

Зона різання  $S_{5tx}$  різальної кромки ножа 5, або відносної початкової точки  $5_n$  за час повороту барабана ротора гичкоріза на кут  $\varphi_n = \omega_p t_\varphi$  у проекції на вісь  $Ox$  згідно з рис. 2.10 визначається

$$S_{5tx} = X_{5V} + X_\varphi, \quad (2.21)$$

де  $X_{5V} = V_M t_M$  – переміщення різальної кромки, або точки  $5_n$  відносно поступального руху ГМ за час  $t_M$ , м;

$X_\varphi = R_p \sin(\omega_p t_\varphi)$  – переміщення різальної кромки, або точки  $5_n$  відносно кута повороту  $\varphi_n = \omega_p t_\varphi$  (м), де  $R_p$  – радіус ротора гичкоріза, м.

Тоді згідно з [84] рівняння руху кінцевої точки  $5_t$  різальної кромки ножа 5 та з врахуванням того, що  $\varphi_n = \omega_p t_\varphi = 2\pi n_c t_\varphi$  мають вигляд

$$S_{5tx} = x_{5t} = X_V + X_\varphi = V_M t_\varphi + R_p \sin(\omega_p t_\varphi) = \frac{dL_M}{dt_M} t_\varphi + 0,5 D_p \sin(2\pi n_c t_\varphi); \quad (2.23)$$

$$Y_{5ty} = y_{5t} = R_p \cos(\omega_p t_\varphi) = 0,5 D_p \cos(2\pi n_c t_\varphi), \quad (2.24)$$

де  $n_c$  – частота обертання ножа гичкоріза, об/с;

$D_p$  – діаметр ротора гичкоріза, м.

Якщо прийняти, що згідно з рис. 2.10  $D_p = d_p + 2(\Delta_r + l_n)$ , а  $\omega_p = \pi n_x / 30$ ,  $\varphi_n = \omega_p t_\varphi$ ;  $t_\varphi = \varphi_n / \omega_p$ , де  $n_x$  – частоти обертання ножа в одиниці вимірювання (об/хв), тоді рівняння (2.3), (2.4) матимуть вигляд

$$S_{5tx} = \frac{dL_M}{dt_M} t_\varphi + 0,5 [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30}\right) = \frac{30\varphi_n}{\pi n_x} \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right) + 0,5 [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \sin \varphi_n; \quad (2.25)$$

$$Y_{5ty} = 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\cos\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30}\right); \quad (2.26)$$

де  $d_p$  – діаметр барабана ротора гичкоріза, м;

$\Delta_r$  – відстань від зовнішньої поверхні барабана до центра шарніра кріплення ножа, м;

$l_n$  – довжина ножа, м.

Згідно з [83] траєкторією кінцевої точки різальної кромки ножа 5 буде крива  $5_n-5_t-5_k$ .

Тоді кінцева точка різальної кромки ножа 4 за час свого повороту  $t_\alpha$  (с) на кут  $\alpha$  описується такою ж самою траєкторією, але зміщеною у напрямку переміщення модуля з поступальною швидкістю руху  $V_M$  на відстань

$$X_{4v} = \frac{dL_M}{dt_M} t_\alpha; \quad \alpha = \omega_n t_\alpha; \quad t_\alpha = \alpha / \omega_n, \quad (2.27)$$

або в кінцевому випадку

$$X_{4v} = \frac{dL_M}{dt_M} \frac{\alpha}{\omega_n} = \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right) \frac{30\alpha}{\pi n_x}, \quad (2.28)$$

де  $\alpha$  – центральний кут між розташованими найближчими (суміжними) ножами, які рухаються по одній траєкторії за напрямком повороту ротора гичкоріза, рад.

Тоді, відповідно до (2.25)-(2.28) рівняння руху кінцевої точки  $4_t$  різальної кромки ножа 4, яка зміщена в коловому напрямку відносно кінцевої точки  $4_t$  різальної кромки ножа 5 на центральний кут  $\alpha$  (рад) одержано

$$\begin{aligned} S_{4tx} &= \frac{dL_M}{dt_M} t_\alpha + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha\right) = \\ &= \frac{30\alpha}{\pi n_x} \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right) + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\sin(\varphi_n - \alpha) \end{aligned} \quad (2.29)$$



$$Y_{4ty} = 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\cos\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha\right), \quad (2.30)$$

Адекватно з (2.20) та згідно рис. 2.10 і з врахуванням (2.25), (2.29) зона різання  $X_t$  у проекції на вісь  $Ox$  визначається за формулою

$$\begin{aligned} X_t &= S_{4tx} - S_{5tx} = \frac{dL_M}{dt_M} t_\alpha + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha\right) - \\ &- \frac{dL_M}{dt_M} t_\varphi - 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30}\right) = \\ &= \frac{dL_M}{dt_M} (t_\alpha - t_\varphi) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\cos\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \frac{\alpha}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \\ &= \frac{30(\alpha - \varphi_n)}{\pi n_x} \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\cos\left(\varphi_n - \frac{\alpha}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \end{aligned}, \quad (2.31)$$

де порядок перетворення та спрощення залежності (2.31) наведено у додатку Б.1.2.

Відповідно залежностям (2.23), (2.24), (2.29), (2.30) рівняння руху кінцевої точки  $5_k$  і  $4_k$  різальної кромки ножа 5 і 4 за час його повороту на кут  $\theta$  мають вигляд

$$S_{5kx} = \frac{dL_M}{dt_M} t_\theta + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\sin\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30}\right); \quad (2.32)$$

$$Y_{5ky} = 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\cos\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30}\right); \quad (2.33)$$

$$S_{4kx} = \frac{dL_M}{dt_M} t_\alpha + 0,5[d_r + 2(\Delta_r + l_n)]\sin\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \alpha\right); \quad (2.34)$$

$$Y_{4ky} = 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)]\cos\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \alpha\right), \quad (2.15)$$

де  $t_\theta$  – час обертання ножа гичкоріза на кут  $\theta$ , (с).

Після підстановки значень  $X_{4kx}$ ,  $X_{5kx}$  з (2.34) і (2.32) у рівняння (2.10) одержано розмірне значення  $X_k$ , або значення початкових частин подрібнених стебел гички у проекції на вісь  $Ox$

$$X_k = X_{4kx} - X_{5kx} = \left( \frac{dL_M}{dt_M} \right) \left( \frac{30(\alpha - \theta)}{\pi n_x} \right) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos \left[ \left( \theta - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \sin \left( \frac{\alpha}{2} \right), \quad (2.36)$$

де порядок перетворення та спрощення залежності (2.36) наведено у додатку Б.2.2.

При цьому

$$\theta = \pi n_x t_\theta / 30; \quad t_\theta = 30\theta / \pi n_x. \quad (2.37)$$

Згідно з рис. 2.10 кут повороту  $\theta$  різальної кромки ножа 5 за час повороту  $t_\theta$  визначається як різниця кутів  $\theta = (\pi/2) - \theta'$ , при цьому з трикутника  $OAB$  згідно відношення його сторін маємо, що

$$\sin \theta' = \Delta / R_p; \quad \theta' = \text{Arc sin}(\Delta / R_p); \quad \theta = (\pi/2) - \text{Arc sin}(\Delta / R_p). \quad (2.38)$$

Позначивши у (2.38) відношення  $\left( \frac{\Delta}{R_p} \right) = z$  та з врахуванням того, що згідно з [85] рівність  $\left( \frac{\pi}{2} - \text{Arc sin } z \right) = \text{Arcctg} \left( \frac{z}{\sqrt{1-z^2}} \right)$  одержано тотожність (2.39), порядок перетворення та спрощення якої наведено у додатку Б.3.2

$$\begin{aligned} \theta &= \left( \frac{\pi}{2} - \text{Arc sin} \frac{\Delta}{R_p} \right) = \left( \frac{\pi}{2} - \text{Arc sin} \frac{\Delta}{0,5d_p + \Delta_r + l_n} \right) = \\ &= \text{Arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}}. \end{aligned} \quad (2.39)$$

Підставивши значення кута  $\theta$  з тотожності (2.39) у рівняння (2.38), а значення часу  $t_\theta$  повертання ножа гичкоріза на кут  $\theta$  з (2.37) у кожен залежність (2.32)-(2.35) одержано

$$S_{5kx} = \frac{30}{\pi n_x} \operatorname{Arcctg} \left( \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) \frac{dL_M}{dt_M} +$$

$$+ (0,5d_r + \Delta_r + l_n) \sin \left[ \operatorname{Arcctg} \left( \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) \right]; \quad (2.40)$$

$$Y_{5kx} = (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \cos \left[ \operatorname{Arcctg} \left( \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) \right]; \quad (2.41)$$

$$S_{4kx} = \frac{30\alpha}{\pi n_x} \left( \frac{dL_M}{dt_M} \right) + (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \times$$

$$\times \sin \left[ \operatorname{Arcctg} \left( \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) - \alpha \right]; \quad (2.42)$$

$$Y_{4kx} = (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \cos \left[ \operatorname{Arcctg} \left( \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) - \alpha \right]. \quad (2.43)$$

Після підстановки значень ординати  $X_{4kx}$  і ординати  $X_{5kx}$  з відповідного рівняння (2.42) і (2.40) у рівняння (2.36) одержано залежність, яка характеризує зміну розмірного значення ординати  $X_k$ , або розмірного значення початкових частин подрібнених стебел гички різальними кромками ножа 4 і 5 під час обертання ротора гичкоріза у проекції на вісь  $Ox$  від конструктивно-кінематичних параметрів гичкозбирального модуля

$$X_k = \frac{30}{\pi n_x} \left( \frac{dL_M}{dt_M} \right) \left( \alpha - \operatorname{Arcctg} \left( \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) \right) +$$

$$\left[ d_p + 2(\Delta_r + l_n) \right] \sin \frac{\alpha}{2} \cos \left[ \left( \operatorname{Arcctg} \left( \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) \right) - \frac{\alpha}{2} \right] \quad (2.44)$$

Згідно з [70] для визначення розмірного значення початкової частини подрібнених стебел гички  $Y_k$  необхідно визначити час  $t_c$  за який різальна кромка ножа 4 набуде значення точки  $4_c$ , яке відповідає значенню абсциси точки  $5_k$ . Для цього абсцису точки  $5_k$ , або значення  $X_{5k}$  прирівнюємо до  $X_{4n}$ .

Тоді згідно з [21] рівняння руху відповідних точок запишемо у вигляді

$$S_{5k} = \frac{dL_M}{dt_M} \frac{\theta}{\omega_n} + (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \sin(\omega_p t_\theta - \alpha); \quad (2.45)$$

$$S_{4n} = \frac{dL_M}{dt_M} t_c + (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \sin(\omega_p t_c - \alpha); \quad Y_{4n} = (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \cos(\omega_p t_c - \alpha). \quad (2.46)$$

$$\text{Згідно з [70, 84, 85]} \quad \sin(\omega_p t_\theta - \alpha) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega_p t_\theta - \alpha)} = \sqrt{R_p^2 - (\Delta)^2} / R_p.$$

Тоді прирівнявши рівняння (2.45) та перше рівняння (2.46) та з врахуванням (2.39) маємо

$$\begin{aligned} & \frac{dL_M}{dt_M} \frac{30}{\pi n_x} \text{Arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} + \sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2} = \\ & = \frac{dL_M}{dt_M} t_c + (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \sin(\omega_p t_\theta - \alpha) \end{aligned} \quad (2.47)$$

З рівняння (2.47) визначаємо час  $t_c$

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{dL_M}{dt_M} \frac{30}{\pi n_x} \text{Arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \frac{dt_M}{dL_M} + \\ &+ \frac{dt_M}{dL_M} \sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2} - \frac{dt_M}{dL_M} (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \sin\left(\frac{\pi n_x}{30} t_\theta - \alpha\right) = \\ &= \frac{30}{\pi n_x} \text{arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} + \\ &+ \frac{dt_M}{dL_M} \left[ \sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2} - (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \sin\left(\frac{\pi n_x}{30} t_\theta - \alpha\right) \right] \end{aligned} \quad (2.48)$$

Розмірне значення початкової частини подрібнених стебел гички  $Y_k$  згідно з рис. 2.10 визначається

$$\begin{aligned}
Y_k = Y_{4c} - Y_{4k} &= (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \cos(\omega_p t_c - \alpha) - (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \cos(\omega_p t_c - \alpha) = \\
&= (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \cos\left(\frac{\pi n_x}{30} t_c - \alpha\right) - \Delta
\end{aligned} \quad , (2.49)$$

при цьому згідно з [84, 85]  $\cos(\omega_p t_\theta - \alpha) = \sqrt{1 - \sin^2(\omega_p t_\theta - \alpha)} = \Delta / R_p$ .

Таким чином одержано систему рівнянь, яка характеризує розмірні значення початкових частин подрібнених стебел гички різальною кромкою ножа під час обертання барабана роторного гичкоріза залежно від його конструктивно-кінематичних параметрів і швидкості руху модуля

$$\left\{ \begin{aligned}
X_k &= \frac{30}{\pi n_x} \left( \frac{dL_M}{dt_M} \right) \left( \alpha - \text{Arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) + \\
&+ [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \sin \frac{\alpha}{2} \cos \left[ \left( \text{Arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}} \right) - \frac{\alpha}{2} \right]; \\
Y_k &= (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \cos\left(\frac{\pi n_x}{30} t_c - \alpha\right) - \Delta; \\
t_c &= \frac{1}{dL_M / dt} \left[ \sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 + (\Delta)^2} - \right. \\
&\left. - (0,5d_p + \Delta_r + l_n) \sin\left(\frac{\pi n_x}{30} t_\theta - \alpha\right) \right] + \\
&+ \frac{30}{\pi n_x} \text{Arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}}
\end{aligned} \right. \quad . (2.50)$$

При початкових умовах, коли значення  $\Delta$  знаходиться у межах  $\Delta = 0,1 \dots 0,15$  (м) (згідно з [70] приймаємо  $\Delta = 0,13$  м) та згідно з [1, 4, 21, 84, 70]  $n_x = 400 \dots 800$  (об/хв),  $D_p = 0,4 \dots 0,8$  (м),  $V_M = 1,4 \dots 1,8$  (м/с),  $\alpha = \pi/2$  (або кількості ножів рівній 4) побудовано графічні залежності зміни розмірних значень початкових частин подрібнених стебел гички різальною кромкою ножа гичкоріза від його основних конструктивно-кінематичних параметрів і швидкості руху модуля, які наведено на рис. 2.11, рис. 2.12. При побудові залежностей значення інших параметрів приймали як їх середнє значення.

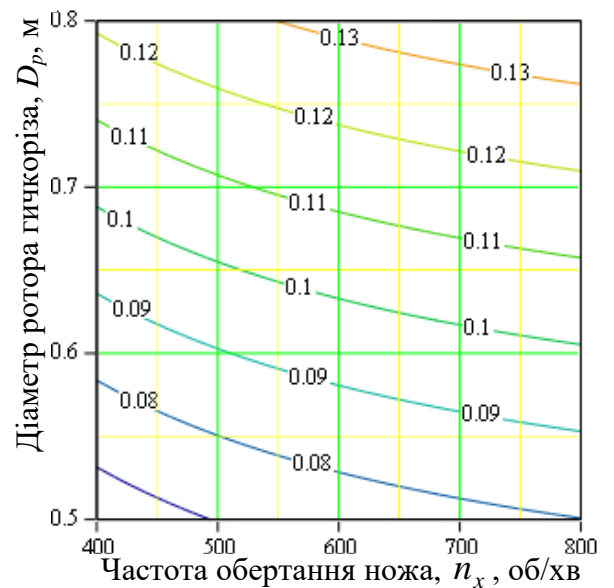
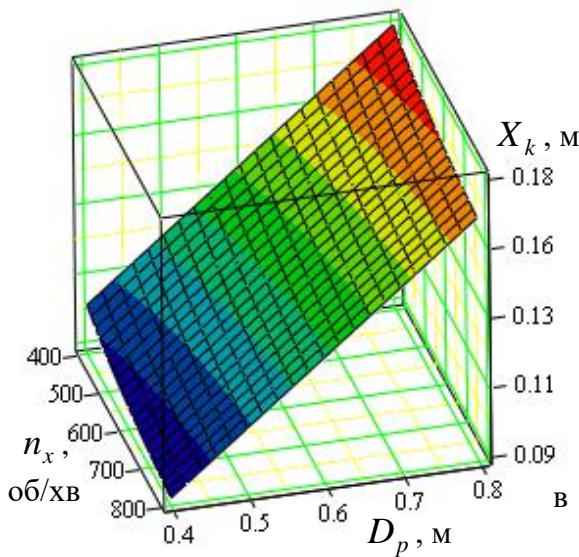
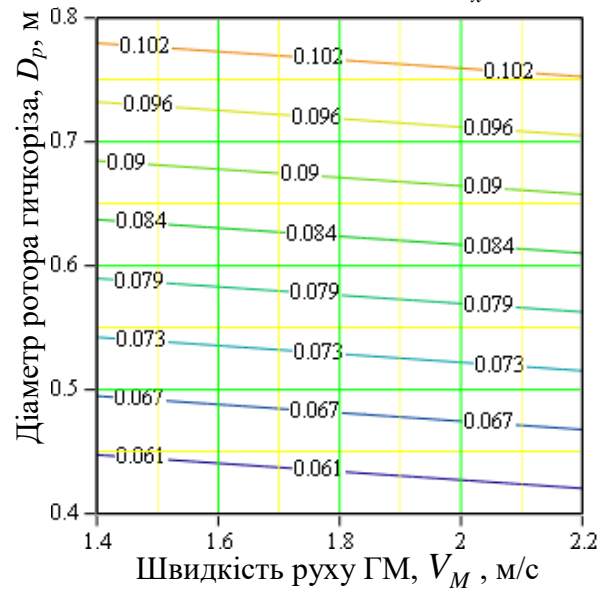
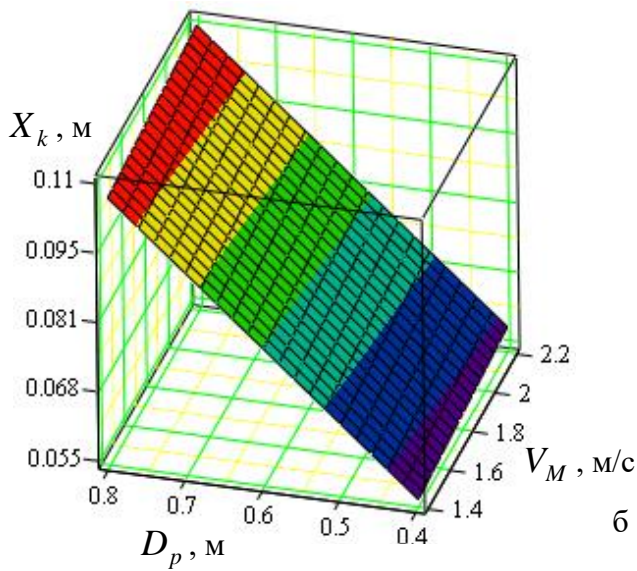
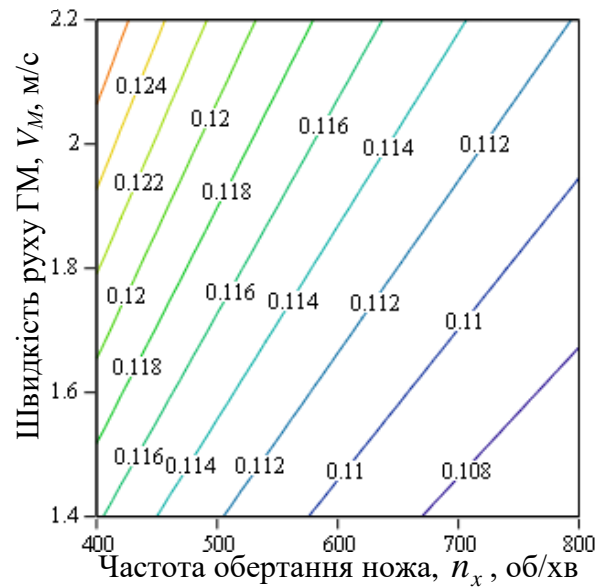
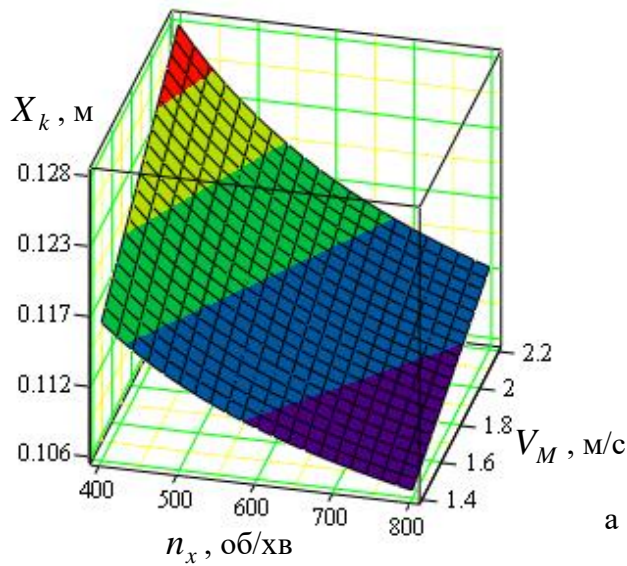


Рисунок. 2.11 – Залежність зміни подрібнених частин стебел гички:

а, б, в – відповідно, як функціонал  $X_k = f(n_x; V_M)$ ,  $X_k = f(V_M; D_p)$ ,

$$X_k = f(n_x; D_p)$$

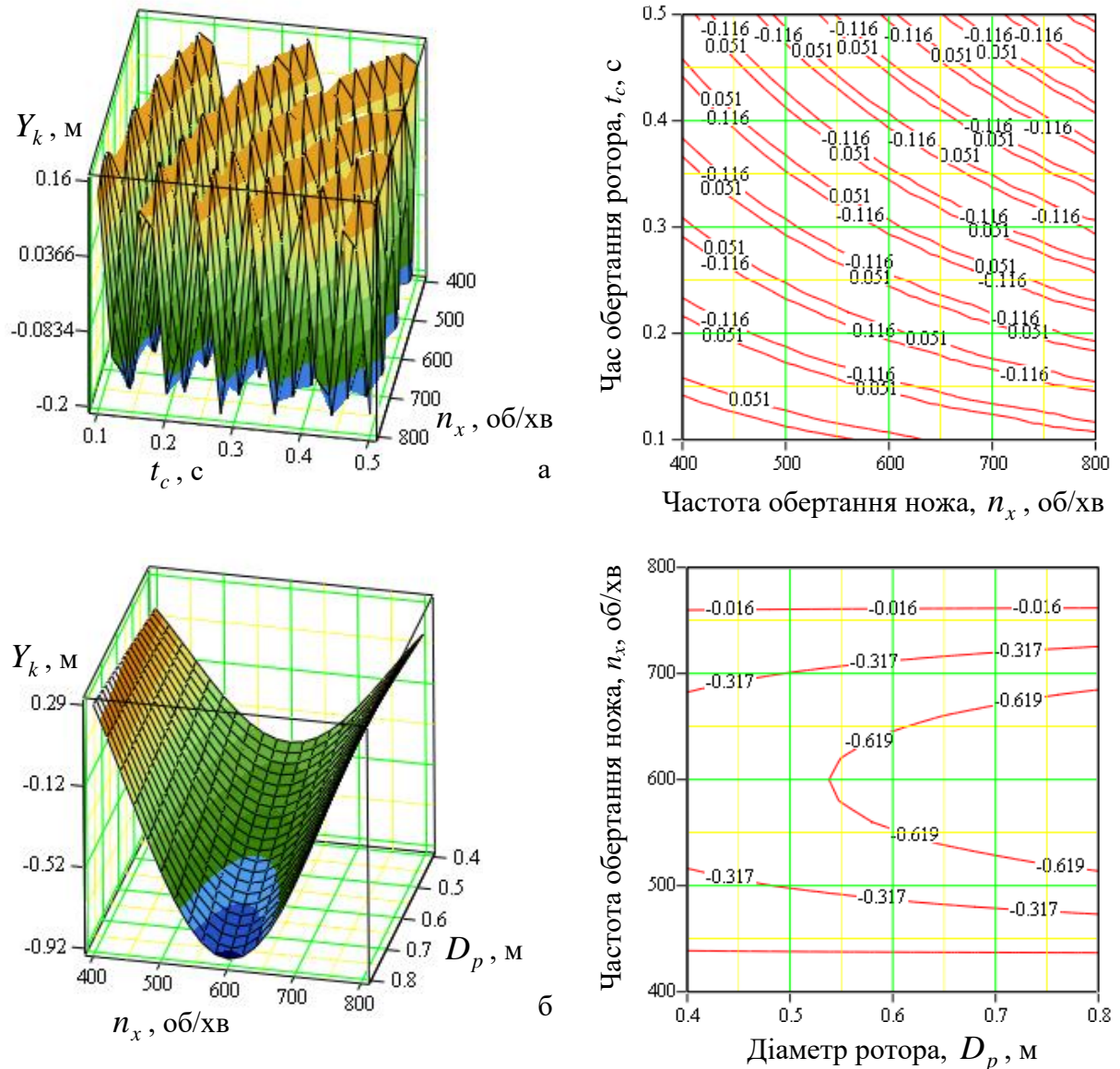


Рисунок 2.12 – Залежність зміни подрібнених частин стебел гички:

а, б – відповідно, як функціонал  $Y_k = f(n_x; t_c)$ ,  $Y_k = f(n_x; D_p)$

Аналіз наведених графічних залежностей (рис. 2.12) показує, що розмірні значення подрібнених частин гички змінюються у доволі широкому діапазоні – їх значення  $X_k$  відносно горизонтальної осі коливаються у межах від 3 до 13 (см), а значення  $Y_k$  відносно вертикалі змінюється у межах (за модулем) від 5 до 16 (см), причому зі збільшенням основних параметрів процесу – швидкості руху  $V_M$ , частоти обертання  $n_x$  та діаметра  $D_p$  ротора гичкоріза розмірні значення  $Y_k$  зростають, що також характерно залежностям, які наведено на рис. 2.13а, б. Зі збільшенням частоти обертання  $n_x$  ротора гичкоріза розмірні значення  $X_k$  зменшуються приблизно на 1,5...2 см, або у середньому на 15...20 %, а

розмірні значення  $Y_k$  зростають приблизно на 3...5 см, або у середньому на 20...25 %, що також характерно залежностям, які наведено на рис. 2.13а,в. Мінімальні значення  $X_k \rightarrow \min$ ,  $Y_k \rightarrow \min$  досягаються за найменших значень  $V_M$  і  $D_p$  та максимального значення  $n_x$ , що не завжди є раціональним за багатьма негативними наслідками, які виникають у таких випадках, наприклад, зменшення  $V_M$  призводить до зменшення продуктивності гичкозбирального модуля, мінімальне значення діаметра ротора  $D_p$  гичкоріза обмежене умовою не намотування рослинних домішок на його поверхню [1, 70], а максимальні значення частоти обертання ротора  $n_x$  призводять до підвищених вібраційних процесів і навантаження на рамну конструкцію модуля.

У цьому випадку мінімальні значення  $X_k \rightarrow \min$ ,  $Y_k \rightarrow \min$  можуть досягатися за рахунок збільшення кількості ножів, які розташовані у коловому напрямку, що визначається кутом  $\alpha$ , але їх збільшення від 4 до 6 значно збільшує (на 25 % [1]) енергомісткість процесу зрізання гички.

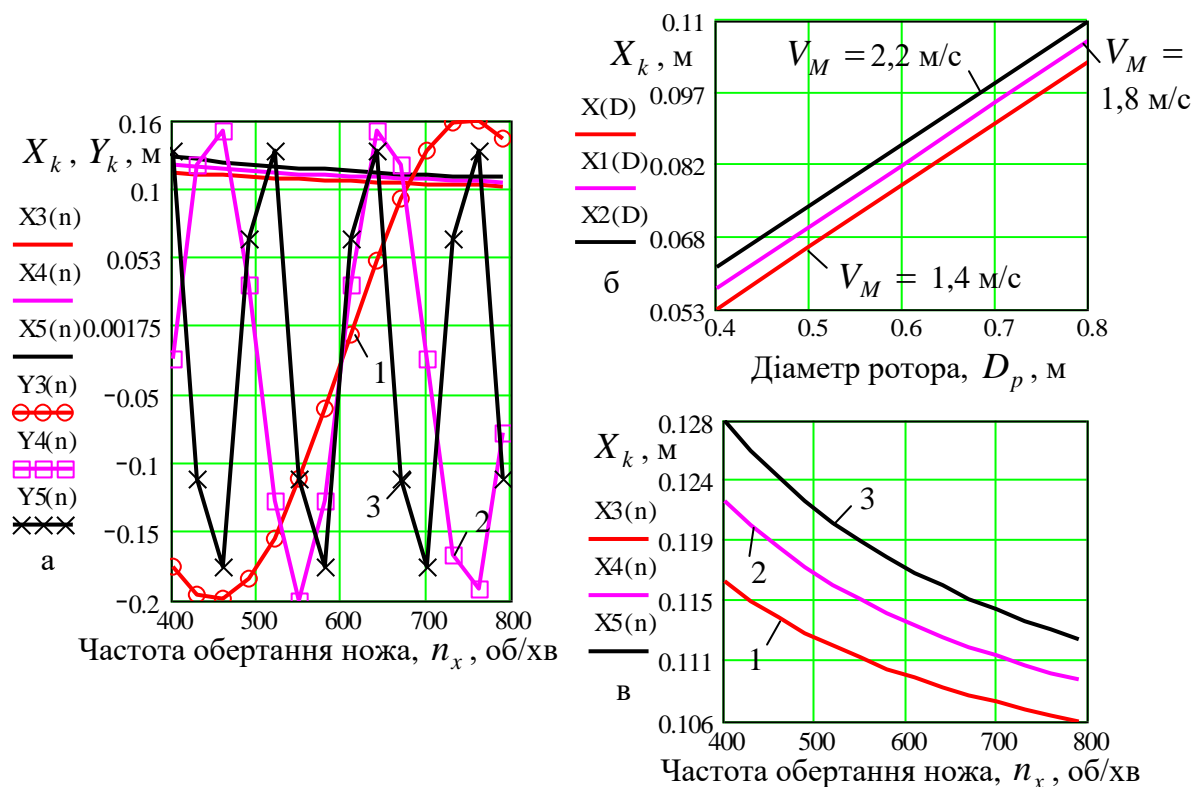


Рисунок 2.13 – Залежність зміни подрібнених частин стебел гички:

а, в – як функціонал  $X_k; Y_k = f(n_x)$ , 1, 2, 3 –  $D_p = 0,4; 0,6; 0,8$  (м);

$$\delta - X_k = f(D_p)$$



Констатуючи наведені залежності, можна стверджувати, що зрізані та подрібнені частини стебел гички у вертикальному напрямку є більшими у середньому на 20-40 % ніж у горизонтальному напрямку у вказаному діапазоні зміни параметрів. Домінуючий вплив на величину  $X_k$  і  $Y_k$  має кількість ножів, при цьому остаточний вибір кількості ножів, або кута  $\alpha$ , необхідно проводити з урахуванням результатів експериментальних досліджень. У тому випадку, коли величина зрізаної гички чотирма ножами задовольнить умову її подрібнення та розташування в міжрядді коренеплодів (тобто величина частинок гички дозволить рівномірно укласти її між рядками коренеплодів), тоді такої кількості ножів в одній площині обертання ротора буде достатньо. У випадку невиконання даної умови кількість ножів необхідно збільшити до шести.

З аналізу рис. 2.13 можна констатувати, що збільшення поступальної швидкості  $V_M$  ГМ від 1,4 до 2,2 м/с призводить до збільшення абсолютної величини  $X_k$  і  $Y_k$  у середньому на 8...13 %, що не є суттєвим. При цьому необхідно відзначити, що  $V_M$  в основному залежить від режиму роботи коренезбиральної машини, з якою повинен агрегатуватись гичкозрізувальний апарат. Збільшення радіуса розташування кромки ножів від 0,4 до 0,8 м спричиняє зростання  $X_k$  і  $Y_k$  у середньому на 5...8 см.

Суттєвий вплив на значення  $Y_k$  має величина  $\Delta$  розташування першої частини щитка відносно поверхні ґрунту. Даний параметр найбільш просто регулювати при проведенні експериментальних досліджень.

Таким чином для проведення експериментальних досліджень вибираємо наступні межі зміни основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів модуля:

- частота обертання ротора гичкоріза  $n_x = 500...900$  (об/хв);
- діаметр ротора гичкоріза  $D_p = 0,55...0,75$  (м);
- поступальна швидкість руху гичкозбирального модуля  $V_M = 1,4...2,2$  (м/с).

### 2.3. Математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі

Показники якості зрізування гички коренеплодів ножами роторного гичкоріза та енергетичні показники переміщення зрізаної гички в більшості випадків визначаються вибором профілю дугоподібного кожуха, або адекватного профілю направляючого каналу.

Для математичного моделювання профілю направляючого каналу гичкозбирального модуля розглянемо складену розрахункову схему, яку наведено на рис. 2.15.

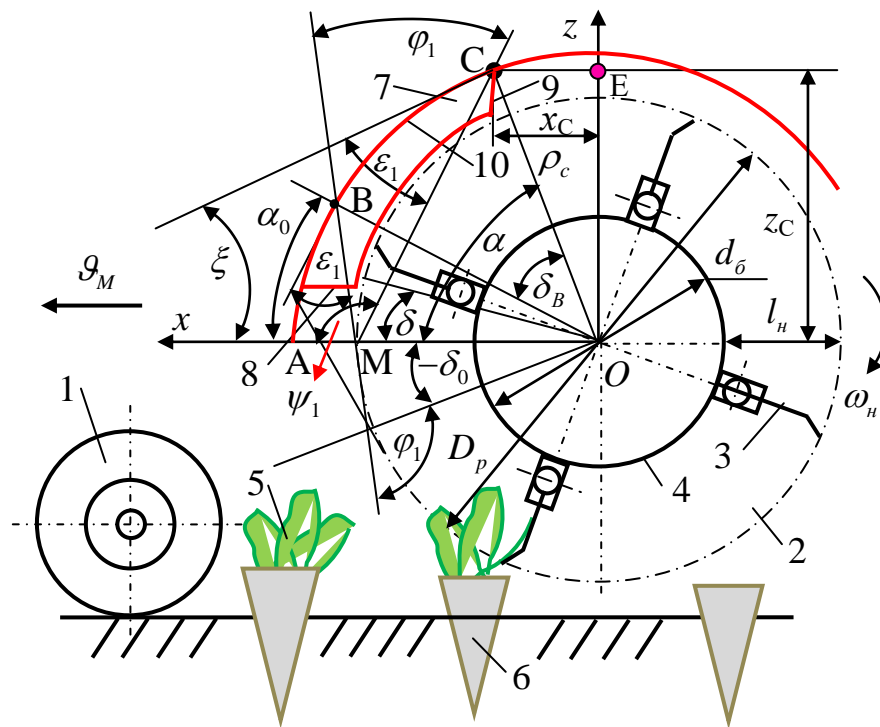


Рисунок 2.15 – Схема до розрахунку профілю направляючого каналу:  
 1 – опорне колесо; 2 – роторний гичкоріз; 3 – Г-подібний ніж; 4 – барабан ротора; 5 – гичка коренеплодів; 6 – коренеплід; 7 – направляючий канал; 8, 9 – вхідна та вихідна горловина відповідно; 10 – внутрішня бокова поверхня профілю направляючого каналу

Відомо, що гичка 5 (рис. 2.15) коренеплодів 6 зрізується ножами 3 роторного гичкоріза 2 на куті його повороту, який близький до кута рівного  $\pi/2$  [65, 84], після чого вона за рахунок тиску повітряного потоку, який створений

за рахунок обертання ножів роторного гичкоріза з кутовою швидкістю  $\omega_n$ , переміщується до вхідної горловини 8 та співударяється з поверхню направляючого кожуха в різних її місцях (точках) по довжині профілю внутрішньої поверхні 10 направляючого каналу 7.

Тому необхідно, щоб по всій довжині профілю внутрішньої поверхні направляючого каналу виконувалася умова, яка забезпечує гарантований післяударний рух гички та її вивантаження через вихідний отвір 9 (точка С) направляючого каналу до фартуха (на схемі фартух не показано).

Рівняння профілю направляючого каналу находимо з умови, за якої мінімальна за геометричними розмірами зрізана ножем гичка (або гичка мінімальної маси) сходила з поверхні ножа при повороті роторного гичкоріза на заданий кут повороту, а вся наступна гичка більших геометричних розмірів (або гичка більшої маси) – при повороті роторного гичкоріза на кут повороту більший за заданий на мінімальне значення.

Зрізана ножами ротора гичка з доударною швидкістю польоту  $\mathcal{G}_0$ , співударяючись з поверхнею направляючого каналу, втрачає частину своєї кінетичної енергії згідно з теорією удару [126] та набуває післяударну швидкість руху  $\mathcal{G}_n$ , яка визначається за формулою

$$\mathcal{G}_n = \frac{dL_B}{dt} = \mathcal{G}_0 [\cos \varepsilon_1 - (1 - k_g) f_m \sin \varepsilon_1], \quad (2.51)$$

де  $L_B$  – переміщення зрізаної частинки гички, м;

$\mathcal{G}_0$  – швидкість польоту зрізаної гички до співудару з поверхнею направляючого каналу, м/с;

$\varepsilon_1$  – кут між напрямком вектора доударної швидкості  $\mathcal{G}_0$  та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару, град.

$k_g$  – коефіцієнт відновлення до ударної швидкості;

$f_m$  – коефіцієнт тертя гички по матеріалу внутрішньої поверхні направляючого каналу.

Приймаючи час удару гички безкінцево малим [126] за якого  $k_g = 0$  з рівняння (2.51) визначаємо значення кута  $\varepsilon_1$ , за якого можливий рух гички після її спіудару з поверхнею направляючого каналу, при цьому

$$\varepsilon_1 < (\pi / 2) - \varphi_m, \quad (2.52)$$

де  $\varphi_m$  – кут тертя гички по матеріалу направляючого каналу, рад.

У разі неоптимального вибору профілю направляючого каналу частина зрізаної ножами роторного гичкоріза гички може, не досягаючи вихідної горловини, розкидатися по поверхні поля у захисну зону рядка коренеплодів.

Цей недолік при виконанні умови (2.52) усувається шляхом збільшення кутової швидкості  $\omega_n$  ножів і, як наслідок, швидкості  $\mathcal{Q}_0$ . Проте на практиці кутову швидкість  $\omega_n$  ножів встановлюють з умови забезпечення якісного безпідпирного зрізування гички. Будь-яке ж збільшення  $\omega_n$  призводить до зростання споживаної роторним гичкорізом потужності на опір повітря та надання додаткової кінетичної енергії гичці. Тому нормальне збирання гички повинно досягатися не за рахунок збільшення оборотів ножа, а обґрунтуванням профілю направляючого каналу.

Для подальшого аналізу розглянемо процес руху гички по поверхні направляючого каналу та визначимо сили, які діють на частинку гички масою  $m_2$  згідно з наведеним рис. 2.16.

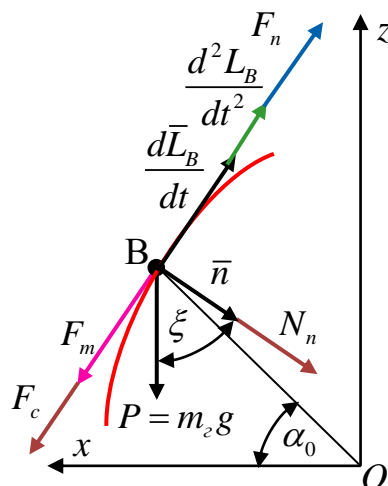


Рисунок 2.16 – Схема сил, які діють на частинку гички під час її руху

При цьому на частинку гички масою  $m_2$  діють такі сили: сила тяжіння частинки маси гички  $P = m_2 g$ , Н; сила тертя гички по внутрішній поверхні направляючого каналу  $F_m$ , Н; сила нормальної реакції  $N_n$ , Н; сила дії повітряного потоку  $F_n$ , Н; сила опору повітряного середовища  $F_c$ , Н.

Складемо диференціальні рівняння руху частинки зрізаної гички в формі рівнянь Ейлера [127] для загального випадку:

$$\left. \begin{aligned} m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} &= F_n - F_m - F_c - m_2 g \sin \xi; \\ m_2 \rho_k \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 &= N_n + m_2 g \cos \xi \end{aligned} \right\}, \quad (2.53)$$

де  $\mathcal{G}$  – швидкість руху частинки гички, м/с;

$d\mathcal{G}/dt$  – прискорення руху частинки гички, м/с<sup>2</sup>;

$\xi$  – кут між дотичною до профілю направляючого каналу та віссю  $Ox$ , град.;

$\rho_k$  – кривина кривої профілю направляючого каналу.

При цьому:

- кривина кривої  $\rho_k$  профілю направляючого каналу визначається за формулою [128]

$$\rho_k = \frac{|\ddot{x}\dot{z} - \dot{x}\ddot{z}|}{\sqrt{(\dot{x}^2 + \dot{z}^2)^2}} = \frac{|\ddot{x}\dot{z} - \dot{x}\ddot{z}|}{(\dot{x}^2 + \dot{z}^2)\sqrt{(\dot{x}^2 + \dot{z}^2)}}; \quad (2.54)$$

- сила дії повітряного потоку  $F_n$  визначається за формулою [129]

$$F_n = 0,5k_o S_2 \gamma_n \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right), \quad (2.55)$$

де  $k_o$  – коефіцієнт аеродинамічного опору;

$S_2$  – площа перерізу Міделя, або площа січення гички, м<sup>2</sup>;

$\gamma_n$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$\mathcal{G}_{n.n}$  – швидкість повітряного потоку, м/с;

- сила опору повітряного середовища  $F_c$  визначається за формулою [130]

$$F_c = 0,5k_o S_z \gamma_n \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2. \quad (2.56)$$

Приймаємо умову, що дія сили повітряного потоку  $F_n$  направлена в сторону переміщення частинки гички, тобто  $F_n$  є позитивною силою.

Тоді з врахуванням швидкості витання частинки  $\mathcal{G}_g$  (м/с), яка визначається за формулою  $\mathcal{G}_g = \sqrt{2m_2 g / k_o S_z}$  [131] залежність (2.55) набуде вигляду

$$F_n = m_2 g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \mathcal{G}_g^2, \quad (2.57)$$

або

$$F_n = \frac{k_o S_z}{2} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right), \quad (2.57^*)$$

Силу нормальної реакції  $N_n$  визначимо з другого рівняння системи (2.53), враховуючи, що  $F_m = f_m N_n$ . При цьому отримаємо:

$$N_n = m_2 k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \cos \xi. \quad (2.58)$$

$$F_m = m_2 f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right). \quad (2.59)$$

Тоді підставивши (2.55) – (2.59) у першу залежність системи (2.53), отримаємо диференціальне рівняння руху частинки гички, зрізаної Г-подібними ножами роторного гичкоріза у направляючому каналі, де порядок перетворення та спрощення залежності (2.50) наведено у додатку Б.4.3

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{k_o S_z \gamma_n}{2m_2} g \left( \mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \frac{dL_B}{dt} \right) \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- f_m \left[ k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \left( \cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right], \quad (2.60)$$

або

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{k_o S_e \gamma_n}{2m_2} g(\mathcal{G}_{n,n} - 2\mathcal{G}_{n,n}\mathcal{G}) \operatorname{sign}(\mathcal{G}_{n,n} - \mathcal{G}) - f_m \left[ k_o \mathcal{G}^2 - g \left( \cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right]. \quad (2.61)$$

Розроблене диференціальне рівняння (2.61) є вихідним положенням для подальшої розробки профілю внутрішньої поверхні направляючого каналу.

Відомо, що залежно від умов і характеру впливу частинок матеріалу на поверхню дотику та їх руху можуть бути змодельовані наступні види поверхонь, по яких транспортується матеріал [83]: рівних післяударних швидкостей; рівних швидкостей руху матеріалу; постійної кривизни; рівного тиску; вільного польоту матеріалу, рівноуповільнених швидкостей, а також у вигляді пневмотранспортера з нагнітаючим робочим пристроєм.

У нашому випадку для переміщення зрізаної і подрібненої гички 5 (рис. 2.15) коренеплодів 6 по внутрішній боковій поверхні 10 у задану точку С, або вивантаження гички через вихідну горловину 9 направляючого каналу 7 найбільш прийнятним є профіль поверхні направляючого каналу за принципом рівних післяударних швидкостей і рівних швидкостей руху зрізаної гички [132].

Дані профілі дозволяють мати післяударну швидкість частинки в будь-якій точці на поверхні направляючого каналу, рівну швидкості частинок, що рухаються по поверхні та пройшли певний відрізок шляху. Таким чином, незалежно від кута сходження зрізаної гички коренеплодів з Г-подібних ножів роторного гичкоріза в будь-якій точці направляючого каналу забезпечується сталість швидкостей всіх частинок гички.

Такий профіль направляючого каналу за мінімальної висоти і, відповідно, мінімізованої матеріаломісткості забезпечує надійне транспортування зрізаної маси гички і її вивантаження через вихідну горловину до фартуха.

На першому етапі розглянемо розробку профілю направляючого каналу за принципом рівних післяударних швидкостей.

Приймаємо умову руху зрізаної гички згідно з (2.52) та те, що гичка 5 (рис. 2.15) коренеплодів 6 зрізується ножами 3 роторного гичкоріза 2 на куті його повороту, який близький до кута рівного  $\pi/2$ . При цьому зрізана гичка має різну довжину різання та під час свого переміщення до вихідної горловини

співударяється з поверхнею направляючого каналу в різних точках, які належать площині його профілю по всій довжині.

Рівняння профілю направляючого каналу за принципом рівних післяударних швидкостей визначимо із умови, за якої кут профілю  $\varepsilon_1$  (рис. 2.15) є постійним по всій довжині профілю та менший за граничний [133].

Згідно з рис. 2.15 маємо такі співвідношення:

$$\begin{cases} \psi_1 = \pi - \varepsilon_1 - \xi = \varphi_1 + \delta; \\ x = 0,5D_p \cos \delta + \frac{z - 0,5d_\delta + l_n}{\operatorname{tg}(\varphi_1 + \delta)}, \end{cases} \quad (2.62)$$

де  $\varphi_1$  – кут між напрямком вильоту гички з Г-подібного ножа та діаметром роторного гичкоріза  $D_p$ , град.;

$\delta$  – кут повороту Г-подібного ножа, або ротора гичкоріза, град.;

$d_\delta$  – діаметр барабана роторного гичкоріза, м;

$l_n$  – довжина Г-подібного ножа, м.

$$\operatorname{tg} \xi = -dz / dx. \quad (2.63)$$

Враховуючи першу рівність (2.62) формула (2.63) набуде вигляду

$$dz / dx = \operatorname{tg}(\varepsilon_1 + \varphi_1 + \delta). \quad (2.64)$$

Запишемо диференціальне рівняння (2.34) у полярних координатах, при цьому

$$x = \rho_c \cos \alpha; \quad z = \rho_c \sin \alpha, \quad (2.65)$$

де  $\rho_c = OC$  – радіус-вектор точки  $C$ , м;

$\alpha$  – кут між радіусом-вектором точки  $C$  та віссю  $Ox$ , град.

Тоді, враховуючи (2.64) і (2.65) друга рівність (2.62) після перетворення матиме вигляд

$$\varphi_1 + \delta = \alpha + \operatorname{arcsin} \left( \frac{(d_\delta + l_n) \sin \varphi_1}{2\rho_c} \right), \quad (2.66)$$



а диференціальне рівняння (2.64) із врахуванням отриманої залежності (2.66) та після проведення математичного перетворення і спрощення запишеться у вигляді

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\left(1 + \frac{1}{\rho_c} \frac{d\rho_c}{d\alpha} \operatorname{tg}\alpha\right)}{\frac{1}{\rho_c} \frac{d\rho_c}{d\alpha} \operatorname{tg}\alpha}. \quad (2.67)$$

Із врахуванням залежностей (2.64) – (2.66) та після перетворення і спрощення рівняння (2.67), отримаємо диференціальне рівняння з роздільними перемінними, або

$$\frac{d\rho_c}{d\alpha} = \rho_c \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{(0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1}}. \quad (2.68)$$

Інтегруємо диференціальне рівняння (2.68) у межах границь інтегрування:

- лівої частини від  $\alpha_0$  до  $\alpha$ , а
- правої частини від  $MC = \rho_{c_0}$  до  $\rho$ .

При цьому перетворимо вираз (2.68) таким чином

$$d\rho_c = \rho_c \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{(0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1}} d\alpha, \quad (2.69)$$

або

$$d\alpha = \frac{\left[ (0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}. \quad (2.69^*)$$

Після інтегрування правої та лівої частини виразу (2.69\*), отримаємо рівняння профілю кривини поверхні направляючого каналу в полярних координатах, де порядок перетворення та спрощення рівняння (2.70) наведено у додатку Б.5.3

$$\alpha = \alpha_0 + tg \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\delta} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1 - (0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1 tg \varepsilon_1}}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - (0,5d_{\delta} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1 - (0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1}} \right| +$$

$$+ \arccos \frac{(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1}{\rho_c} - \arccos \frac{(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1}{\rho_{c0}} \quad (2.70)$$

Для спрощення рівняння (2.70) позначимо у ньому складову виразу  $(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1$  через  $\Theta$ , тобто  $(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1 = \Theta$ .

Тоді рівняння (2.70) матиме вигляд

$$\alpha = \alpha_0 + tg \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2 - \Theta tg \varepsilon_1}}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2 - \Theta}} \right| + \arccos \frac{\Theta}{\rho_c} - \arccos \frac{\Theta}{\rho_{c0}} \quad (2.71)$$

У рівняння (2.71) невизначеним є лише кут профілю поверхні  $\varepsilon_1$  направляючого каналу. Цей кут  $\varepsilon_1$  регламентує положення за якого частинки зрізаної гички масою  $m_2$ , які знаходяться в найгіршому стані при надходженні до внутрішньої поверхні направляючого каналу, як до поверхні вхідної горловини з параметрами  $\rho_{c0}$ ,  $\alpha_0$ , так і до поверхні вихідної горловини з параметрами  $\rho_c$ ,  $\alpha$  завжди мали умову, за якої  $\mathcal{G} > 0$  та  $N_n > 0$ .

Визначення кута профілю поверхні  $\varepsilon_1$  направляючого каналу проведемо наступним чином. Запишемо рівняння прискорення руху частинки зрізаної гички масою  $m_2$  у полярних координатах

$$\frac{d^2 \rho_c}{dt^2} \cos \alpha = \frac{k_o S_2 \gamma_n}{2m_2} g (\mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \rho_c \cos \alpha) \operatorname{sign}(\mathcal{G}_{n.n} - \rho_c \cos \alpha) -$$

$$- f_m \left[ k_o \rho_c^2 \cos^2 \alpha - g \left( \cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right] \quad (2.72)$$

Враховуючи (2.71) та після перетворення і спрощення, отримаємо

$$\frac{d^2 \rho_c}{dt^2} = \left( \frac{d \rho_c}{dt} \right)^2 \frac{\Theta (\Theta + tg \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - f_m \rho_c^2 tg \varepsilon_1)}{\rho_c \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} (\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta tg \varepsilon_1)} - \frac{g}{\rho_c (\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta tg \varepsilon_1)} \times$$

$$\times \left[ (\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta tg \varepsilon_1) (\sin \alpha + f \cos \alpha) - (\Theta + tg \varepsilon_1 \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2}) (\sin \alpha - \cos \alpha) \right] \quad (2.73)$$

Необхідно зазначити, що кут  $\alpha$ , або кут між радіусом-вектором точки  $C$  та віссю  $Ox$  визначається із рівняння (2.71).

При цьому початковими вихідними умовами є

$$\left. \begin{aligned} \rho_{c0} &= R_p + b_k + \Delta_{min}; \quad \alpha_0 = \varphi_1 + \delta_0 \arcsin(\Theta / \rho_{c0}); \\ \delta_0 &\leq 0; \quad \dot{\rho}_{co} = \mathcal{G}_n \left[ (\rho_c^2 - \Theta^2 - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1) / \rho_{co} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon_1} \right] (\cos \varepsilon_1 - f_m \sin \varepsilon_1) \end{aligned} \right\}, \quad (2.74)$$

де  $b_k$  – найбільша ширина направляючого каналу, м;

$\Delta_{min}$  – мінімально допустимий зазор між зовнішньою поверхнею направляючого каналу та твірною роторного гичкоріза, м;

$\delta_0$  – кут повороту барабана роторного гичкоріза за якого відбувається сходження зрізаної гички з  $\Gamma$ -подібного ножа, град.

Згідно з поставленою задачею та умовою, за якої зрізана та подрібнена гичка 5 (рис. 2.15) коренеплодів 6 повинна безперешкодно переміститися в точку  $C$ , де гичка гарантовано буде вивантажуватися через вихідну горловину 9 направляючого каналу 7.

При цьому в точці  $C$  нормальна реакція  $N_{nC}$  внутрішньої поверхні 10 профілю направляючого каналу 7 може стрімко наближатися до нуля, або  $N_{nC} \cong 0$ .

За таких обставин, відповідно, і нормальний тиск  $P_{nC}$  в цій точці  $C$  також буде адекватно наближатися до нуля, або  $P_{nC} \cong 0$ .

Але наявність дії нормального тиску  $P_{n(A-C)}$  на проміжку шляху від точки  $A$  до точки  $C$ , або на всьому шляху переміщення зрізаної та подрібненої гички коренеплодів до точки  $C$  гарантує умову її досягання цієї точки.

Ця умова забезпечується тільки тоді, коли нормальна реакція  $N_{n(A-C)}$  на проміжку шляху від точки  $A$  до точки  $C$  буде більше нуля, або

$$N_n = m_z k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_z g \cos \xi > 0, \quad (2.75)$$

при цьому також повинна виконуватися умова

$$\left(\frac{d\rho_c}{dt}\right)^2 \geq \frac{g\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} \left(\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1\right)^2}{\rho_c^3 v \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon_1)} \times \left[ \left(\Theta + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2}\right) \sin \alpha - \left(\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1\right) \cos \alpha \right]. \quad (2.76)$$

Визначимо координати точки  $C$ . При цьому координати точки  $C$  визначаються відстанями  $x_C$  та  $z_C$ , які можуть бути знайдені із взаємного розташування роторного гичкоріза, зовнішньої поверхні профілю направляючого каналу та фартуха.

Згідно з прямокутним трикутником  $OCE$  маємо:

$$\begin{aligned} x_C &= \rho_c \sin(90 - \alpha) = \\ &= \rho_c \cos \alpha = \rho_c \alpha_0 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta} \right| + \arccos \frac{\Theta}{\rho_c} - \arccos \frac{\Theta}{\rho_{c0}}; \\ z_C &= \rho_c \cos(90 - \alpha) = \\ &= \rho_c \sin \alpha = \rho_c \alpha_0 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta} \right| + \arccos \frac{\Theta}{\rho_c} - \arccos \frac{\Theta}{\rho_{c0}} \end{aligned} \quad (2.77)$$

На другому етапі розглянемо розробку профілю направляючого каналу за принципом рівних швидкостей.

Така форма профілю дозволяє мати післяударну швидкість руху частинки зрізаної та подрібненої гички масою  $m_c$  в будь-якій точці, яка належить внутрішній поверхні направляючого каналу, рівнозначну швидкості руху частинки гички, яка переміщується в направляючому каналі, проходячи при цьому деякий шлях.

За такої умови в будь-якій точці поверхні направляючого каналу забезпечується постійна величина швидкостей руху всіх  $i$ -тих частинок зрізаної гички масою  $m_{ci}$  незалежно від кута сходження гички з  $\Gamma$ -подібного ножа роторного гичкоріза. Застосування даного профілю направляючого каналу забезпечує гарантоване переміщення зрізаної та подрібненої гички  $\Gamma$ -подібними ножами роторного гичкоріза та її вивантаження через вихідну горловину за мінімальної висоти профілю та металомісткості направляючого каналу [133].

Форму профілю направляючого каналу визначимо із умови рівності швидкостей руху зрізаної і подрібненої гички 5 (рис. 2.15) коренеплодів 6, яка переміщується по внутрішній частині 10 направляючого каналу 7 та післяударної швидкості частинки зрізаної гички в будь-якій точці  $C$ , яка належить профілю кривої довжиною  $AC$ .

Згідно з (2.51) та прийнятої умови, що коефіцієнт відновлення доударної швидкості дорівнює нулю, або  $k_g = 0$ , післяударна швидкість руху частинки зрізаної гички коренеплодів для абсолютно непружного тіла буде визначатися за формулою

$$\mathcal{G}_n = \mathcal{G}_n (\cos \varepsilon_1 - f_m \sin \varepsilon_1), \quad (2.78)$$

де  $\mathcal{G}_n$  – колова швидкість руху  $\Gamma$ -подібного ножа, за якої відбувається сходження зрізаної частинки гички з його ріжучої поверхні, м/с.

Запишемо в (2.51) значення післяударної швидкості  $\mathcal{G}_n$  частинки зрізаної гички в будь-якій точці  $C$ , яка належить профілю кривої довжиною  $AC$  та її першої похідної  $\frac{d\mathcal{G}_n}{dt}$ , які визначимо з залежності (2.78).

При цьому маємо такі співвідношення:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \xi = \frac{-\frac{dz}{dt}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}}; \quad \cos \xi = \left( \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \right)^{-1}; \\ k_g = \sqrt[3]{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}; \quad \frac{d\mathcal{G}_n}{dt} = \frac{-\mathcal{G}(d\mathcal{G})}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dx} \leq 0 \end{array} \right. \quad (2.79)$$

Визначимо в (2.79) значення  $z'$ , або швидкість переміщення частинки зрізаної гички відносно осі  $Oz$  та другої похідної  $z''$ , або прискорення руху частинки гички відносно осі  $Oz$

$$z' = \frac{dz}{dx}; \quad z'' = \frac{d^2z}{dx^2}. \quad (2.80)$$

Враховуючи (2.73) і (2.79), (2.80) та після перетворення і спрощення залежності, отримаємо диференціальне рівняння профілю направляючого каналу, який встановлено за принципом рівних швидкостей

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{-\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \left[ g \left( f_m + \frac{dz}{dt} \right) + \mathcal{G} \left( \sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \eta + 0,5D_p \sin \varphi_1 \lambda \right) \mu \right]}{(x^2 + z^2) \sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} [\mathcal{G}(f_m \mathcal{G} + \mu)]}, \quad (2.81)$$

$$\text{де } \eta = z - x \frac{dz}{dt}; \quad \lambda = x + z \frac{dz}{dt};$$

$$\mu = \frac{\mathcal{G}_H \left[ \begin{array}{l} f_m \left( \sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left( x + z \frac{dz}{dt} \right) - \right) \\ -0,5D_p \sin \varphi_1 \eta \\ - \left( \sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left( z - x \frac{dz}{dt} \right) + 0,5D_p \sin \varphi_1 \left( x + z \frac{dz}{dt} \right) \right) \end{array} \right]}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} (x^2 + z^2)};$$

$$\mathcal{G} = \frac{\mathcal{G}_H \left[ \begin{array}{l} f_m \left( \sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left( x + z \frac{dz}{dt} \right) - \right) \\ -0,5D_p \sin \varphi_1 \eta \\ + \left( \sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left( z - x \frac{dz}{dt} \right) + 0,5D_p \sin \varphi_1 \left( x + z \frac{dz}{dt} \right) \right) \end{array} \right]}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} (x^2 + z^2)}.$$

Отримане диференціальне рівняння (2.81) буде забезпечувати рівність післяударної швидкості та швидкості руху частинки зрізаної гички масою  $m_2$  в будь-якій точці профілю внутрішньої поверхні направляючого кожуха незалежно від того, у якій точці частинки гички співударялися з цією поверхнею.

Таким чином, отримані диференціальні рівняння (2.73) та (2.81) є вихідними рівняннями, або вихідними початковими даними, рішення яких відносно заданих конструктивно-кінематичних параметрів роторного гичкоріза та технологічних параметрів гичкозбирального модуля дозволить визначити кутові параметри профілю направляючого каналу.

Диференціальне рівняння (2.73) профілю направляючого каналу вирішується за початкових умов згідно з рівнянням (2.74). При цьому в диференціальному рівнянні (2.73) необхідно визначити раціональний кут  $\varepsilon_{1рац.}$  за якого забезпечується переміщення зрізаної частинки гички по внутрішній боковій поверхні профілю направляючого каналу до його вихідної горловини в точку С.

Диференціальне рівняння (2.81) вирішується за початкових умов  $x_0$ ,  $z_0$  і  $dz_0/dt$  та дотримання на кожному кроці інтегрування умови (2.75), за якої нормальна реакція завжди повинна бути більше нуля  $N_n \geq 0$ , або умови безвідривного руху частинок гички по поверхні профілю направляючого каналу.

Шляхом підстановки конструктивних і кінематичних параметрів роторного гичкоріза в розроблені диференціальні рівняння (2.73) і (2.81) та їх рішення методом Рунге-Кута за допомогою програмного забезпечення «Mathematica» для персонального комп'ютера було визначено кутові параметри профілю направляючого каналу.

У результаті рішення диференціальних рівнянь профілю направляючого каналу було встановлено, що за вхідних даних параметрів роторного гичкоріза, а саме:

- діаметра роторного гичкоріза  $D_p = 0,35 \dots 0,4$  м;
- частоти обертання роторного гичкоріза  $\omega = 62,8$  рад/с (колової швидкості руху Г-подібного ножа  $\mathcal{G}_n = 11,0 \dots 12,6$  м/с);
- мінімально допустимого зазору між зовнішньою поверхнею направляючого каналу та твірною роторного гичкоріза  $\Delta_{min} = 0,045$  м;

- коефіцієнта тертя  $f_m = 0,95$ ;
  - кута  $\varphi_1 = 85$  град, або кута між напрямком вильоту зрізаної гички з Г-подібного ножа та біжучим радіусом роторного гичкоріза  $R_p$ ;
  - кута повороту Г-подібного ножа, або роторного гичкоріза ( $-\delta_0 = 8$  град.),
- раціональний кут між напрямком вектора доударної швидкості  $\mathcal{Q}_0$  та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару знаходиться в діапазоні  $\varepsilon_{1рац.} = 30...35$  град.

За значення кута  $\varepsilon_{1рац.} = 30...35$  град. початкова швидкість руху  $\mathcal{Q}_0$  зрізаної частинки гички знаходиться у діапазоні  $\mathcal{Q}_0 = 9,5...10,5$  м/с, а на виході з вихідної горловини  $\mathcal{Q}_c = 2,5...3,5$  м/с, при цьому час переміщення гички по направляючому каналу становить  $0,15...0,2$  с.

За значення кута  $\varepsilon_1$  більше ніж  $30...35$  град. зрізана частинка гички буде відриватися від поверхні направляючого каналу перш ніж переміститися до точки  $C$ . При цьому можливий випадок коли частинка гички не буде досягати свого переміщення до вихідної горловини направляючого каналу.

Форма профілю направляючого каналу в значній мірі залежить від кута зіткнення  $\varepsilon_{10}$  зрізаної гички з поверхнею профілю направляючого каналу, де перевага повинна надаватися такому профілю за якого досягається мінімізація висоти вивантаження зрізаної гички через вихідну горловину направляючого каналу та, відповідно, мінімізація його металомісткості.

На рис. 2.17 наведено графічне відтворення залежності зміни дальності вертикального переміщення гички в направляючому каналі від зміни абсциси  $Ox$ , або зміни відстані від центра обертання  $O$  роторного гичкоріза.

Але при цьому повинен забезпечуватися компроміс між висотою направляючого каналу та габаритними розмірами послідовно встановлених за роторним гичкорізом інших робочих органів коренезбиральної машини при неухильному забезпеченні гарантованого переміщення зрізаної та подрібненої



гички до фартуха, або забезпечення необхідної дальності польоту зрізаної гички.

На основі аналізу рис. 2.17 можна констатувати, що:

- мінімальна висота профілю  $z_1 \leq 1$  м направляючого каналу досягається за кута зіткнення  $\varepsilon_{10} = 35$  град., крива 1. Але згідно конструктивних особливостей і габаритних розмірів модулів для викопування коренеплодів [134, 135] їх габаритна висота завжди більше 1 м, тобто за такого профілю виникатимуть проблеми конструктивного характеру при проектуванні коренезбиральної техніки;

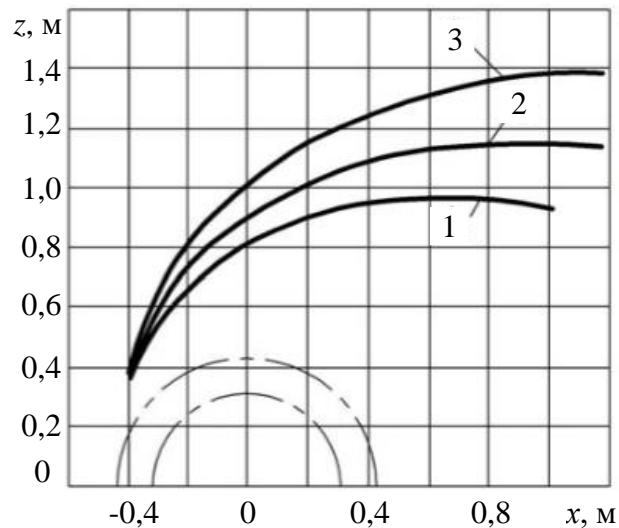


Рисунок 2.17 – Залежність зміни висоти транспортування зрізаної гички від абсциси  $x$ : 1, 2, 3 – відповідно, кут зіткнення  $\varepsilon_{10} = 35^\circ, 25^\circ$  і  $15^\circ$

- профіль, у якого кут зіткнення  $\varepsilon_{10} = 15$  град. (крива 3) призводить до значного збільшення матеріаломісткості направляючого каналу та збільшення кутової швидкості  $\omega$  роторного гичкоріза, або збільшення енергозатрат процесу;

- найбільш прийнятним є профіль, у якого кут зіткнення  $\varepsilon_{10} = 25$  град. (крива 2), при цьому висота профілю направляючого каналу становить 1,2 м, яка є достатньою для вільного розміщення за роторним гичкорізом конструкцій робочих органів наступного модуля, наприклад модуля з робочими органами для викопування коренеплодів.

## 2.4. Дослідження процесу взаємодії копіра з головкою коренеплоду

Дослідження технологічного процесу копіювання головок коренеплодів пасивним копіром обрізника залишків гички на головках коренеплодів проведемо виходячи з умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту та умови не пошкодження коренеплодів під час взаємодії копіра з їх головкою, що є важливим з точки зору зменшення втрат коренеплодів, які виникають при їх вивалюванні та пошкодженні.

Для дослідження умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження копіром пасивного обрізника залишків гички з головок коренеплодів розглянемо технологічний процес його роботи.

Під час руху гичкозбиральної машини робоча поверхня пасивного гребінчастого копіра 1 (рис. 2.18), який встановлено жорстко на шарнірній паралелограмній підвісці 2 наїжджає на головку 7 коренеплоду 8 та рухається по ній поступально вгору, а після закінчення контакту робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду – опускається вниз. Цей рух через верхню 3 і нижню 4 тяги шарнірної паралелограмної підвіски та стояка 5 передається пасивному ножу 6, який за рахунок пружини 9 та регульованої тяги 10 виконаний підпружиненим і під час контакту з коренеплодом зрізує його головку з залишками гички на ній. Висоту зрізу головки коренеплоду змінюють залежно від величини зазорів  $h$  і  $b$ , які встановлюють залежно від наявного агрофону коренеплодів і регулюють за допомогою відповідних механізмів обрізника.

Умова не вивалювання коренеплодів з ґрунту характеризується допустимою сумарною горизонтальною силою, а умова не пошкодження – допустимими напруженнями, які виникають у тілі коренеплодів під час контакту робочої поверхні копіра пасивного обрізника залишків гички з головкою коренеплоду згідно з [26, 86].

Для розрахунку сумарної допустимої горизонтальної сили та допустимого напруження контакту копіра з головкою коренеплодів розглянемо аналітичний процес взаємодії робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду, який контактує з нерухомим коренеплодом.

Складена еквівалентна схему процесу взаємодії двох тіл – пасивного гребінчастого копіра та головки коренеплоду, умовно закріпленого у ґрунті, наведена на рис. 2.18, при цьому: початок відліку вибраної системи координат  $XOY$  розміщено у точці  $O$ , або в точці контакту робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду; вісь  $OX$  направлено вздовж напрямку руху копіра, а вісь  $OY$  – перпендикулярно до дотичної, яку проведено у точці контакту  $O$ .

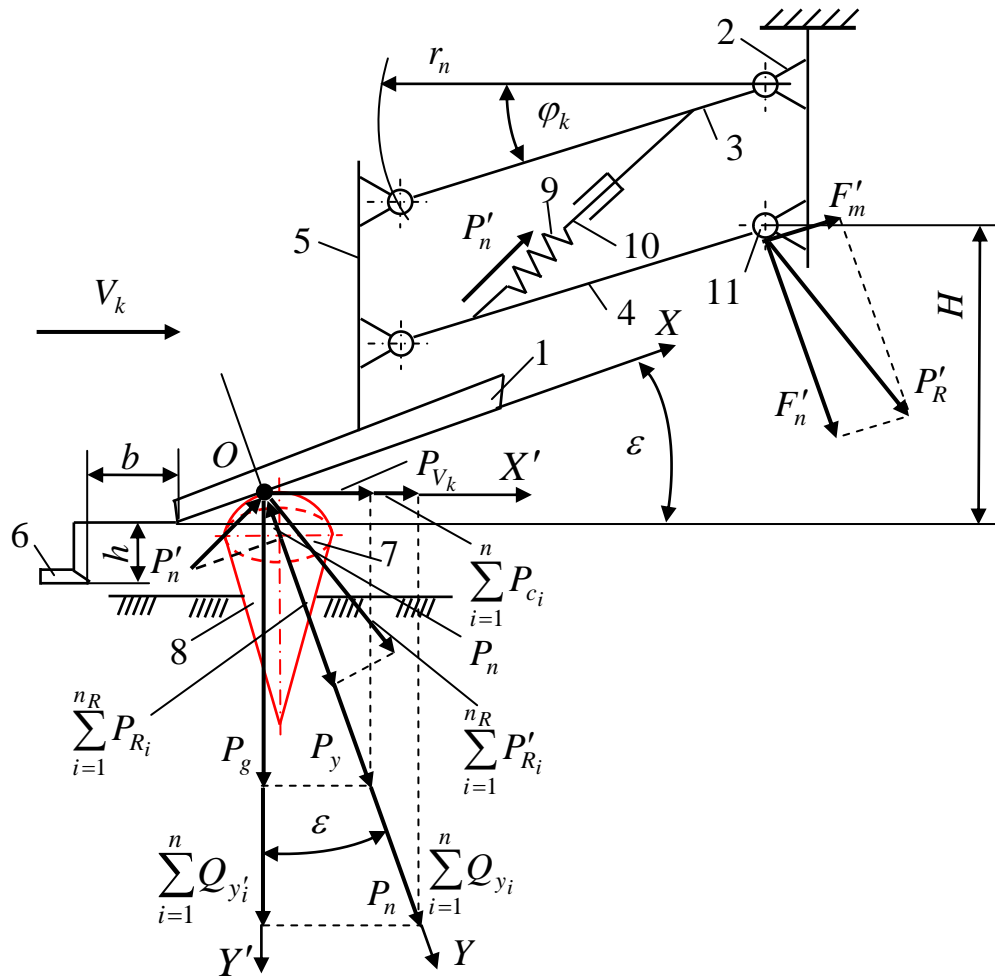


Рисунок 2.18 – Схема до розрахунку параметрів пасивного обрізника залишків гички

Під час побудови еквівалентної схеми та формалізації процесу взаємодії робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду прийнято наступні спрощення та припущення:

- головка коренеплоду має форму півсфери [87];
- робоча поверхня копіра, яка має форму прямолінійної плоскої поверхні, відхилена від горизонту на кут  $\epsilon$ , або кута нахилу копіра до горизонту;

- удар робочої поверхні копіра по головці коренеплоду є пружним, при цьому коефіцієнт відновлення знаходиться в межах  $0,2 \leq k \leq 0,8$  [88, 89];

- під час контакту робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду його швидкість руху  $V_k$  прямолінійна та рівна швидкості руху машини  $V_M$ ;

- після закінчення удару копір рухається зі швидкістю  $V_n$ .

Під час контакту робочої поверхні копіра 5 з головкою 7 коренеплоду 8 зі швидкістю руху гичкозбиральної машини  $V_k$  відбувається удар, у процесі якого на головку коренеплоду в точці  $O$  діють наступні сили:

- сила удару  $P_y$  копіра, яка виникає під час взаємодії робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду з початковою швидкістю удару  $V_k$ , Н;

- складова  $P_n$  (Н) сили стиснення  $P'_n$  пружини 9, яка примусово прижимає копір до головки коренеплоду (регулюється силою стиснення  $P'_n$  пружини 9 за допомогою переміщення регулювальної тяги 10);

- сумарна складова  $\sum_{i=1}^{n_R} P_{R_i}$  (Н) сумарної сили тертя  $\sum_{i=1}^{n_R} P'_{R_i}$  поворотних пар «палець-втулка» шарнірів 11 паралелограмної підвіски 2 обрізника, або яка враховує силу тертя в шарнірах 11 паралелограмної підвіски 2, що перешкоджає вільному поступальному руху копіра вгору.

Для того, щоб коренеплід не вивалювався із ґрунту, або не був вибитий із нього та не пошкоджувався під час удару робочої поверхні копіра по головці коренеплоду, необхідно забезпечити наступні умови

- для умови не вивалювання коренеплідів з ґрунту копіром пасивного обрізника залишків гички

$$\sum_{i=1}^n P_{c_i} \leq [P_{c.max}], \text{ або } \sum_{i=1}^n Q_{y_i} \sin \varepsilon \leq [P_{c.max}], \text{ де } i = 3, \quad (2.82)$$

де  $\sum_{i=1}^n P_{c_i}$  – сумарна горизонтальна сила, яка діє на головку коренеплоду, Н;

$[P_{c.max}]$  – максимально допустима горизонтальна сила, Н;

$\sum_{i=1}^n Q_{y_i}$  – сумарна узагальнена нормальна сила, яка діє на головку

коренеплоду під час удару копіра, Н;

$\varepsilon$  – кут між напрямками осі  $OX$  та сумарною горизонтальною силою  $\sum_{i=1}^n P_{c_i}$ ,

яка діє на головку коренеплоду, або кут установки полозка копіра відносно горизонтальної площини, град.

- для умови не пошкодження коренеплодів копіром пасивного обрізника залишків гички

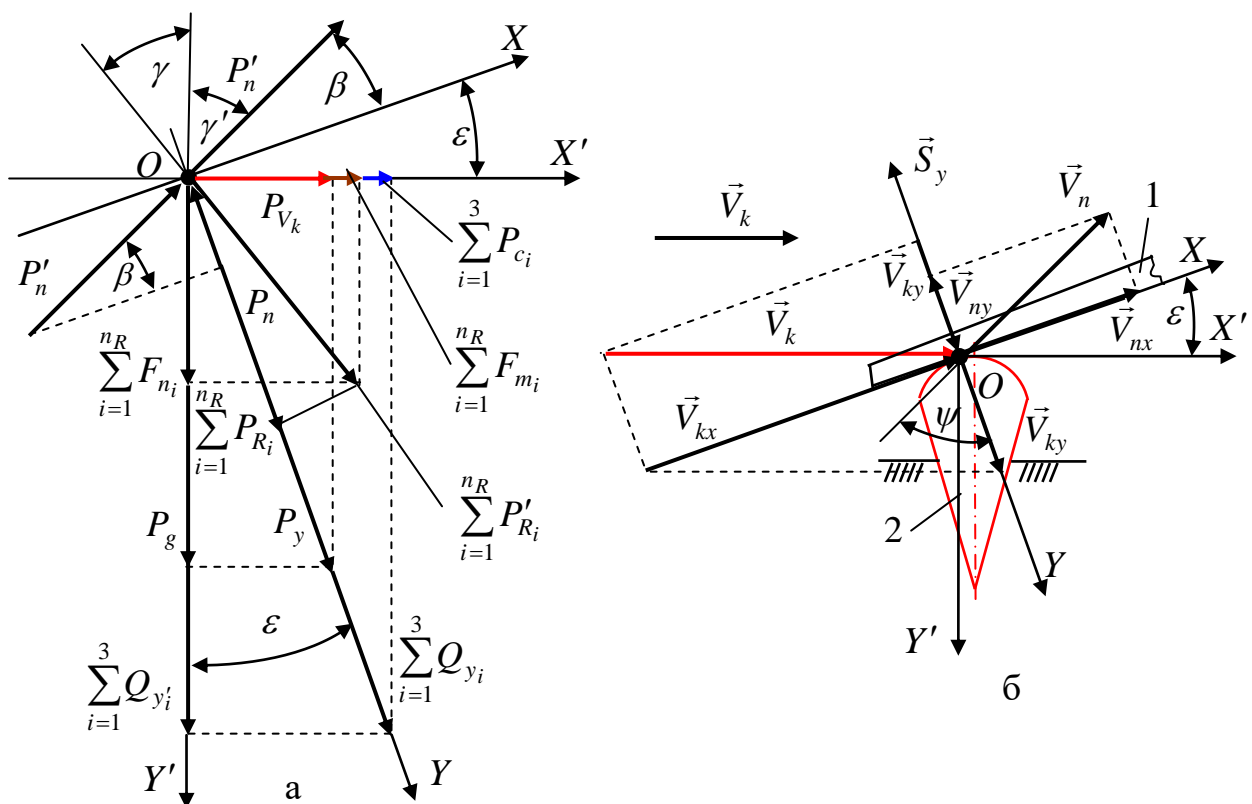


Рисунок 2.19 – Схема плану сил (а) і швидкостей (б) процесу контакту робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду: 1 – копір; 2 – коренеплід

$$\sigma_{c.n} \leq [\sigma_{n.max}], \text{ або } \sum_{i=1}^3 Q_{y_i} S_k \leq [\sigma_{n.max}], \quad (2.83)$$

де  $\sigma_{c.n}$  – нормальні напруження, які виникають під час удару копіра з нерухомою головкою коренеплоду, Па;

$[\sigma_{n.max}]$  – максимально допустимі нормальні напруження, Па;

$S_k$  – площа контакту робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду під час удару, м<sup>2</sup>.

Згідно з рис. 2.19а узагальнена нормальна сила  $\sum_{i=1}^3 Q_{y_i}$  складається з алгебраїчної суми проєкцій всіх сил на вісь  $OY$ , які прикладені у точці контакту  $O$

Тоді, згідно з рис. 2.9а, залежності (2.82) і (2.83), які характеризують умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження копіром пасивного обрізника залишків гички, запишемо у векторному вигляді

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^3 \vec{Q}_y \sin \hat{\varepsilon} \leq [\vec{P}_{c.max}] &= \left( \vec{P}_y - \vec{P}_n + \sum_{i=1}^{n_R} \vec{P}_{R_i} \right) \sin \hat{\varepsilon} \leq [\vec{P}_{c.max}] \\ \sum_{i=1}^3 \vec{Q}_y / S_k \leq [\vec{\sigma}_{n.max}] &= \left( \vec{P}_y - \vec{P}_n + \sum_{i=1}^{n_R} \vec{P}_{R_i} \right) / S_k \leq [\vec{P}_{n.max}] \end{aligned} \right\}. \quad (2.84)$$

Векторне значення сили удару  $\vec{P}_y$  копіра, яка виникає під час взаємодії робочої поверхні пасивного копіра обрізника з головкою коренеплоду залежить від початкової швидкості удару  $V_k$  і сили ваги копіра та згідно з [90] визначається за формулою

$$\vec{P}_y = \sqrt{(\vec{P}_{V_k})^2 + (\vec{P}_g)^2} = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 \left( \frac{d^2 \vec{L}_x}{dt^2} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 \vec{g}^2} = \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{d\vec{V}_{kx}}{dt} \right)^2 + \vec{g}^2}, \quad (2.85)$$

де  $\vec{P}_{V_k}$  – вектор горизонтальної сили удару, яка виникає під час удару робочої поверхні копіра по головці коренеплоду з початковою нормальною швидкістю удару  $V_{kx}$ ;

$\vec{P}_g = \sum_{i=1}^{n_k} m_i \vec{g}$  – вектор сила ваги рухомих частин обрізника гички;

$\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  – сумарна маса рухомих частин обрізника, кг, ( $i = 1, 2, \dots, n_k$ );

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$L_x, V_{kx}$  – переміщення (м) та поступальна нормальна швидкість робочої поверхні копіра, (м/с).

Для знаходження сумарної узагальненої нормальної сили  $\sum_{i=1}^3 Q_{y,n}$  складемо векторне диференціальне рівняння руху копіра на основі застосування другого закону Ньютона [91]

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{d\vec{V}}{dt} = \sum_{i=1}^3 \vec{Q}_y, \text{ або } \sum_{i=1}^{n_k} m_i d\vec{V} = \sum_{i=1}^3 \vec{Q}_y dt. \quad (2.86)$$

Інтегруючи рівняння (2.86) від  $t=0$  (початок удару) до  $t=t_n$  (час закінчення удару), або де  $t_n$  – час дії удару (с), будемо мати

$$\int_{V_k}^{V_n} \sum_{i=1}^{n_k} m_i d\vec{V} = \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^3 \vec{Q}_{y,n} dt, \quad (2.87)$$

або згідно з (2.83-2.85) маємо [92]

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i |d\Delta\vec{V}_p| = \left( \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{d\vec{V}_{kx}}{dt}\right)^2 + \vec{g}^2} dt - \int_0^{t_n} \vec{P}_n dt + \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_R} \vec{P}_{R_i} dt \right) \sin \hat{\varepsilon} \leq [\vec{P}_{c,max}] dt; \quad (2.88)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i |d\Delta\vec{V}_\sigma| = \left( \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{d\vec{V}_{kx}}{dt}\right)^2 + \vec{g}^2} dt - \int_0^{t_n} \vec{P}_n dt + \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_R} \vec{P}_{R_i} dt \right) \leq \frac{[\vec{\sigma}_{n,max}] dt}{S_k}, \quad (2.89)$$

де  $\Delta\vec{V}_p = \vec{V}_{nx} - \vec{V}_k = \vec{V}_k k$ ;  $\Delta\vec{V}_\sigma = \vec{V}_n - \vec{V}_{kx}$ ;  $\vec{V}_n, \vec{V}_{kx}$  – відповідно, вектор швидкості копіра після удару та початкової нормальної швидкості поверхні контакту копіра до удару (м/с), при цьому під час пружного удару двох тіл згідно з [21]  $\vec{V}_n = k\vec{V}_{kx}$ ;  $k$  – коефіцієнт відновлення.

Сила стиснення циліндричної гвинтової пружини  $P'_n$  згідно з [93] визначається за законом Гука

$$P'_n = -c\Delta x = -\frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x, \quad (2.90)$$

де  $c$  – коефіцієнт пружності матеріалу пружини, кг/с<sup>2</sup>;

$\Delta x$  – абсолютне стиснення пружини, мм;

$G$  – модуль зсуву матеріалу з якого виготовлено пружину, Н/мм<sup>2</sup>;

$d_n$  – діаметр матеріалу з якого виготовлено пружину, мм;

$D_n$  – середній діаметр пружини, мм;

$z$  – кількість витків пружини, шт.

Приймаючи, що конструктивний параметр  $\varphi_k$ , або кут нахилу поздовжніх осей тяг 3, 4 (рис. 2.18) паралелограмної підвіски 2 обрізника та конструктивний параметр  $\varepsilon$ , або кут нахилу робочої поверхня копіра 1 рівні між собою, тобто  $\varphi_k = \varepsilon$ , або адекватно, що поздовжні осі тяг і прямолінійна плоска робоча поверхня копіра паралельні між собою, можна записати, що складова  $P_n$ , яка примусово прижимає копір до головки коренеплоду за рахунок сили стиснення  $P'_n$  пружини 9 визначається за формулою

$$P_n = \frac{Gd_n^4}{8D_n^3z} \Delta x \sin \beta, \quad (2.91)$$

де  $\beta$  – кут між регульовальною тягою 10 та нижньою тягою 4, град.

Векторне значення сумарної сили тертя  $\vec{P}'_R$  однієї поворотної пари «палець-втулка» шарніра 11 паралелограмної підвіски 2 обрізника згідно з [94] та рис. 2.18 визначається за формулою

$$\vec{P}'_R = \vec{F}'_m + \vec{F}'_n, \text{ або } P'_R = \sqrt{(F'_m)^2 + (F'_n)^2}, \quad (2.92)$$

де  $P'_R$  – сумарне значення сили тертя однієї поворотної пари «палець-втулка» шарніра 11 паралелограмної підвіски 2 обрізника, Н;

$F'_m = fF'_n = 2fp_0lR_n$  – сила тертя однієї поворотної пари «палець-втулка» шарніра 11 паралелограмної підвіски 2 обрізника (Н);

$f'$  – зведений коефіцієнт тертя пальця по втулці;

$F'_n = 0,5\pi p_0 l R_o$  – сила нормального тиску, Н;

$f$  – коефіцієнт тертя пальця по втулці;



$p_0$  – питомий розподіл тиску на площі контакту, Н/м<sup>2</sup>;

$l$  – довжина втулки, м;

$r_n$  – радіус втулки, м.

Тоді сумарна складова  $\sum_{i=1}^{n_R} P_{R_i}$ , яка враховує силу тертя в шарнірах 11 паралелограмної підвіски 2, що перешкоджає вільному поступальному руху копіра вгору визначається за формулою (рис. 2.19)

$$\sum_{i=1}^{n_R} P_{R_i} = \sum_{i=1}^{n_R} P'_{R_i} \cos(\gamma - \varepsilon) = \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon). \quad (2.93)$$

Враховуючи залежності (2.82), (2.83) і (2.91), (2.93) умову не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження копіром пасивного обрізника залишків гички, запишемо у наступному вигляді [92]

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i |d\Delta\vec{V}_p| = \left( \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{d\vec{V}_{kx}}{dt}\right)^2 + \bar{g}^2} dt + \int_0^{t_n} \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta\bar{x} \sin \beta dt + \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) dt \right) \sin \varepsilon \leq [\bar{P}_{c.max}] dt; \quad (2.94)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i |d\Delta\vec{V}_\sigma|_{S_k} = \left( \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{d\vec{V}_{kx}}{dt}\right)^2 + \bar{g}^2} dt + \int_0^{t_n} \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta\bar{x} \sin \beta dt + \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_R} \bar{p}_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) dt \right) S_k \leq [\bar{\sigma}_{n.max}] dt. \quad (2.95)$$

Одержані теоретичні інтегральні рівняння (2.94) і (2.95) є математичними детермінованими моделями, які характеризують умову не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження копіром пасивного обрізника залишків гички залежно від конструктивних параметрів копіра та швидкості руху гичкозбирального модуля, або в загальному – залежно від конструктивно-технологічних параметрів процесу копіювання головок коренеплодів.

Крім того згідно з теоремою про середнє з курсу інтегрального числення згідно з [21, 85] та приймаючи формалізований опис, що середнє значення сили стиснення циліндричної гвинтової пружини  $P'_{n.cep}$  та сумарної складової сили

$\sum_{i=1}^{n_R} P_{R.cep_i}$ , яка враховує сумарну силу тертя в шарнірах паралелограмної підвіски

в проміжку часу  $(0, t_n)$  приблизно тотожно рівні, тобто, відповідно,  $P'_{n.cep} \cong P'_n$

та  $\sum_{i=1}^{n_R} P_{R.cep_i} \cong \sum_{i=1}^{n_R} P_{R_i}$  можна отримати [92]

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i |d\Delta V_p| = \left( \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{dV_{kx}}{dt}\right)^2 + g^2} dt + \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} t_n \Delta x \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n t_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) \right) \sin \varepsilon \leq [P_{c.max}] dt_n; \quad (2.96)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i |d\Delta V_\sigma| S_k = \left( \int_0^{t_n} \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{dV_{kx}}{dt}\right)^2 + g^2} dt + \int_0^{t_n} \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} t_n \Delta x \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n t_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) \right) S_k \leq [\sigma_{n.max}] dt_n, \quad (2.97)$$

Для практичного використання одержаних детермінованих математичних моделей (2.96) і (2.97) необхідно визначити час удару  $t_n$ , або час взаємодії робочої поверхні копіра з голівкою коренеплоду.

Час удару  $t_n$  визначимо з наступних міркувань.

Згідно з [95], відстань  $L$ , яку проходить точка  $O$  (рис. 2.18) за час удару

$$L = \int_0^{t_n} V'_k dt_n, \text{ або } L = V'_{c.k} t_n, \quad (2.98)$$

де  $V'_k$  – перемінна швидкість точки в проміжку часу  $(0, t_n)$ , м/с;

$V'_{c.k}$  – кінцева величина згідно з теоремою про середнє [21, 85], м/с.

Тоді, якщо прийняти положення, що на одному погонному метрі рядка рослин знаходиться  $N$  (шт. м) коренеплодів, а копір рухається поступально та

рівномірно зі швидкістю  $V_k$ , то за проміжок часу рівний  $t_n = 1$  (с) копир пройде шлях  $L' = t_n V_k = 1V_k$ , при цьому на протязі цього часу  $t_n = 1$  (с) відбудеться ударний контакт з  $NV_k$  коренеплодами, а час ударного контакту  $t_n$  (с) з одним коренеплодом буде дорівнювати

$$t_n = 1 / NV_k = \cos \varepsilon / NV_{kx}, \quad (2.99)$$

де  $t_n$  – час ударного контакту з одним коренеплодом, с;

$N$  – кількість коренеплодів на 1 погонному метрі рядка, шт. м.

Розв'язок детермінованих математичних моделей (2.97) і (2.98) з врахуванням положення (2.86) буде

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{d\Delta V_p}{dt_n} = \left( \left[ \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{dV_{kx}}{dt_n} \right)^2 + g^2} \right]_0^{t_n} + \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta \right]_0^{t_n} + \left[ \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right]_0^{t_n} \right) \frac{\sin \varepsilon}{dt_n} \leq [P_{c.max}]; \quad (2.100)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{d\Delta V_\sigma}{dt_n} S_k = \left( \left[ \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{dV_{kx}}{dt_n} \right)^2 + g^2} \right]_0^{t_n} + \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta \right]_0^{t_n} + \left[ \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right]_0^{t_n} \right) \frac{S_k}{dt_n} \leq [\sigma_{n.max}]. \quad (2.101)$$

Після підстановки значення меж інтегрування за часом  $t_n$  із (2.99) в (2.100) і (2.101) отримаємо диференціальні рівняння, які описують рух робочої поверхні копіра по головці коренеплодів з умови їх не вивалювання горизонтальною силою та не пошкодження нормальною дотичною силою контакту, відповідно

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{d\Delta V_p}{dt_n} = \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{dV_k}{dt_n} \right)^2 + g^2} + \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right) NV_k \sin \varepsilon \leq [P_{c.max}]; \quad (2.102)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{|d\Delta V_\sigma|}{dt_n} S_k = \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left(\frac{dV_{kx}}{dt_n}\right)^2 + g^2} + \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right) \frac{S_k N V_{kx}}{\cos \varepsilon} \leq [\sigma_{n.max}], \quad (2.103)$$

де порядок перетворення та спрощення диференціальних рівнянь (2.102), (2.103) наведено в додатку Б.6.4.

Розв'язавши нерівність (2.102) відносно  $\frac{dV_k}{dt_n}$ , а нерівність (2.103) відносно  $\frac{dV_{kx}}{dt_n}$ , одержимо залежності для визначення допустимого дотичного прискорення робочої поверхні копіра обрізника з умови не вивалювання  $a_p$  (м/с<sup>2</sup>) та не пошкодження  $a_\sigma$  (м/с<sup>2</sup>) коренеплодів, відповідно

$$\frac{dV_k}{dt_n} = a_p \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} m_i} \sqrt{\left\{ \frac{[P_{c.max}]}{N V_k \sin \varepsilon} \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right] \right\}^2 - \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 g^2 \sin^2 \varepsilon} \quad ; \quad (2.104)$$

$$\frac{dV_{kx}}{dt_n} = a_\sigma \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} m_i} \sqrt{\left\{ \frac{[\sigma_{n.max}] \cos \varepsilon}{S_k N V_{kx}} \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right] \right\}^2 - \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 g^2 \cos^2 \varepsilon} \quad , \quad (2.105)$$

де  $a_p$  і  $a_\sigma$  – відповідно, допустиме прискорення робочої поверхні контакту копіра з головкою коренеплоду для умови не вивалювання та не пошкодження коренеплодів (м/с<sup>2</sup>), а порядок перетворення та спрощення залежностей (2.104), (2.105) наведено в додатку Б.7.4.

Таким чином допустима маса рухомих частин обрізника головок коренеплодів із умови не вивалювання та не пошкодження коренеплодів,

відповідно,  $\sum_{i=1}^{n_k} m_{P_i}$ ,  $\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma_i}$  визначається із залежностей (2.104) і (2.105), тобто

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{P_i} \leq \frac{\frac{[P_{c.max}]}{NV_k \sin \varepsilon} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{\sqrt{a_p^2 + g^2}}; \quad (2.106)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma_i} \leq \frac{\frac{[\sigma_{n.max}] \cos \varepsilon}{S_k NV_{kx}} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{\sqrt{a_\sigma^2 + g^2}}. \quad (2.107)$$

Якщо прийняти характер руху копіра прямолінійним рівномірним, тоді дотичне прискорення під час рівномірного прямолінійного руху тіла згідно з [84] дорівнює нулю, тобто  $a_p = 0$ ,  $a_\sigma = 0$ .

З врахуванням прийнятого припущення для практичного застосування рівнянь (2.104), (2.105) визначаємо допустиму масу рухомих частин обрізника для умови не вивалювання та не пошкодження коренеплодів з умови  $V_k = const$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{P_i} \leq \frac{\frac{[P_{c.max}]}{NV_k \sin \varepsilon} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{g}; \quad (2.108)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma_i} \leq \frac{\frac{[\sigma_{n.max}] \cos \varepsilon}{S_k NV_{kx}} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon)}{g}. \quad (2.109)$$

Із рис. 2.19 маємо, що кут  $\gamma' = \pi/2 - (\beta + \varepsilon)$ .

Тоді кут  $\gamma = \pi/2 - [\pi/2 - (\beta + \varepsilon)] = \beta + \varepsilon$ . Підставивши значення кута  $\gamma$  в рівняння (2.108), (2.109) та прийнявши конструктивно, що кут  $\varepsilon = \varphi_k$ , а  $V_{kx} = V_k \cos \varepsilon$ , при цьому  $V_k = V_M$ , одержано кінцеві залежності для визначення допустимої та приведеної до центра мас копіра маси рухомих частин обрізника залишків гички на головках коренеплодів для умови їх не вивалювання та не пошкодження для випадку  $V_M = const$  [96]:

- для умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi} \leq \frac{1}{g} \left\{ \frac{[P_{c.max}]}{NV_k \sin \varphi_k} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos \beta \right\}; \quad (2.110)$$

- для умови не пошкодження коренеплодів

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i} \leq \frac{1}{g} \left\{ \frac{[\sigma_{n.max}]}{S_k NV_k} - \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_k} p_{0_i} l r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos \beta \right\}. \quad (2.111)$$

Встановлено, що середнє значення прикладеної до вершини головки коренеплоду горизонтальної сили, за якої починається значне порушення зв'язків коренеплодів з ґрунтом залежно від параметрів і умов насаджень коренеплодів знаходиться у межах  $[P_{c.max}] = 140 \dots 300$  (Н) [1], а прикладена до вершини головки коренеплоду нормальна сила опору входження полозка копіра на глибину 3...5 (мм) досягає значення  $[P_{n.max}] = [\sigma_{n.max}] / S_k = 300 \dots 400$  (Н) [97].

При початкових умовах  $N = 5$  шт.,  $\varphi_k = \pi / 3$  (град),  $\frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} = c = 70$  кг/м [98],  $\Delta x = 0,1$  м,  $\beta = \pi / 4$  град згідно з формулами (2.104), (2.105) побудовано залежність допустимої та приведеної до центра мас копіра маси рухомих частин

обрізка  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  для умови не вивалювання коренеплодів від швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$  і допустимої горизонтальної сили  $[P_{c.max}]$  та умови не пошкодження коренеплодів від швидкості руху ГМ  $V_M$  і допустимої нормальної сили  $[P_{n.max}]$ , відповідно, як функції  $\sum_{i=1}^{n_k} m_{Pi} = f_P(V_M; [P_{c.max}])$  та

$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i} = f_\sigma(V_M; [P_{n.max}])$ , яку наведено на рис. 2.20. На рис. 2.21. наведено

залежність зміни допустимої та приведеної до центра мас копіра маси рухомих

частин обрізка  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  для умови не вивалювання та не пошкодження

коренеплодів від швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$ , тобто

$\sum_{i=1}^{n_k} m_i = f_V(V_M)$  при постійних значеннях інших складових залежностей (2.110),

(2.111) [96].

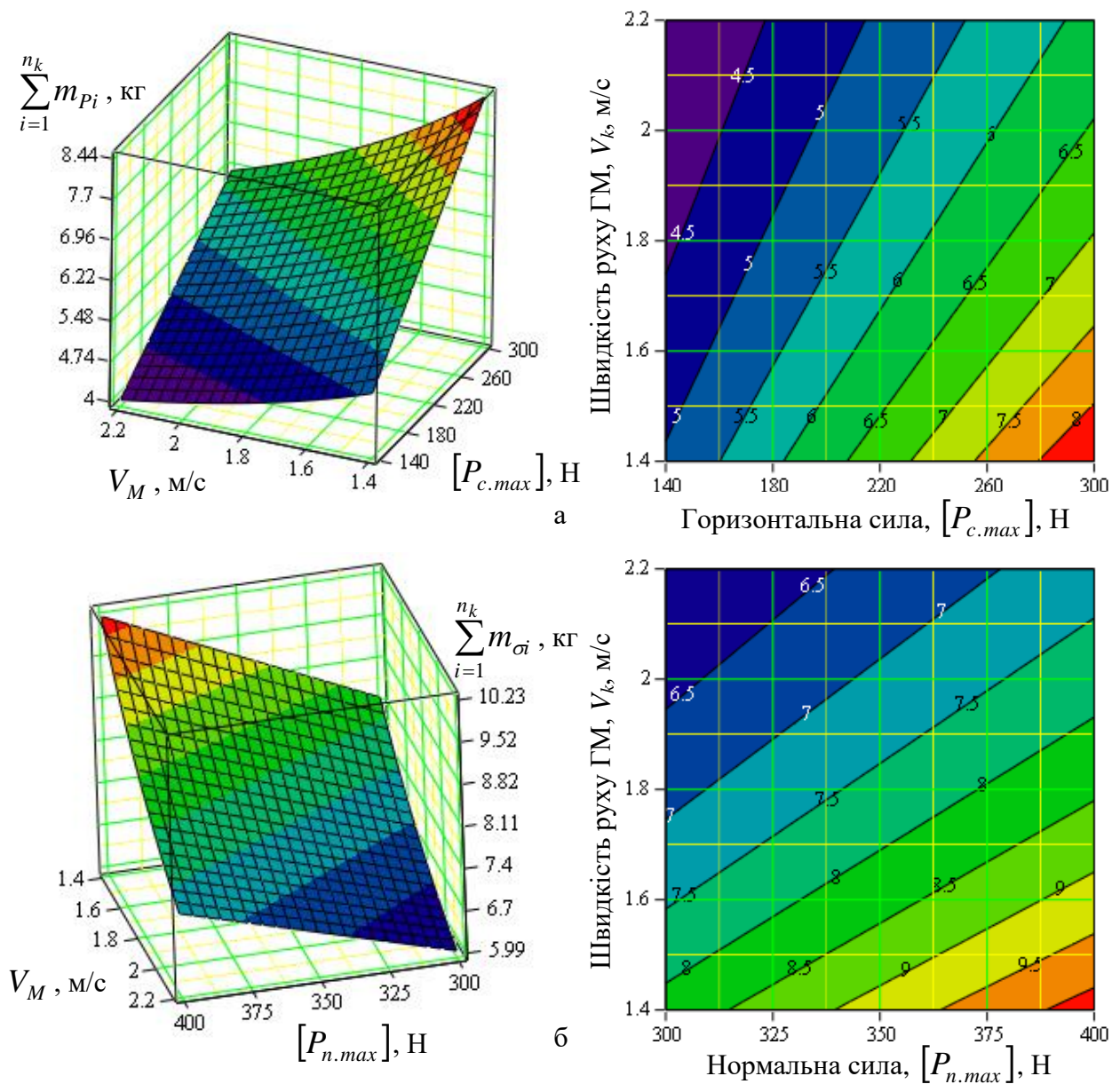


Рисунок 2.20 – Залежність допустимої та приведеної до центра мас копіра маси рухомих частин обрізника: а – для умови не вивалювання коренеплодів від швидкості руху модуля  $V_M$  і допустимої горизонтальної сили  $[P_{c.max}]$  як

функціонал  $\sum_{i=1}^{n_k} m_{pi} = f_P(V_M; [P_{c.max}])$ ; б – для умови не пошкодження коренеплодів від

швидкості руху ГМ  $V_M$  і допустимої нормальної сили  $[P_{n.max}]$  як функціонал

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_{\sigma i} = f_{\sigma}(V_M; [P_{n.max}])$$

Аналіз наведених залежностей (рис. 2.20) підтверджує логічність характеру зміни  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  відносно динамічності процесу контактної взаємодії робочих поверхонь копіра обрізника залишків гички з головок коренеплодів – зі збільшенням поступальної швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$  допустима та приведена до центра мас копіра маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  для умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження зменшується у межах, відповідно, від 8,5 до 4 (кг) та від 10,2 до 6,0 (кг), а зі збільшенням допустимої горизонтальної  $[P_{c.max}]$  та нормальної  $[P_{n.max}]$  сили збільшується у відповідному зворотному напрямку, тобто зміна  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  залежно від  $V_M$  і  $[P_{c.max}]$ ,  $[P_{n.max}]$  має зворотний і прямий характер.

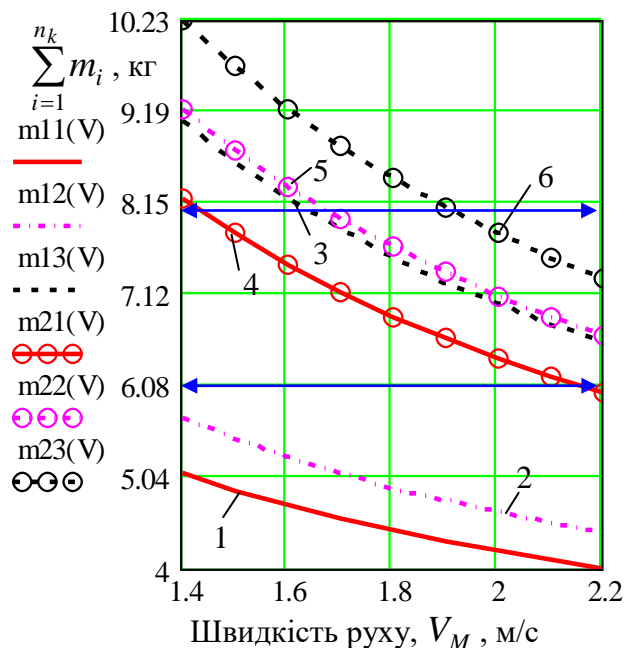


Рисунок 2.21 – Залежність допустимої та приведеної до центра мас

копіра маси  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  рухомих частин обрізника для умови не

вивалювання та не пошкодження коренеплодів від швидкості руху

ГМ  $V_M$  : 1, 2, 3 – відповідно,  $[P_{c.max}] = 140, 170, 300$  (Н);

4, 5, 6 – відповідно  $[P_{n.max}] = 300, 350, 400$  (Н)



Ідентичність даних висновків і положень цілком адекватно підтверджується характером зміни залежностей, які регламентують допустиму та приведену до центра мас копіра маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  для умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження, що наведено на рис. 2.21.

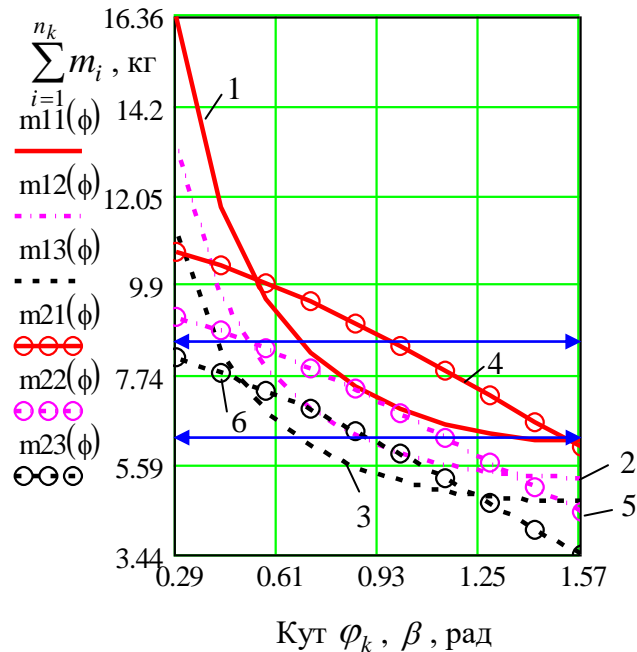


Рисунок 2.21 – Залежність допустимої та приведенї до центра мас копіра маси рухомих частин обрізника для умови не вивалювання та не пошкодження коренеплодів від:

1, 2, 3 – від кута  $\varphi_k$ , відповідно,  $[P_{c.max}] = 140, 170, 300$  (Н);

4, 5, 6 – від кута  $\beta$ , відповідно  $[P_{n.max}] = 300, 350, 400$  (Н)

Залежно від збільшення кута  $\varphi_k$  встановлення копіра відносно горизонтальної площини, або кута  $\beta$  встановлення пружини паралелограмної підвіски у межах від 15 до 90 град (рис. 2.21) допустима та приведена до центра мас копіра маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{n_k} m_i$  залишків гички з головок коренеплодів для умови не вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх не пошкодження зменшується від 10 до 3,5 (кг).

Згідно з дослідженнями [1, 98] мінімальна маса апаратів для зрізування залишків гички з головок коренеплодів обмежується конструктивними міркуваннями в межах 6...8 (кг) виходячи з умови задовільного (без галопування) копіювання головок коренеплодів ползками копіра [69].

Тоді з врахуванням встановлених вище вимог і згідно з рис. 2.20-2.22 можна констатувати, що за допустимої горизонтальної і нормальної сили, відповідно,  $[P_{c.max}] = 220$  Н і  $[P_{n.max}] = 350$  Н параметри робочих органів обрізника залишків гички з головок коренеплодів повинні бути:

- поступальна швидкість руху ГМ повинна знаходитися в межах  $1,6 \leq V_M \leq 1,9$  (м/с);

- кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини повинен бути у межах  $20 \leq \varphi_k \leq 35$  (град);

- кут встановлення пружини між тягами 3, 4 паралелограмної підвіски відносно горизонтальної площини повинен бути у межах  $45 \leq \beta \leq 60$  (град).

Попередній натяг пружини 9 паралелограмної підвіски 2 (рис. 2.20) повинен забезпечувати контакт копіра 1 з головою 7 коренеплоду 8 після удару до початку різання коренеплоду ріжучою кромкою ножа 6.

Ширину копіра можна прийняти в межах  $b = 160...210$  (мм). Висота  $H$  нижнього шарніра 4 паралелограмної підвіски обрізника залишків гички з головок коренеплодів вибирається конструктивно і знаходиться в межах 250...350 мм, при цьому вона повинна забезпечувати транспортний кліренс гичкозбирального модуля.

Вертикальний зазор  $h$  між ріжучою кромкою ножа і нижньою торцевою частиною копіра залежить від висоти розташування головки коренеплодів відносно поверхні ґрунту та знаходиться в межах 10...50 мм, а горизонтальний зазор між ріжучою кромкою ножа та задньою торцевою частиною ползків копіра залежить від діаметра головки коренеплодів і знаходиться в межах  $b = 20...80$  (мм).

Проведені теоретичні дослідження залежностей основних параметрів обрізника головок коренеплодів можуть бути використанні в процесі його розробки і оптимізації конструктивно-технологічних показників.

## 2.5. Дослідження процесу різання головок коренеплодів пасивним ножем обрізника

На основі проведеного аналізу літературних джерел і враховуючи нову конструкцію розробленого пасивного ножа обрізника головок коренеплодів від залишків гички, розглянемо процес різання лезом, яке в більшості випадків застосовується в бурякозбиральних, гичкозбиральних, кормозбиральних, зернозбиральних та інших сільськогосподарських машинах.

Враховуючи специфіку роботи обрізника залишків гички на головках коренеплодів розглянемо технологічний процес взаємодії леза 18 (рис. 1.30, 1.31) підпружиненого ножа 15 обрізника 6 головкою коренеплодів від залишків гички. Гребінчастий копір 14 обрізника головок коренеплодів наїжджає на головку коренеплодів, копіює головки коренеплодів і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски 12 передає це переміщення гребінчастого копіра ножу. Ніж, рухаючись поступально напрямку руху гичкозбиральної машини, лезом ріжучої кромки зрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу [39, 81, 82, 99].

Для проведення дослідження різання підпружиненим ножем головки коренеплодів складено еквівалентну схему процесу взаємодії леза ножа з поверхнею головки коренеплодів, яку наведено на рис. 2.22. Розглянемо аналітично процес різання головки коренеплоду від залишків гички, при цьому вважаємо, що основна частина гички з головок коренеплодів попередньо зрізана робочими органами гичкозбирального модуля, тобто змоделюємо коренеплід, як нерухоме тверде тіло, що умовно закріплене в ґрунті, головка якого являє собою півсферу діаметром  $D_k$  [99].

У процесі поступального руху гичкозбирального модуля зі швидкістю  $V_n$ , лезо 1 ножа зрізує головку 2 коренеплодів, при цьому під час різання головки лезо ножа відхиляється на вертикальному пальці шарніра 3 до упора 4, виконуючи різання методом ковзання. Після зрізування головки коренеплодів ніж завдяки регульовальній пружині 5 повертається в початкове положення.

Під час дослідження процесу різання головок цукрових буряків важливо врахувати основні пріоритетні фактори, які впливають на величину зусилля різання та основні показники якості обрізування головок коренеплідів, тобто:

- процес різання головок коренеплідів відбувається за рахунок одночасної дії поступального переміщення ножа та зусилля, яке виникає внаслідок дії пружини, а напрямок всіх складових зусилля різання в будь-якій точці леза плоского ножа залишається незмінним

- процес різання головок коренеплідів плоским підпружиненим ножом відбувається з одночасним поворотом і проковзуванням леза ножа вздовж поверхні зрізу головки коренеплідів.

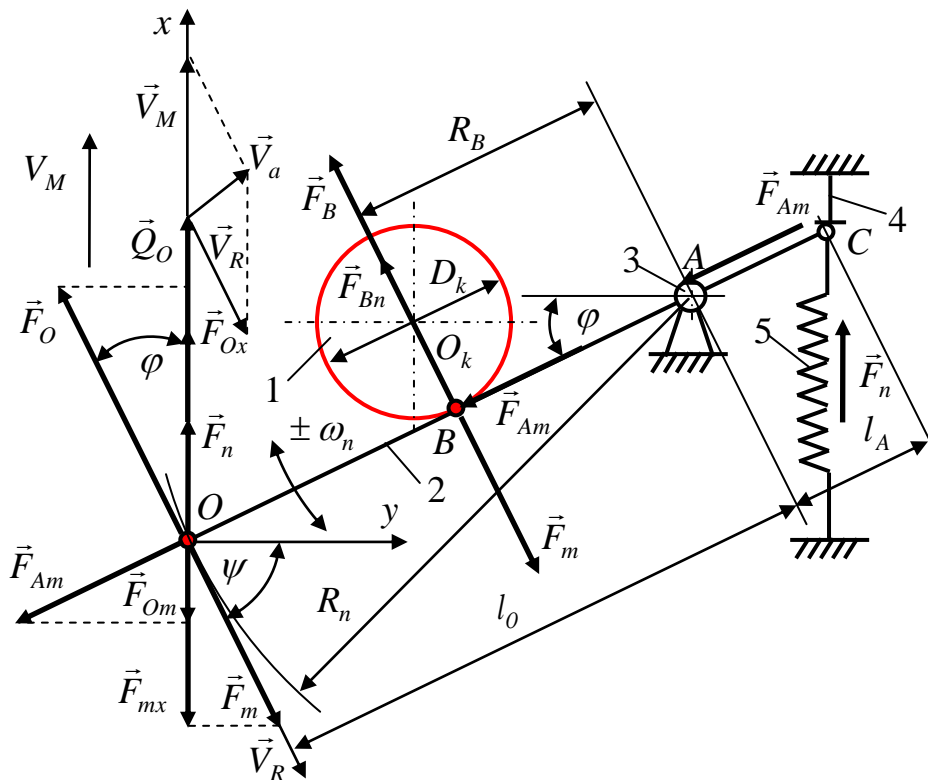


Рисунок 2.22 – Схема процесу різання лезом підпружиненого ножа обрізника:

1 – головка коренеплоду; 2 – лезо ножа; 3 – шарнір; 4 – упор; 5 – пружина

При різанні коренеплідів, лезо плоского підпружиненого ножа здійснює два види руху, тобто поступальний, зі швидкістю  $V_n$ , яка дорівнює швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$  та обертовий, повертаючись на кут  $\varphi$  з кутовою швидкістю повертання  $\pm \omega_n$ , яка залежить від сумарного зусилля, що діє в зоні різання.

Зі сферичною поверхнею головки коренеплоду зв'яжемо нерухому систему декартових координат  $xOy$ , початок відліку якої розміщено у точці  $O$  початкового моменту контакту леза ножа радіусом  $R_n$  з головою коренеплоду в точці  $B$ ; вісь  $Ox$  направимо вздовж, або паралельно поступальному напрямку руху леза ножа; вісь  $Oy$  – перпендикулярно до осі  $Ox$ .

За проміжок часу  $t$  точка  $O$  леза ножа одночасно переміщується в горизонтальному напрямку вздовж осі  $Ox$  з точки  $O$  відліку нерухомих координат  $xOy$  у точку  $B$  та повертається на кут  $\varphi$ , тобто зміна положення леза ножа відбувається в одній горизонтальній площині  $xOy$ . Розглянемо сили, які виникають в точках контакту процесу різання лезом ножа головки коренеплоду, при цьому вважаємо, що лезо ножа рухається тільки в поздовжньо-горизонтальній площині рівномірно та прямолінійно. У точці контакту  $B$  на поверхню головки коренеплоду діють наступні сили: сила тяжіння  $F_g$  ножа масою  $m_n$ ; сила тертя різання ковзання  $F_m$  леза ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду, яка напрямлена проти напрямку відносного руху леза ножа; сила різання  $F_B$  ріжучої кромки леза ножа за допомогою якої відбувається процес обрізування головки, яка радіальна поверхні зрізування головки коренеплоду та перпендикулярна лінії напрямку ріжучої кромки леза ножа та сила розтягнення пружини  $F_{Bn}$ , вектор якої направлений вздовж напрямку руху ножа.

У точці  $A$  обертання ножа у вертикальному пальці прикладений вектор сили тертя  $\vec{F}_{Am}$  поворотної пари «палець-втулка» шарніра, напрямом якого протилежний напрямку обертання шарніра, що перешкоджає вільному повертанню леза ножа.

Розрахункову схему зусиль, які діють під час процесу різання головки коренеплодів лезом ножа наведено на рис. 2.22 [99].

Для встановлення закону руху точки  $O$ , або складання диференціального рівняння руху леза ножа в основних (узагальнених) координатах скористаємося рівнянням Лагранжа II роду. Тому що точка  $O$  володіє двома ступенями свободи, рівняння Лагранжа II роду приймає вигляд [100]

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_n}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T_n}{\partial q_i} = Q_O, \quad (2.112)$$

де  $T_n$  – кінетична енергія ножа, Дж;

$q_i$ ,  $\dot{q}_i$ ,  $Q_O$  – відповідно, узагальнена координата точки, узагальнена швидкість переміщення точки, узагальнена сумарна сила, яка діє на точку.

Тому, що узагальнена сумарна сила  $Q_O$ , яка діє на точку  $O$  співпадає з напрямком осі  $Ox$ , або з напрямком переміщення леза ножа зі швидкістю  $V_n$ , тоді координата  $x$  визначає положення леза ножа в довільний момент часу  $t$ , яку приймаємо за узагальнену координату, тобто  $q = x$ .

Кінетична енергія  $T_n$  леза ножа складається з суми кінетичної енергії поступального руху леза ножа  $T_V$  за ходом гичкозбиральної машини та кінетичної енергії підпружиненого ножа  $T_{R_n}$  від його кута повороту  $\varphi$ , тобто

$$T_n = T_V + T_{R_n}. \quad (2.113)$$

Кінетичної енергія абсолютного руху леза ножа  $T_V$  обрізника залишків гички на головках коренеплодів визначається за формулою [101]

$$T_V = \frac{m_n V_a^2}{2} = \frac{m_n}{2} \left( \frac{dx_o}{dt} \right)^2 = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left( \frac{dx_o}{dt} \right)^2, \quad (2.114)$$

де  $m_n$  – маса ножа, кг;

$V_a$  – абсолютна лінійна швидкість переміщення леза ножа, м/с;

$x_o$  – абсолютне переміщення леза ножа, м;

$S_n$  – площа поперечного перерізу ножа, м<sup>2</sup>;

$R_n$  – довжина ножа, або радіус повороту ножа, м;

$\rho_n$  – питома маса матеріалу ножа, кг/м<sup>3</sup>.

Кінетична енергія ножа  $T_{R_n}$  від його кута повороту  $\varphi$  визначається за формулою [102]

$$T_{R_n} = \frac{I_n \omega_n^2}{2} = \frac{I_n}{2} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2, \quad (2.115)$$

де  $I_n$  – момент інерції плоского ножа відносно осі повороту, кг м<sup>2</sup>;

$\omega_n$  – кутова швидкість повороту ножа, рад/с.

$\varphi$  – кут повороту леза ножа, град;

Момент інерції ножа  $I_n$  відносно осі повороту  $A$ , який виконано у формі прямокутної пластини визначається за формулою [103]

$$I_n = \frac{m_n R_n^2}{3} = \frac{S_n R_n^3 \rho_n}{3}, \quad (2.116)$$

або підставивши (2.116) в (2.115) одержимо

$$T_r = \frac{S_n R_n^3 \rho_n}{6} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2. \quad (2.117)$$

Тоді, враховуючи (2.62) і (2.65), загальний вигляд рівняння (2.61), яке характеризує визначення кінетичної енергії абсолютного руху ножа  $T_n$  буде

$$T_n = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left( \frac{dx_o}{dt} \right)^2 + \frac{S_n R_n^3 \rho_n}{6} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left[ \left( \frac{dx_o}{dt} \right)^2 + \frac{R_n^2}{3} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right]. \quad (2.118)$$

Під час одночасного поступального руху ножа за ходом гичкозбиральної машини та повертання ножа на кут повороту  $\varphi$  абсолютна лінійна швидкість  $V_a$  точки  $O$  згідно з теоремою косинусів за ходом машини дорівнює [85, 104]

$$V_a = \frac{dx_o}{dt} = \sqrt{V_n^2 - 2V_n V_R \cos\left(\frac{\pi}{2} + \psi\right) + V_R^2}, \quad (2.119)$$

де  $V_n$  – поступальна швидкість руху ножа (гичкозбиральної машини), м/с;

$V_R$  – дотична швидкість переміщення ножа відносно кута повороту  $\varphi$ , м/с;

$\psi = \pi/2 - \varphi$  – кут між напрямками вектора дотичної швидкості  $\vec{V}_R$  та осі  $Oy$ .  
град.

Згідно з відомими положеннями [104] складові швидкостей (2.119) будуть

$$V_n = \frac{dx}{dt}; \quad V_R = \omega_n R_n = R_n \frac{d\varphi}{dt}, \quad (2.120)$$

де  $x$  – переміщення ножа вздовж осі  $Ox$ , м.

Підставивши (2.120) у (2.119) та враховуючи, що  $\cos(\pi/2 + \varphi) = -\cos \varphi$  маємо

$$\frac{dx_o}{dt} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + 2R_n \frac{dx}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \cos \varphi + R_n^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + R_n \frac{d\varphi}{dt} \left(2\frac{dx}{dt} \cos \varphi + R_n \frac{d\varphi}{dt}\right)}, \quad (2.121)$$

Тоді залежність, яка характеризує зміну кінетичної енергії ножа після підстановки (2.121) в (2.118) матиме вигляд (порядок спрощення залежності (2.122) наведено в додатку Б.8.4)

$$T_n = S_n R_n \rho_n \left[ \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + R_n \frac{d\varphi}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \cos \varphi + \frac{2R_n}{3} \frac{d\varphi}{dt}\right) \right]. \quad (2.122)$$

Для визначення узагальненої сили  $Q_O$  за незалежною координатою  $x$  надамо системі можливе переміщення  $\delta_x$  та визначимо сумарну елементарну роботу діючих сил, приведених у точку  $O$  на заданому переміщенні.

Сумарна елементарна робота ножа  $\sum_{i=1}^n \delta A$  (Дж) на заданому можливому переміщенні  $\delta_x$  вздовж осі  $Ox$  складається з сумарної елементарної роботи чотирьох діючих сил: сили різання  $F_{Ox}$  (Н) головки коренеплоду лезом ножа; сили тертя  $\vec{F}_{mx}$  (Н) леза ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду; сили розтягнення пружини  $F_n$  (Н), яка виникає під час повороту ножа на кут  $\varphi$ ; сили тертя  $F_{Om}$  (Н) поворотної пари «палець-втулка» шарніра, які приведені в точку  $O$ , тобто

$$\sum_{i=1}^4 \delta A = \delta_x (F_{Ox} - F_{mx} + F_n - F_{Om}), \quad (2.123)$$

де  $\delta_x$  – можливе переміщення ножа відносно осі  $Ox$ , м.



Тоді згідно з рівнянням (2.123) та рис. 2.18 маємо

$$Q_O = \frac{\delta Q_O}{\delta x} = (F_O - F_m) \cos \varphi + F_n - F_{Am} \sin \varphi, \quad (2.124)$$

де  $\delta Q_O$  – елементарна узагальнена сила, яка прикладена в точці  $O$ , Н.

Сила тертя  $F_m$  ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду визначається за формулою

$$F_m = f_B N_B = f_B m_n g = f_B S_n R_n \rho_n g, \quad (2.125)$$

де  $f_B$  – коефіцієнт тертя тіла ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду.

Силу різання  $F_O$  головки коренеплоду лезом ножа визначимо з рівності  $F_O R_n = F_B R_B$ , правомірність запису якої випливає з подібності прямокутних трикутників, попарними катетами яких є вектори сили  $\vec{F}_O$ ,  $\vec{F}_B$  та довжини  $R_n$ ,  $R_B$ , тобто

$$F_O = \frac{F_B R_B}{R_n}, \quad (2.126)$$

де  $F_B$  – сила різання головки коренеплоду ріжучої кромки леза ножа у точці контакту  $B$ , Дж;

$R_B$  – відстань від точки  $A$  повороту ножа до точки  $B$  його контакту з головкою коренеплоду, м.

Сила розтягнення циліндричної гвинтової пружини  $F_n$  згідно з [93] у даному випадку визначається за законом Гука

$$F_n = -c(x + \Delta) = -\frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z}(x + \Delta), \quad (2.127)$$

де  $\Delta$  – статичне видовження пружини, м;

У загальному векторне значення сумарної сили тертя  $F_m$  поворотної пари «палець-втулка» шарніра повороту ножа згідно з [94] визначається за формулою

$$\vec{F}_{Am} = \vec{F}'_{Am} + \vec{F}'_{An}, \text{ або } F_{Am} = \sqrt{(F'_{Am})^2 + (F'_{An})^2}, \quad (2.128)$$

де  $F'_{Am} = fF'_{An} = 2f_A p_0 l R_A$  – сила тертя поворотної пари «палець-втулка» шарніра повороту ножа (Н);  $f'$  – зведений коефіцієнт тертя пальця по втулці;  $F'_{An} = 0,5\pi p_0 l R_A$  – сила нормального тиску, Н;  $f_A$  – коефіцієнт тертя пальця по втулці;  $p_0$  – питомий розподіл тиску на площі контакту, Н/м<sup>2</sup>;  $l_A$  – довжина втулки, м;  $R_A$  – радіус втулки, м;

Якщо знехтувати силою нормального тиску  $F'_n$ , яка несуттєво впливає на процес повороту ножа, тоді сили тертя  $F_{Am}$  поворотної пари «палець-втулка» шарніра повороту ножа визнається за формулою

$$F_{Am} = 2f_A p_0 l_A R_A. \quad (2.129)$$

Таким чином, підставивши значення складових сил з рівнянь (2.125)-(2.128) у формулу (2.123), а потім у (2.125) одержимо залежності для визначення сумарної елементарної роботи ножа  $\sum_{i=1}^4 \delta A$  та узагальненої сили  $Q_O$

за незалежною координатою  $x$

$$\sum_{i=1}^4 \delta A = \delta_x \left( \frac{F_B R_B}{R_n} \cos \varphi - f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} (x_A + \Delta) - 2 f_A p_0 l_A R_A \sin \varphi \right); \quad (2.130)$$

$$Q_O = \frac{F_B R_B}{R_n} \cos \varphi - f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} (x_A + \Delta) - 2 f_A p_0 l_A R_A \sin \varphi. \quad (2.131)$$

Для подальшого аналізу розглянемо положення рівноваги системи. У положенні рівноваги системи, враховуючи (2.124), (2.126), (2.127) маємо

$$F_{Ox} = c \Delta, \text{ або } \frac{F_B R_B}{R_n} \cos \varphi = c \Delta = \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} \Delta. \quad (2.132)$$

Тоді залежність (2.130) можна записати у наступному кінцевому вигляді

$$\sum_{i=1}^4 \delta A = \left( - f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x_A - 2 f_A p_0 l_A R_A \sin \varphi \right) \delta_x, \quad (2.133)$$

а узагальнена результуюча сила  $Q_O$ , враховуючи (2.131), (2.133) визначається

$$Q_O = -f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x_A - 2 f_A \rho_o l_A R_A \sin \varphi. \quad (2.134)$$

Складемо рівняння Лагранжа II роду.

У загальному вигляді для узагальненої координати  $x$  складові вирази рівняння Лагранжа II роду мають вигляд

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = m \dot{x}; \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) = m \ddot{x}, \quad (2.135)$$

а якщо врахувати, що  $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ , тоді

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = m \ddot{x}. \quad (2.136)$$

Для складання рівняння Лагранжа II роду в залежності (2.132), яка характеризує зміну кінетичної енергії ножа  $T_n$  проведемо заміну виразу кутової

швидкості повороту леза ножа  $\frac{d\varphi}{dt} = \omega_n$  через лінійну швидкість повороту точки

$O$  леза ножа, яка під час його повороту на кут  $\varphi$  за ходом машини дорівнює

$$\frac{dx}{dt} = \omega_n R_n \cos \varphi = \frac{d\varphi}{dt} R_n \cos \varphi, \text{ або } \frac{d\varphi}{dt} = \frac{dx}{dt} \frac{1}{R_n \cos \varphi}. \quad (2.137)$$

Тоді підставивши значення  $\frac{d\varphi}{dt}$  з (2.134) у вираз (2.132) одержимо рівняння для визначення зміни кінетичної енергії руху ножа  $T_n$

$$\begin{aligned} T_n &= S_n R_n \rho_n \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{R_n}{R_n \cos \varphi} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \cos \varphi + \frac{2 R_n^2}{3 R_n^2 \cos^2 \varphi} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \right] = \\ &= S_n R_n \rho_n \left[ \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \left( \frac{3}{2} + \frac{2}{3 \cos^2 \varphi} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.138)$$

У нашому випадку, враховуючи (2.138) та згідно з (2.135) складові вирази рівняння Лагранжа II роду мають вигляд

$$\frac{\partial T_n}{\partial \frac{dx}{dt}} = S_n R_n \rho_n \left[ \frac{dx}{dt} \left( 3 + \frac{4}{3 \cos^2 \varphi} \right) \right]; \quad (2.139)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_n}{\partial \frac{dx}{dt}} \right) = S_n R_n \rho_n \left[ \frac{d^2 x}{dt^2} \left( 3 + \frac{4}{3 \cos^2 \varphi} \right) \right]; \quad \frac{\partial T_n}{\partial x} = 0. \quad (2.140)$$

Тоді враховуючи (2.134), (2.138), (2.140) та згідно з (2.112) можемо записати

$$S_n R_n \rho_n \left[ \frac{d^2 x}{dt^2} \left( 3 + \frac{4}{3 \cos^2 \varphi} \right) \right] = -f_B S_n R_n \rho_n g - \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x_A - 2 f_A p_o l_A R_A \sin \varphi, \quad (2.141)$$

або після перетворення (2.141) одержимо

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = - \frac{3 \cos^2 \varphi}{S_n R_n \rho_n (9 \cos^2 \varphi + 4)} \left[ \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x_A + f_B S_n R_n \rho_n g + 2 f_A p_o l_A R_A \sin \varphi \right]. \quad (2.142)$$

Одержана залежність у вигляді диференціального рівняння (2.142) є розрахунковою математичною детермінованою моделлю, яка характеризує процес різання головок коренеплодів лезом ножа обрізника.

Для подальшого аналізу та рішення (2.142) запишемо залежність (2.142) у наступному вигляді

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{3 \cos^2 \varphi}{S_n R_n \rho_n (9 \cos^2 \varphi + 4)} \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x_A + \frac{3 \cos^2 \varphi (f_B S_n R_n \rho_n g + 2 f_A p_o l_A R_A \sin \varphi)}{S_n R_n \rho_n (9 \cos^2 \varphi + 4)} = 0. \quad (2.143)$$

Для практичного використання неоднорідного диференціального рівняння та з метою спрощення задачі, або рішення (2.143) приймаємо припущення, що сила тертя  $F_m$  леза ножа по поверхні зрізу головки коренеплоду та сила тертя

$F_{Am}$  поворотної пари «палець-втулка» шарніра повороту ножа несуттєво впливають на процес різання й ними можна знехтувати, тобто вираз (2.143) матиме вигляд

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{3 \cos^2 \varphi}{S_n R_n \rho_n (9 \cos^2 \varphi + 4)} \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} x_A = 0. \quad (2.144)$$

У рівнянні (2.144) введемо наступне позначення

$$\frac{3 \cos^2 \varphi}{S_n R_n \rho_n (9 \cos^2 \varphi + 4)} \frac{G d_n^4}{8 D_n^3 z} = P. \quad (2.145)$$

Тоді рівняння (2.145) можна записати у вигляді однорідного лінійного диференціального рівняння, тобто

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + P x = 0. \quad (2.146)$$

Рішення однорідного лінійного диференціального рівняння (2.146) з постійними коефіцієнтами для умови вільного коливання тіла має вигляд [85]:

$$x = a \sin(v_{kn} t + \lambda), \quad (2.147)$$

де  $a$ ,  $\lambda$  – довільні постійні інтегрування;

$v_{kn}$  – частота коливання ножа, Гц.

Довільні постійні інтегрування  $a$  і  $\lambda$  визначимо виходячи з початкових умов процесу різання лезом ножа

$$t = 0; x_0 = 0; \frac{dx}{dt} = V_n, \quad (2.148)$$

або згідно з (2.95), (2.96) одержимо

$$0 = a \sin \lambda; \lambda = 0, \text{ або } \frac{dx}{dt} = v_{kn} a \cos(v_{kn} t). \quad (2.149)$$

Тоді у початковий момент процесу різання лезом ножа при  $t = 0$

$$V_n = v_{kn} a, \text{ або } a = \frac{V_n}{v_{kn}}. \quad (2.150)$$

Частоту  $v_{kn}$  та період  $T_{kn}$  вільних коливань леза ножа знаходимо з рівностей:

$$v_{kn}^2 = P, \text{ або } v_{kn} = \sqrt{P}; \quad T_{kn} = \frac{2\pi}{v_{kn}} = \frac{2\pi}{\sqrt{P}}. \quad (2.151)$$

Підставивши значення довільних постійних інтегрування  $a$ ,  $\lambda$  з (2.149)-(2.151) у рівняння (2.147) отримаємо залежність зміни величини переміщення  $x$  леза ножа обрізника та сили різання лезом плоского підпружиненого ножа під час обрізування головок цукрових буряків від залишків гички, тобто

$$x = \frac{V_n}{v_{kn}} \sin v_{kn} t = \frac{V_n}{\sqrt{P}} \sin(t\sqrt{P}), \quad (2.152)$$

або

$$\sin(t\sqrt{P}) = \frac{1}{V_n} x \sqrt{P}. \quad (2.153)$$

Розв'яжемо залежність (2.153) відносно  $1/V_n$  шляхом розкладання функції  $\sin(t\sqrt{P})$  в ряд Тейлора, обмежившись при цьому першими двома членами [85].

Тоді одержимо

$$\frac{1}{V_n} = \frac{t\sqrt{P} - \frac{t^3 \sqrt{(P)^3}}{3!}}{x\sqrt{P}}. \quad (2.154)$$

Після перетворення залежності (2.103) отримаємо

$$\frac{1}{V_n} = \frac{t}{x} - \frac{Pt^3}{6x}, \quad (2.155)$$

або

$$P = \frac{6(tV_n - x)}{t^3V_n}. \quad (2.156)$$

Тому, що час переміщення леза ножа  $t = x/V_n$ , тоді залежність (2.156) матиме вигляд:

$$P = \frac{6(xV_n^2 - x)}{x^3}. \quad (2.157)$$

Зробивши зворотну підстановку значення  $P$  з (2.145) у рівняння (2.157) та враховуючи, що  $\frac{Gd_n^4}{8D_n^3z} = c$ , а  $S_n R_n \rho_n = m_n$  і розв'язавши рівняння відносно  $P_A$  одержимо рівняння для визначення сили різання лезом ножа обрізника

$$P_A = \frac{r}{2r_A \cos \varphi} \left[ \frac{cgt^3V_M}{3} - \frac{P_n}{\cos^2 \varphi} \right]. \quad (2.158)$$

або

$$P_A = \frac{rg}{2r_A \cos \varphi} \left( \frac{cx^3}{3V_M^2} - \frac{m_n}{\cos^2 \varphi} \right), \quad (2.159)$$

При початкових умовах  $r = 0,3$  м (довжина ножа),  $r_A = 0,15$  м (довжина ножа до точки контакту з коренеплодом),  $\varphi = 30^\circ$  (кут повороту ножа обмежений упорами),  $V_M = 1,5$  м/с (швидкість гичкозбирального модуля),  $c = 70$  (жорсткість пружини), згідно формули (2.107) побудовано залежність зміни сили різання як функції  $P_A = f(x, m_n)$ , яку наведено на рис. 2.23.

На рис. 2.24. наведено залежність зміни сили різання  $P_A$  від поступальної швидкості гичкозбирального модуля  $V_M$ , тобто  $P_A = f(V_M)$  при постійних значеннях інших складових залежності (2.159).

Аналіз наведених графічних залежностей показує, що сила різання  $P_A$  збільшується прямо пропорційно збільшенню переміщення ножа  $x$  і практично не залежить від зміни маси ножа  $m_n$  в межах від 0,1 до 0,25 кг при  $V_M = const$  (рис. 2.23, рис. 2.24а).

При цьому залежно від переміщення ножа  $x$  знаходиться в межах 4...60 Н. Але подальше графічне моделювання залежності зміни сили різання  $P_A$  від маси ножа  $m_n$ , коли  $m_n > 0,5$  кг показало, що зміна  $P_A$  залежно від  $m_n$  також носить прямо пропорційний характер.

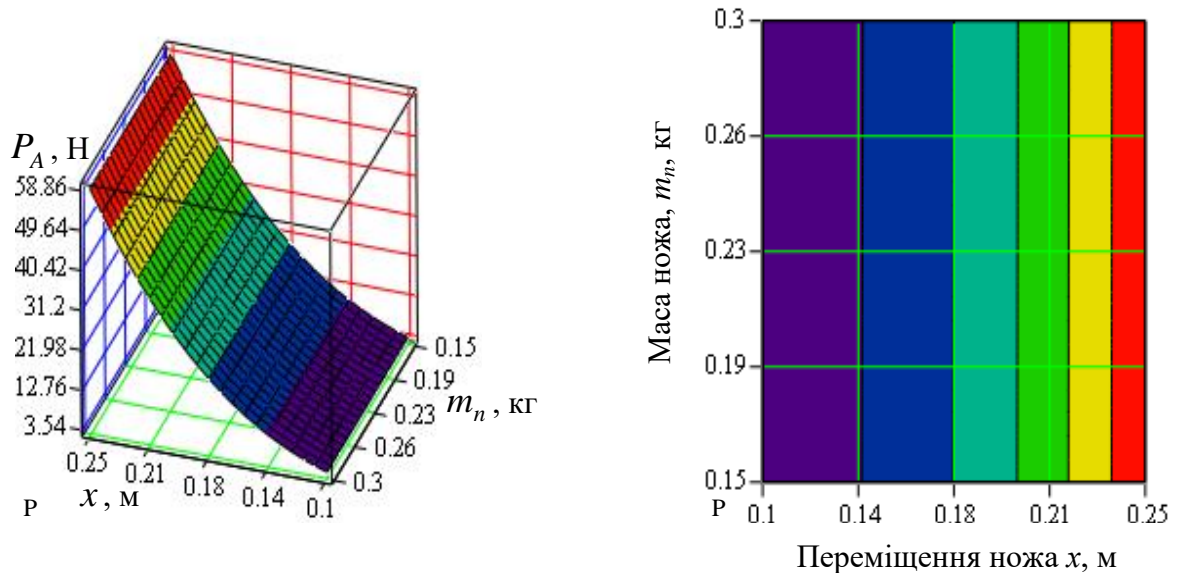


Рисунок 2.23 – Залежність зміни сили різання від переміщення та маси ножа,  $P_A = f(x, m_n)$

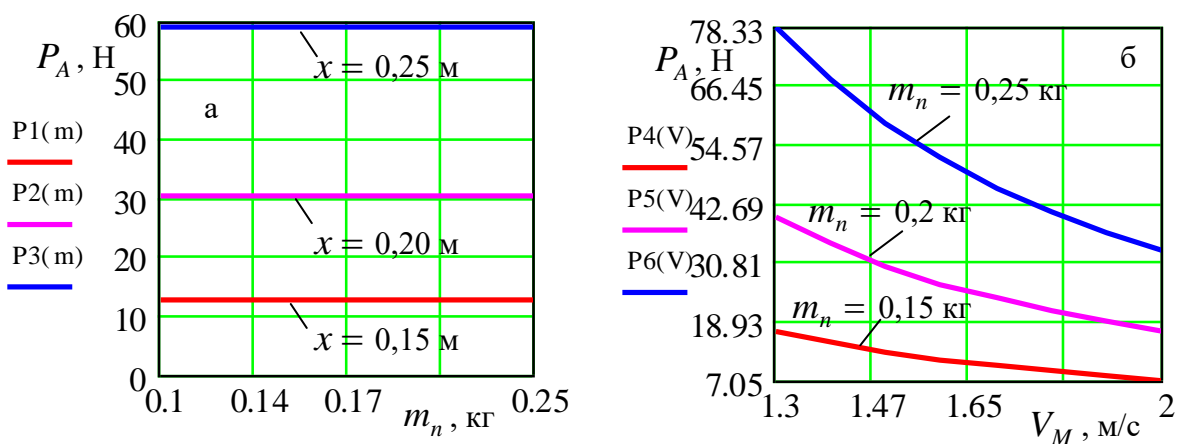


Рисунок 2.24 – Залежність сили різання  $P_A$ : а – від зміни маси ножа  $m_n$ ; б – від зміни поступальної швидкості руху машини  $V_M$

Залежно від поступальної швидкості руху обрізника, зміна сили різання  $P_A$  носить параболічний характер (рис. 2.24б) і зі збільшенням швидкості руху від 1,3 до 2,0 м/с зменшується приблизно в 2 рази, а зі збільшення маси ножа від 0,15 до 0,25 кг збільшується приблизно у 4 рази.



## 2.6. Висновки до розділу

2.6.1. У межах зміни швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с, урожайності гички в межах 1,5...2,0 кг/м<sup>2</sup> (150...200 ц/га), густоти насадження коренеплодів в межах 5...11 шт./м<sup>2</sup> та за одночасного збирання коренеплодів з 6 рядків секундна подача та питома маса зрізаної та укладеної у зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів становить, відповідно, 9...94 кг/с та 8...32 кг/м<sup>2</sup>.

2.6.2. За середньої урожайності гички великорозмірних довгоплідних коренеплодів 170...190 ц/га, або відповідно, 1,7...1,9 кг/м<sup>2</sup> та усередненого значення робочої швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с середнє значення секундної подачі гички становить від 60 до 80 кг/с, питома подача гички – від 25 до 30 кг/м<sup>2</sup>.

2.6.3. На основі аналізу системи рівнянь, яка характеризує розмірні значення початкових частин подрібнених стебел гички ножем роторного гичкоріза встановлено, що зі збільшенням частоти обертання  $n_x$  ротора гичкоріза розмірні значення  $X_k$  зменшуються на 15...20 %, а значення  $Y_k$  зростають на 20...25 %, при цьому мінімальні значення  $X_k \rightarrow \min$ ,  $Y_k \rightarrow \min$  досягаються за найменших значень швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$  і діаметра ротора  $D_p$ .

2.6.4. Збільшення швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$  від 1,4 до 2,2 м/с призводить до збільшення абсолютної величини  $X_k$  і  $Y_k$  на 8...13 %, а збільшення радіуса розташування кромки ножів від 0,4 до 0,8 м спричиняє зростання  $X_k$  і  $Y_k$  на 5...8 см.

2.6.5. Встановлено, що за діаметра роторного гичкоріза 0,35...0,4 м, частоти обертання роторного гичкоріза 62,8 рад/с або колової швидкості Г-подібного ножа 11,0...12,6 м/с, кут між напрямком вильоту зрізаної гички з Г-подібного ножа та напрямком біжучого радіуса роторного гичкоріза становить 85 град., а раціональний кут між напрямком вектора доударної швидкості та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару знаходиться в діапазоні 30...35 град.

2.6.6. За значення кута  $\varepsilon_{1рац.} = 30...35$  град. початкова швидкість руху зрізаної частинки гички знаходиться у діапазоні  $\mathcal{G}_0 = 9,5...10,5$  м/с, а на виході з вихідної горловини  $\mathcal{G}_c = 2,5...3,5$  м/с, при цьому час переміщення гички по направляючому каналу становить  $0,15...0,2$  с.

2.6.7. З умови не вивалювання та не пошкодження коренеплодів, або допустимої горизонтальної і нормальної сили, відповідно,  $[P_{c.max}] = 220$  Н і  $[P_{n.max}] = 350$  Н встановлено, що швидкість руху ГМ повинна бути в межах  $1,6 \leq V_M \leq 1,9$  (м/с), кут встановлення копіра відносно горизонталі –  $20 \leq \varphi_k \leq 35$  (град), кут встановлення пружини паралелограмної підвіски відносно горизонталі –  $45 \leq \beta \leq 60$  (град), а мінімальна маса рухомих частин обрізника –  $6...8$  (кг).

2.6.8. Сила різання  $P_A$  головок коренеплодів ножем обрізника збільшується прямо пропорційно збільшенню переміщення ножа  $x$  та знаходиться в межах  $4...60$  Н і практично не залежить від зміни маси ножа  $m_n$  в межах від  $0,1$  до  $0,25$  кг при  $V_M = const$ , при цьому з збільшенням  $V_M$  від  $1,3$  до  $2,0$  (м/с) і маси ножа від  $0,15$  до  $0,25$  (кг) зменшується приблизно в 2 та збільшується у 4 рази.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

#### 3.1. Програма, об'єкт і предмет дослідження робочих органів гичкозбирального модуля

Згідно з сформульованою метою дисертаційної роботи та поставлених наукових завдань, а також для перевірки адекватності результатів теоретичних досліджень технологічного процесу зрізування основного масиву гички з головок коренеплодів і укладання подрібненої гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, а також дослідження технологічного процесу обрізування залишків гички з головок коренеплодів програма експериментальних досліджень була такою:

1. Розробити технічну документацію та виготовити удосконалені робочі органи експериментального зразка гичкозбирального модуля.

2. Провести польові експериментальні дослідження для розробки емпіричних моделей, які характеризують:

- функціональну залежність зміни секундної подачі та питомої маси основного масиву гички, яка зрізуються ножами роторного гичкоріза та укладається в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від основних параметрів процесу;

- ступінь зрізування основного масиву гички роторним гичкорізом залежно від параметрів і режимів роботи;

- ступінь видалення залишків гички з головок коренеплодів залежно від конструктивних параметрів обрізника та робочої швидкості руху гичкозбирального модуля.

3. Провести порівняльні польові дослідження показників якості роботи коренезбиральної машини для двох способів збирання основного масиву гички:

- укладання зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів;

- укладання зрізаної гички в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів.

4. Визначити основні агротехнічні показники якості збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем у польових умовах залежно від параметрів процесу.

5. Визначити показники ефективності використання удосконаленого гичкозбирального модуля, обладнаного розробленим обрізником залишків гички та базової машини на основі проведення порівняльних досліджень.

Об'єктом дослідження експериментального зразка гичкозбирального модуля та його робочих органів є основні операції технологічного процесу зрізування основного масиву гички та її укладання в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів, а також основні операції обрізування залишків гички з головок коренеплодів.

Предметом дослідження є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля.

Для реалізації експериментальних досліджень з визначення технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію застосовували розроблений макетний зразок удосконаленого гичкозбирального модуля.

Конструктивна схема гичкозбирального модуля наведена на рис. 1.30. Загальний вигляд експериментального макетного зразка гичкозбирального модуля наведено на рис. 3.1, рис. 3.2, додаток В.1.1. Технічна характеристика та конструктивні особливості гичкозбирального модуля наведено в додатку В.2.1.

Гичкозбиральний модуль складається з рами 1 (рис. 3.1) на якій послідовно встановлено опорні колеса 2, горизонтальний роторний гичкоріз 3. Горизонтальний роторний гичкоріз виконано у вигляді барабана 6, на якому встановлено Г-подібні пластинчасті плоскі ножі 7 [41, 108]. Кожен Г-подібної форми пластинчастий ніж за допомогою опорних пластин, які закріплено на барабані роторного гичкоріза та пальця, встановлено шарнірно, а його радіальний поворот в шарніри обмежено упором. На барабані роторного гичкоріза між суміжними Г-подібними ножами, або в одному міжрядді встановлено пару ділильних дисків 8.

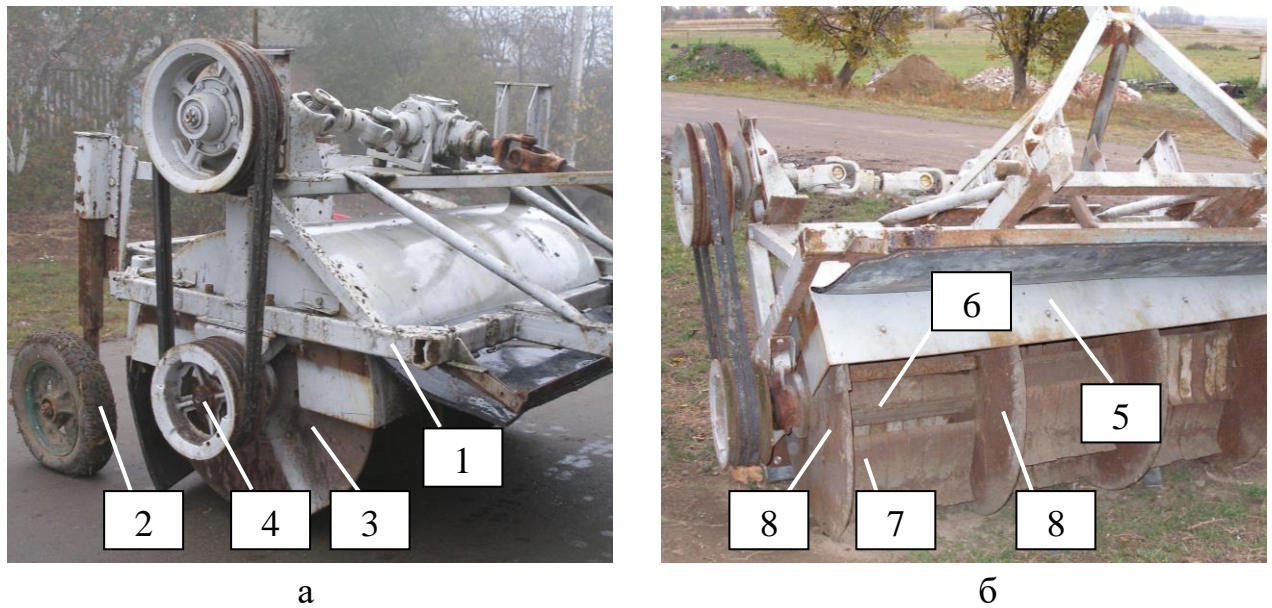


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд гичкозбирального модуля:

а, б – вигляд збоку, спереду; 1 – рама; 2 – опорне колесо; 3 – роторний гичкоріз; 4 – клинопасова передача; 5 – направляючий кожух; 6 – барабан; 7 – Г-подібний ніж; 8 – ділильні диски

Роторний гичкоріз за рахунок клинопасової передачі 4 обертається зустрічно напрямку руху гичкозбирального модуля з частотою обертання  $n_p$ , а висота зрізування основного масиву гички регулюється вертикальними переміщеннями опорних коліс на рамі.

Над верхньою частиною периферії обертання роторного гичкоріза встановлено направляючий кожух 5, на внутрішній частині якого закріплено боковини, які утворюють направляючий канал для транспортування зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза основного масиву гички коренеплодів. За вихідною горловиною направляючого каналу встановлено фартух.

Принцип роботи гичкозбирального модуля наступний.

Під час переміщення трактора 4 (рис. 3.2) та відповідно гичкозбирального модуля 1 вздовж рядків коренеплодів і обертання від ВВП трактора приводу 7 та передачі обертання приводу клинопасовій передачі 8, або відповідно, і барабану 8 (рис. 1.30) горизонтального роторного гичкоріза 3, Г-подібні ножі 9 зрізують основний масив гички та подають її за рахунок створеного повітряного потоку до вхідної горловини 6 направляючого каналу 5.

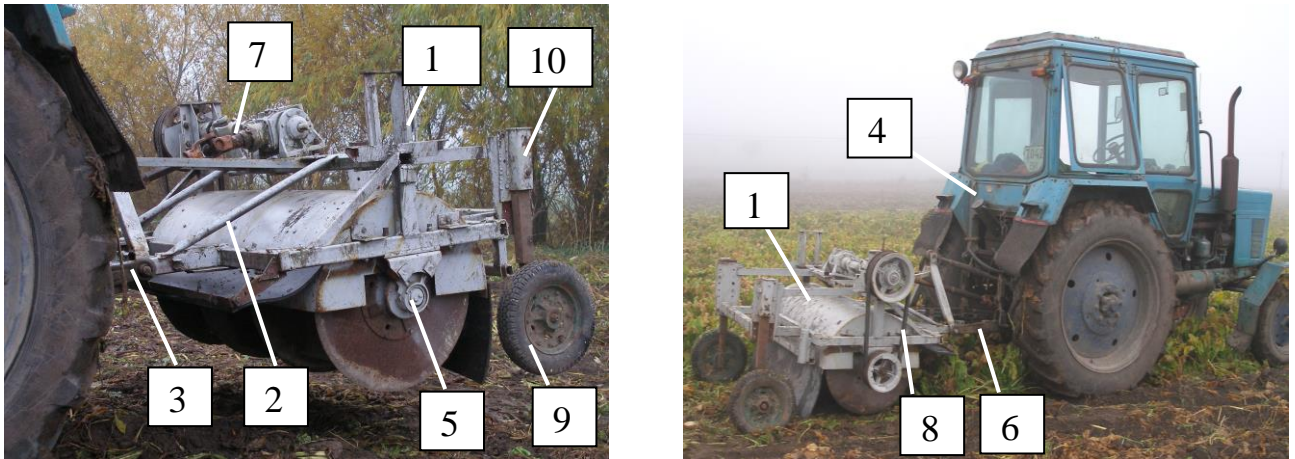


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд агрегату «ГМ+МТЗ-82»:

- 1 – гичкозбиральний модуль; 2 – сниця; 3 – начіпна система трактора;  
 4 – трактор; 5 – роторний гичкоріз; 6 – ВВП трактора; 7 – привод роторного  
 гичкоріза; 8 – клинопасова передача; 9 – опорне колесо; 10 – стояк;  
 11 – рама

Далі зрізана гичка переміщується (транспортується) по траєкторії профілю направляючого каналу до його вихідної горловини 7, де відбувається вивантаження гички та її подальше переміщення до фартуха 11.

Після взаємодії гички з поверхнею фартуха вона переміщується на поле в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону між двома суміжними ділильними дисками 10, що розташовані у одному міжрядді незібраних коренеплодів.

Гребінчастий копір 14 (рис. 1.31) обрізника 6 залишків гички наїжджає на головку коренеплодів з залишками гички (копіює головки коренеплодів) і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски 18 передає це переміщення гребінчастого копіра пасивному ножу 20. Ніж 20, рухаючись поступально напрямку руху гичкозбирального модуля по головці коренеплодів, обрізує залишки гички на головках коренеплодів [106].

Для проведення польових порівняльних досліджень процесу викопування коренеплодів цикорію і дослідження впливу запропонованого способу збирання основного масиву гички на основні показники якості роботи коренезбиральної машини було застосовано польову установку, конструктивно-компонувальну схему якої наведено на рис. 3.3, а загальний вигляд – на рис. 3.4.

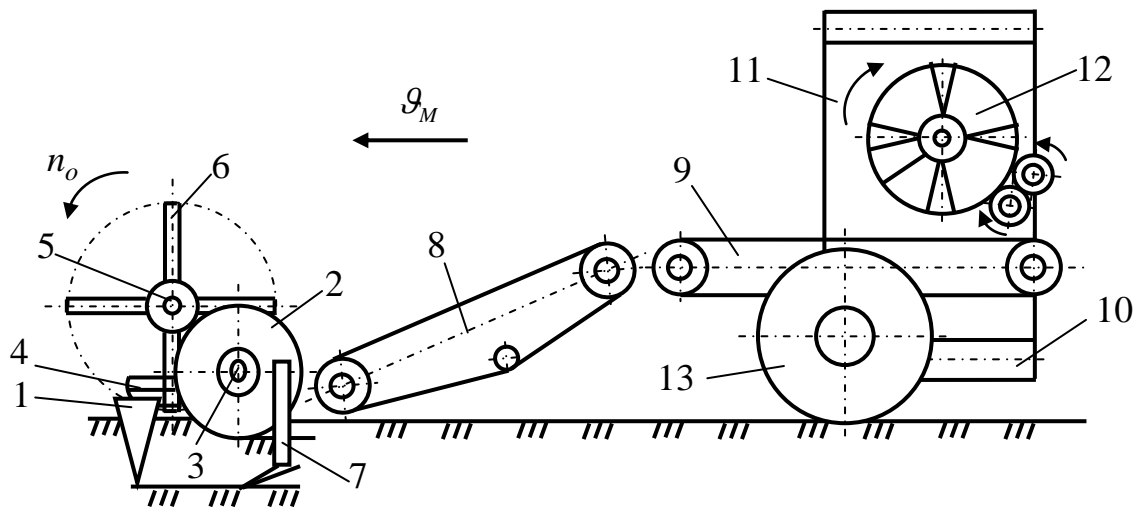


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема польової установки:

- 1 – коренеплід; 2 – односторонній сферичний диск; 3 – вісь обертання диска; 4 – корененапрямник; 5 – приводний горизонтальний вал; 6 – пружні очисні лопаті; 7 – розрихлювач; 8-11 – відповідно, позовжній похилій, горизонтальній, поперечний, вивантажувальний транспортери; 12 – очисна система вороху коренеплодів; 13 – опорне колесо

На рис. 3.5 наведено загальний вигляд викопуючого пристрою крупних коренеплодів.

Базовими вузлами польової експериментальної установки є викопуючий пристрій, який призначений для викопування довгоплідних коренеплодів, наприклад, коренеплодів цикорію, система транспортерів 8-11, очисна система вороху коренеплодів 12.

Викопуючий пристрій складається із одностороннього сферичного диска 2 (рис. 3.3), який встановлено з кутом атаки відносно напрямку рядка коренеплодів, або руху коренезбиральної машини, встановленого над ним приводного горизонтального вала 5 з пружними очисними лопатями 6 та розміщеного за сферичним диском розрихлювача 7.

Очисна система вороху коренеплодів являє собою горизонтальний транспортер 9 над яким із зазором встановлено гвинтовий конвеєр з очисними пружними елементами, які закріплено між витками шнека, а за шнеком встановлено пара циліндричних відминальних вальців, які обертаються назустріч один одному.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд полової експериментальної установки,  
вигляд збоку

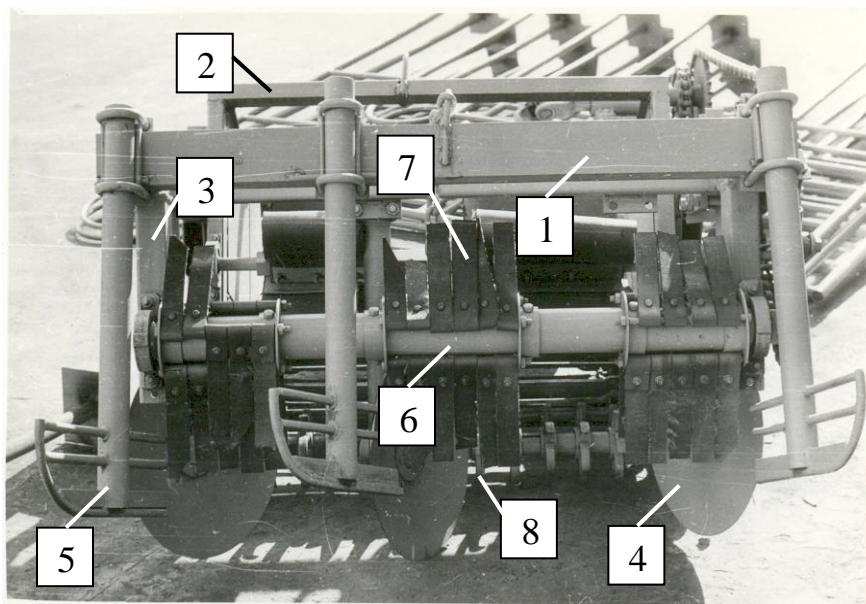


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд викопуючого пристрою: 1 – рухома рама; 2 – основна рама; 3 – стояк сферичного диска; 4 – сферичний диск; 5 – корененапрячник; 6 – очисний вал; 7 – пружні очисні лопаті; 8 – розрихлювач

Процес викопування коренеплодів є таким.

Попередньо основний масив гички зрізують роторним гичкорізом гичкозбиральної машини, наприклад, МБП-2,7 на рівні високостоячих коренеплодів.



Під час руху коренезбиральної машини розрихлювач 7 (рис. 3.3) руйнує зв'язок коренеплодів з ґрунтовим середовищем на глибині ходу розрихлювача, а сферичний диск 2 одночасно викопує довгоплідні коренеплоди.

Також одночасно з процесом викопування коренеплодів відбувається очищення їх головок від залишків гички за рахунок ударної взаємодії лопатей 6 приводного горизонтального вала 5. Крім того, лопаті проштовхують викопаний ворох коренеплодів на позовжній похилий транспортер 8.

Похилий транспортер 8 переміщує ворох коренеплодів до горизонтального транспортера 9, а далі до шнекового конвеєра очисної системи 12, де відбувається очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних домішок. Очищені коренеплоди витками шнека очисної системи переміщуються на позовжній транспортер 10, а далі на вивантажувальний транспортер 11. Вивантажувальний транспортер завантажує коренеплоди в транспортний засіб.

Копач має опорні копіювальні колеса із механізмом регулювання глибини ходу сферичних дисків і розрихлювача, а коренезбиральна машина – елементи гідравлічного обладнання.

Привод робочих органів здійснюється від ВВП трактора МТЗ-82.

Технічну характеристику польової установки, або причіпної коренезбиральної машини наведено в додатку В.3.1.

Для реалізації польових експериментальних досліджень впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів удосконаленого гичкозбирального модуля на показники якості роботи збирання гички цукрових буряків та проведення порівняльних досліджень з базовою машиною використано дослідний зразок удосконаленої причіпної гичкозбиральної машини МБП-6, яку розроблено в СКБ ПАТ “ДКЗ”.

Конструктивно-компонувальна схема удосконаленого гичкозбирального модуля наведена на рис. 1.31, її технічна характеристика – у додатку В.4.1. Схема базової машини МБП-6 наведена на рис. 3.6, загальний вигляд – у додатку В.5.1. Агрегатується машина з тракторами МТЗ-82, МТЗ-100/102, Т-70С тягового класу 1,4 і 2. Фронтально розміщені робочі органи машини приводяться в рух від ВВП трактора.

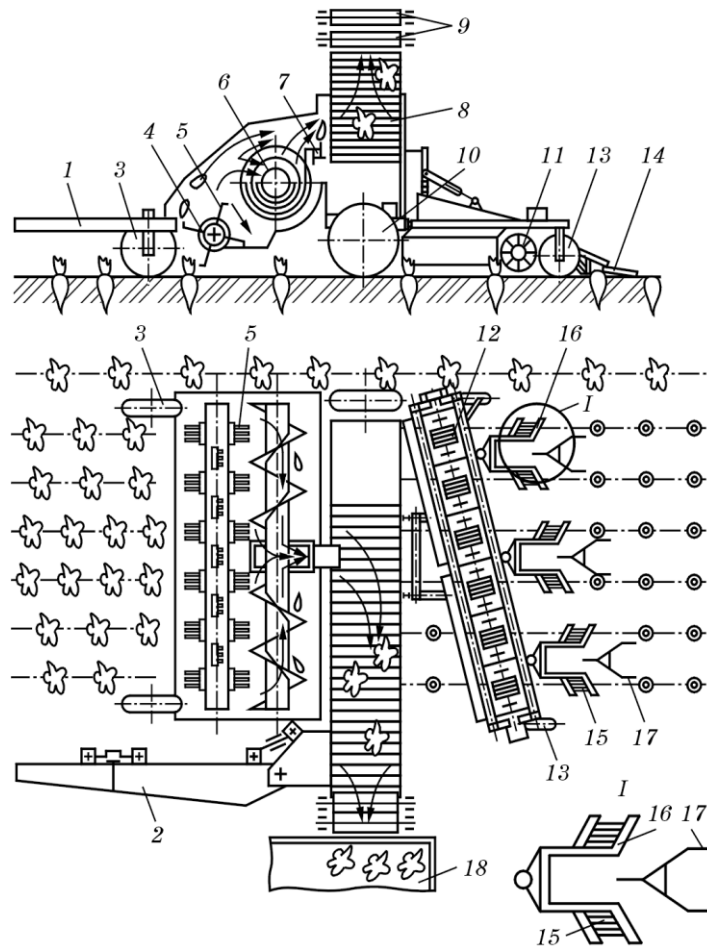


Рисунок 3.6 – Конструктивно-технологічна схема гичкозбиральної машини МБП-6:1 – основна рама; 2 – причіпний пристрій; 3, 13 – копіювальне колесо; 4 – ротор; 5 – секція молоткових ножів; 6 – шнековий конвеєр; 7 – лопатевий бітер; 8 – вивантажувальний елеватор; 9 – бітер-метальник; 10 – опорне колесо; 11 – очисник головок коренеплодів; 12 – очисні елементи; 14 – обрізник головок; 15 – гребінчастий копір; 16 – пасивний ніж; 17 – пасивний копір-водій; 18 – кузов транспортного засобу

Удосконалення базової гичкозбиральної машини МБП-6 полягало у наступному: існуючий пасивний обрізник залишків гички типу «пасивний копір-пасивний ніж» (вигляд I рис. 3.6), який виконував операцію видалення залишків гички з головок коренеплодів, які залишалися після збирання основного масиву гички роторним гичкорізом було демонтовано, а на його місце встановлено удосконалений обрізник залишків гички, конструктивне оформлення якого було виконано згідно з схемою, яка наведена на рис. 1.20.

Гичкозбиральна машина МБП-6 (рис. 3.6) складається з основної рами 1, на якій змонтовано причіпний поворотний пристрій 2; фронтально розміщеного ротора 4, на якому вздовж його осі обертання шарнірно закріплені секції молоткових ножів 5. Для якісного зрізування гички з коренеплодів у зоні рядка ножі 5 на роторі 4 встановлені в два ряди зі зміщенням на  $180^\circ$ , а в зоні міжрядь – в один ряд. Над ротором 4, який обертається в напрямку руху машини, фронтально встановлено шнековий конвеєр 6, ліва і права частини якого мають протилежне спіральне навивання. В центральній частині шнекового конвеєра 6 змонтовано лопатевий бітер 7 кидального типу. На основній рамі 1 встановлено також вивантажувальний елеватор 8, у верхній частині якого розміщено два лопатевих бітери-метальники 9; копіювальні 3 і опорні 10 колеса; одновальний очисник головок коренеплодів 11, очисні елементи 12 якого аналогічні очисним елементам доочисника ГМ БМ-6Б; копіювальні колеса 13 і пасивний обрізник головок 14, виконаний у вигляді трьох пар пасивних гребінчастих копирів 15, ножів 16 і пасивних копирів-водіїв 17; гідросистему та механізми приводу і піднімання очисника [107].

Для зменшення габаритних розмірів машини при транспортних переїздах вивантажувальний елеватор виготовлений із двох частин, верхню частину якого можна складати за допомогою спеціального гідроциліндра.

Технологічний процес роботи гичкозбиральної машини наступний.

Копіювальними колесами 3 і 13 встановлюють певну висоту зрізу гички коренеплодів (по високостоячих коренеплодах) і розміщення очисних елементів очисника головок 11 відносно поверхні ґрунту. Трактор переміщується по зібраному полю, не приминаючи гичку і не пошкоджуючи коренеплоди своїми колесами. Під час руху гичкозбиральної машини молоткові ножі 5 ротора 4 зрізують гичку коренеплодів і закидають її на шнековий конвеєр 6, де його ліва і права частини спірального навивання пересувають гичку в центральну частину до лопатевого бітера 7, який унаслідок обертання подає її на вивантажувальний елеватор 8. Цим конвеєром гичка подається у верхню частину до двох бітерів-метальників 9, які спрямовують її в кузов

транспортного засобу 18, що рухається поряд із машиною. Одночасно із зрізуванням і транспортуванням гички очисні елементи 12 одновалового очисника головок коренеплодів 11 очищують головки від залишків гички на низькостоячих коренеплодах, землі та інших домішок і зміщують їх вбік на зібране поле за рахунок розміщення очисного вала очисника 11 під кутом до поперечної осі. Пасивні копирі-водії 17 спрямовують обрізник головок 14 у міжряддя коренеплодів, а пасивні гребінчасті копирі 15 обрізника 14 наїжджають на головки коренеплодів і копіюють їх. При цьому пасивні ножі 16 на встановленій висоті обрізують головки буряків.

Первинне регулювання гичкозбиральної машини на потрібну висоту зрізу (як правило, на висоту головок коренеплодів, які максимально виступають над рівнем ґрунту) і розміщення очисних елементів 12 очисника головок коренеплодів 11 виконують на рівному майданчику за допомогою копіювальних коліс 3 і 13. Зазор між нижньою кромкою гребінчастого копіра 15 і лезом пасивного ножа 16 регулюють перестановкою відповідних положень кронштейнів копіра і ножа.

Потім безпосередньо в полі після проходу контрольних ділянок 5...7 м завдовжки візуально визначають якість зрізування і підбирання гички, очищення головок від її залишків і обрізування головок.

Змінюючи довжину регульованих тяг сніці причіпного пристрою 2, добиваються водіння гичкозбиральної машини точно по рядках коренеплодів. Чим точніше буде рухатися машина по рядках, тим краще виконуватиметься технологічний процес.

Технічна характеристика порівняльних гичкозбиральних машин наведена у табл. 1.Б.6.1 додатка Б.6.1.

Основним завданням проведення експериментів, які функціонально описують процес роботи гичкозбирального модуля, є встановлення характеру впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів роторного гичкоріза та обрізника залишків гички та їх сумісної взаємодії на основні агротехнічні показники якості роботи об'єкта дослідження.

Структурну модель об'єкта дослідження (гичкозбирального модуля) з позиції системного аналізу, або ідентифікації об'єкта дослідження представлено у вигляді так званого кібернетичного поняття “чорний ящик” [108-110], або багатовимірної структурної технологічної моделі “вхід – вихід” (рис. 3.7).

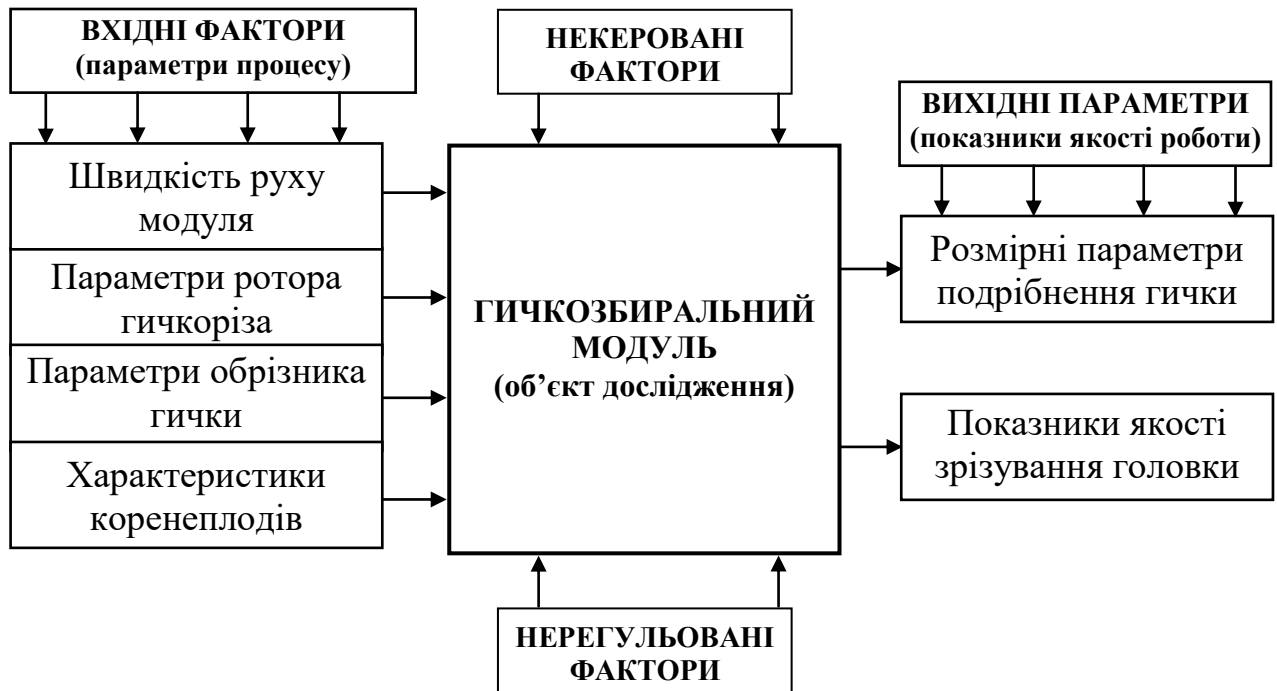


Рисунок 3.7 – Загальна схема структурної моделі модуля

Вхідними незалежними змінними величинами, які впливають на показники якості технологічного процесу роботи гичкозбирального модуля, або змінними факторами даної структурної моделі, є агробіологічні характеристики насаджень коренеплодів і конструктивно-кінематичні параметри модуля, або параметри процесу, а вихідними параметрами, або параметрами оптимізації – основні технологічні показники подачі зрізаної та подрібненої гички в міжряддя невикопаних коренеплодів і показники якості збирання гички коренеплодів.

Дослідження побудованої даної структурної моделі гичкозбирального модуля виконано на основі реалізації загальновідомої методики побудови, планування, обробки та аналізу результатів проведених багатofакторних планованих експериментів.

### 3.2. Методика проведення експериментальних досліджень з визначення технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів

Для перевірки адекватності отриманих аналітичних моделей (2.18) і (2.19) було проведено експериментальні дослідження 3-х рядного модуля для збирання гички коренеплодів цикорію на основі побудови та реалізації планованих факторних експериментів. Конструктивна схема гичкозбирального модуля наведена на рис. 1.30. Загальний вигляд 3-х рядного гичкозбирального модуля для збирання гички коренеплодів цикорію, які посіяно з шириною міжряддя  $b_k = 0,45$  м, або шириною захвату гичкозбирального модуля 1,35 м наведена на рис. 3.1, рис. 3.2.

Експерименти проводили на дослідних полях посівів коренеплодів цикорію сорту Софіївський 7 Хмельницької державної науково-дослідної сільськогосподарської станції.

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну секундної подачі  $P_p$  (кг/с) та питомої маси  $M_{np}$  (кг/м<sup>2</sup>) гички, яка зрізана та укладена у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками залежно від параметрів процесу, вибирали симетричний план планованого трифакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами.

При цьому змінними факторами приймали: швидкість руху модуля  $\mathcal{G}_M$ , яку кодували індексом  $\mathcal{G}_M \rightarrow x_1$ ; урожайність гички  $U_p \pm \Delta U_p$ , яку кодували індексом  $U_p \pm \Delta U_p \rightarrow x_2$ ; густоту насаджень коренеплодів цикорію  $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$ , яку кодували індексом  $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k \rightarrow x_3$  [40, 120].

Реалізацію польових експериментальних досліджень проводили згідно з структурною схемою, яку наведено на рис. 3.8.

Порядок побудови та проведення експериментальних досліджень з визначення апроксимуючої математичної моделі як функції у кодованих значеннях факторів  $P_p = f_{II}(x_1; x_2; x_3)$  і  $M_{np} = f_M(x_1; x_2; x_3)$ , або у натуральних

значеннях  $P_p = f_{II}(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p; \Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k)$  і  $M_{np} = f_M(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p; \Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k)$ , яка на емпіричному рівні характеризує зміну секундної подачі  $P_p$  (кг/с) та питомої маси  $M_{np}$  (кг/м<sup>2</sup>) гички, яка зрізана та укладена у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками був наступним:

- визначення змінних вхідних факторів і проведення кодування факторів;
- встановлення верхнього, нижнього рівнів і інтервалу варіювання фактора;
- складання план-матриці проведення факторних експериментів;
- проведення рандомізації складеної план-матриці;
- реалізацію експериментів згідно з нумерованим порядком проведення рандомізованої план-матриці;
- обробку експериментального масиву даних з метою одержання рівняння регресії вихідного параметра з визначенням вигляду апроксимуючої функції та її невідомих коефіцієнтів;
- перевірку відтворюваності одержаних функціональних даних експериментальному масиву даних;
- оцінку значущості коефіцієнтів регресії емпіричної моделі за відповідним критерієм;
- перевірку адекватності отриманої математичної моделі реальному експериментальному процесу за встановленим критерієм.

При побудові план-матриці експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторами, відповідно +1, -1, 0 [144], тобто трифакторний експеримент з визначення зміни секундної подачі  $P_p$  (кг/с) та питомої маси  $M_{np}$  (кг/м<sup>2</sup>) гички, яка зрізана та укладена у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками провели на трьох рівнях варіювання змінних факторів, або реалізували планований факторний експеримент типу ПФЕ 3<sup>3</sup>.

Оскільки при проведенні експериментів незалежні фактори неоднорідні і мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають їх значення – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від введених позначень кодованих величин до дійсних (натуральних) значень.

Зв'язок між кодованими  $x_i$  та натуральними  $X_i$  значеннями змінних вхідних факторів планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  встановлювали згідно з залежністю [145]:

$$X_i = (x_i - x_0) / \Delta x_i, \quad (3.1)$$

де  $x_{i0}$  – значення  $i$ -го фактору на нульовому рівні;

$x_i$  – натуральне позначення  $i$ -го фактору.

Нульовий рівень  $x_0$ , або середнє значення та інтервали варіювання  $\Delta x_i$  кожного діючого змінного фактора, визначали за формулами [145]:

$$x_0 = 0,5(x_{max} + x_{min}), \quad \Delta x_i = 0,5(x_{max} - x_{min}), \quad (3.2)$$

де  $x_0$ ,  $x_{max}$ ,  $x_{min}$  – значення нульового, верхнього та нижнього рівнів фактора;

$\Delta x_i$  – числове значення інтервалу варіювання  $i$ -го фактора.

Рівні варіювання факторами наведено у таблиці 3.1.

Технічна характеристика польової установки гичкозбирального модуля наведена в додатку В.2.1.

При цьому інші параметри макетного зразка гичкозбирального модуля становили:

- частота обертання ножів роторного гичкоріза – 610 об/хв;
- відстань між двома суміжними ділильними дисками –  $b_n = 0,3$  м;
- час проведення одного експерименту становив  $t = 5$  с.

При цьому, відповідно, довжина  $L_{\varrho}$  залікової ділянки посівів коренеплодів цикорію була такою:

- за швидкості руху гичкозбирального модуля рівною 1,2 м/с –  $L_{1,2} = 6$  м;
- за швидкості руху гичкозбирального модуля рівною 1,4 м/с –  $L_{1,4} = 7$  м;
- за швидкості руху гичкозбирального модуля рівною 1,6 м/с –  $L_{1,6} = 8$  м.

Умови проведення досліджень і загальну характеристику культури та залікової ділянки поля наведено у додатку В.7.2, при цьому наведені показники визначали згідно з стандартними методиками [137, 138].



Таблиця 3.1 – Назва, рівні та інтервал варіювання факторами

Фактори	Інтервал варіювання	Рівні варіювання факторами		
		Нижній (-1)	Нульовий (0)	Верхній (+1)
Швидкість руху модуля $g_M$ , м/с	0,2	1,2	1,4	1,6
Урожайність гички $U_p + \Delta U_p$ , кг/м <sup>2</sup>	0,2	1,2 + 0,2	1,4 + 0,2	1,6 + 0,2
Урожайність гички $U_p - \Delta U_p$ , кг/м <sup>2</sup>	0,2	1,6 – 0,2	1,8 – 0,2	2,0 – 0,2
Густота насаджень коренеплодів $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k$ , шт./м <sup>2</sup>	2	5 + 2	7 + 2	9 + 2
Густота насаджень коренеплодів $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$ , шт./м <sup>2</sup>	2	9 – 2	11 – 2	13 – 2

Густоту насадження рослин у тисячах штук на один гектар визначали шляхом множення кількості довжини рядків на гектарі на число рослин на одному метрі рядку, тобто

$$\Gamma_k = k \cdot n, \text{ тис. шт./га}, \quad (3.3)$$

де  $k = 22222$  м – число погонних метрів рядка за якого площа посіву коренеплодів з шириною міжряддя 0,45 м рівна 1 га;

$n$  – середнє число рослин на одному погонному метрі, шт.

Біологічний урожай гички залікової ділянки визначили за формулою

$$U_s = \frac{q}{S}, \text{ кг/м}^2 \quad (3.4)$$

де  $q$  – маса гички з облікової площадки, кг,

$S$  – площа облікової ділянки, м<sup>2</sup>.

Густоту насадження та урожайність гички коренеплодів цикорію визначали перед початком і після закінчення залікової ділянки, довжину якої (початок і закінчення) позначали прапорцями.

Порядок реалізації польових експериментальних досліджень з визначення зміну секундної подачі  $P_p$  та питомої маси  $M_{np}$  гички проводили за стандартними методиками при трикратній повторюваності кожного експерименту згідно з положеннями [139].

План-матрицю проведення експерименту типу ПФЕ  $3^3$  наведено у додатку В.8.2. Вплив неконтрольованих факторів усували шляхом розробки рандомізованої план-матриці проведення експерименту типу ПФЕ  $3^3$ , яку наведено у додатку В.9.2.

Послідовність проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці планованого експерименту типу ПФЕ  $3^3$ .

Порядок проведення, умови відбору проб і визначення технологічної подачі гички у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію проводили за стандартними методиками згідно з встановленими положеннями [137, 138].

Після проходження гичкозбирального модуля відповідної залікової ділянки коренеплодів цикорію зрізану та укладену гичку у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками підбирали вручну та зважували на терезах з точністю  $\pm 0,1$  кг;

Секундну подачу  $P_p$  визначали за формулою

$$P_p = M_z / t, \quad (3.5)$$

де  $M_z$  – маса підібраної гички, кг

Питому масу гички  $M_{np}$  визначали за формулою

$$M_{np} = M_p / S_d = M_p / \mathcal{G}_M t b_n n_k, \quad (3.6)$$

де  $S_d$  – площа залікової ділянки,  $m^2$ .

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки з використанням кореляційного і регресійного аналізу.

Перевірку відтворюваності одержаних значень експериментального масиву даних при однаковому числі повторюваності для кожного досліді проводили за критерієм Кохрена [140]

$$G = \frac{D_{Y_{max}}}{\sum_{U=1}^N D_{YU}}, \quad (3.7)$$

де  $G$  – розрахункове значення критерію Кохрена;

$D_{Y_{max}}$  – числове значення максимальної дисперсії в  $u$ -й точці;

$N$  – число дослідів у плані;

$D_{YU}$  – дисперсія, яка характеризує розсіювання результатів проведених досліджень  $u$ -го експерименту.

Дисперсію відтворюваності експериментів визначали за формулою [140]

$$D_{YU} = \frac{1}{m-1} \sum_{U=1}^N (Y_{Uj} - \bar{Y}_U)^2; \quad \bar{Y}_U = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Y_{Uj}, \quad (3.8)$$

де  $m-1$  – число ступеня вільності;

$Y_{Uj}$  – числове значення  $j$ -го відгуку  $u$ -го експерименту;

$\bar{Y}_U$  – середньоарифметичне значення відгуку  $u$ -го експерименту;

$m$  – число повторності кожного  $u$ -го експерименту.

Знайдені розрахункові значення критерію Кохрена порівнювали з табличним  $G_T$  [140]. Якщо умова  $G \leq G_T(0,05; N; m-1)$  виконувалася, то дисперсії вважались однорідними, це означає, що процес відтворюється.

Якщо гіпотеза про однорідність дисперсії приймалася, визначали дисперсію відтворюваності (середня дисперсія математичних очікувань) усього експерименту за формулою

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

де  $n = mN$  – загальне число вимірів у план-матриці.

Коефіцієнти апроксимуючої функції при умові ортогональності й симетрії визначали за формулою [141]:

- вільний член  $b_0$  і коефіцієнти  $b_i$   $i$ -го фактора рівняння регресії

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u}{n}; \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2}; \quad (3.10)$$

- коефіцієнти взаємодії  $b_{ij}$  і  $b_{ijk}$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{n}; \quad b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{n}, \quad (3.11)$$

де  $x_{iu}$  – значення кодової змінної у відповідному стовпці плану експерименту;

$\bar{y}_u$  – середній результат  $u$ -го експерименту;

$u$  – порядковий номер експерименту;

$i$  – номер змінного фактора;

$j, k$  – номер змінного фактора, відмінного від  $i$ -го.

Після визначення коефіцієнтів рівняння регресії наводили загальний вигляд рівняння регресії факторного експерименту, перевірку адекватності якого проводили за допомогою  $F_p$ -критерію Фішера [142]

$$F_p = \frac{D_{Ya}}{D_{\bar{Y}U}}, \quad (3.12)$$

де  $D_{Ya}$  – оцінка дисперсії адекватності, яку визначали за формулою

$$D_{Ya} = \frac{1}{N - S} \sum_{U=1}^N (Y_{Pi} - \bar{Y}_U)^2, \quad (3.13)$$

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

Значення оцінки дисперсії адекватності  $D_{\bar{Y}U}$  визначали із рівняння (3.12), а потім визначали розрахункове значення  $F_p$ -критерію Фішера.

Отримане значення  $F_p$  порівнювали з табличним  $F_T$ , яке визначали згідно з [142].

Якщо умова  $F_p < F_T(0,05, r_1, r_2)$  виконувалася, тобто розрахункове значення  $F_p$ -критерію Фішера менше табличного  $F_T$  при 5%-му рівні значущості, числі ступеня вільності дисперсії адекватності  $r_1 = N - S$  та числі ступеня вільності дисперсії відтворюваності  $r_2 = N(m - 1)$ , то рівняння регресії факторного експерименту адекватно описує отриманий реальний експериментальний масив даних.

Після перевірки адекватності розподілу випадкових величин реальному процесу проводили оцінку статистичної значущості коефіцієнтів регресії за допомогою  $t$ -критерію Стюдента [143].

Коефіцієнт регресії апроксимуючої моделі вважався значущим, коли виконувалася нерівність

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t(0,05; r_2) \sqrt{\frac{D_{\bar{Y}0}}{\sum_{U=1}^N x_i^2}}, \quad (3.14)$$

де  $b_i$  – коефіцієнти рівняння регресії факторного експерименту;

$\Delta b_i$  – довірча границя;

$t(0,05; r_2)$  – табличне значення критерію Стюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступеня вільності дисперсії відтворюваності  $r_2$ .

Коефіцієнт регресії вважали значущим, коли довірча границя  $\Delta b_i$  була менше значення коефіцієнта.

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для персонального комп'ютера, будували тривимірні просторові залежності поверхні відгуку параметра оптимізації та двомірний переріз поверхні відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень.

### **3.3. Методика експериментальних досліджень ефективності процесу зрізування гички з головок коренеплодів**

Основним завданням проведення експериментів, які функціонально описують процес роботи гичкозбирального модуля, є встановлення характеру впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів роторного гичкоріза та обрізника залишків гички та їх сумісної взаємодії на основні агротехнічні показники якості роботи об'єкта дослідження. Структурну модель об'єкта дослідження наведено на рис. 3.7.

З метою подальшого удосконалювання робочих органів для відокремлення залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків і оцінки показників якості роботи робочих органів в умовах реальної експлуатації (залежності від стану, розвитку та форми гички рослин, рівномірності розміщення коренеплодів у рядках, кінематичних режимів роботи та параметрів технологічної наладки робочих органів) були використані загальноприйняті та загальновідомі методики проведення експериментальних досліджень, а також були розроблені часткові методики проведення польових досліджень.

Для цього було сформульовано агротехнічні вимоги до проведення експериментальних досліджень гичкозбиральної машини [111, 112]:

- зріз головки коренеплодів повинен бути прямим (горизонтальним), гладким, без відколів, а кількість коренеплодів з косим зрізом – не більше 10 %;
- площа зрізу повинна проходити не нижче рівня підстави зелених черешків і не вище 20 мм від верхівки головки коренеплодів, при цьому обрізана маса коренеплодів із гичкою, або з її залишками не повинна перевищувати 5 %;
- загальні втрати зеленої маси гички, у тому числі вільної, на зібраних високообрізаних і необрізаних коренеплодах і втрачених на поверхні ґрунту не повинні перевищувати 10 % від її врожайності;
- кількість пошкоджених коренеплодів не повинно бути більше 10 %, у тому числі сильнопошкоджених – до 5 %, а вибитих коренеплодів із ґрунту – 1,5 %.

Проведення агротехнічної оцінки показників якості роботи гичкозбирального модуля включає в собі характеристику умов проведення досліджень; визначення режимів роботи машини та показників якості роботи.

Характеристика умов проведення досліджень передбачає визначення: типу ґрунту і рельєфу ділянки поля; попередника і попередній обробіток ґрунту; засміченість ділянки бур'янами; фактичну ширину основних і стикових міжрядь; висоту стояння гички; форму розетки листків гички; відстань між коренеплодами в рядках; положення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту; відхилення коренеплодів від умовної осьової лінії рядка; густоту насадження рослин; біологічну урожайність гички; розмірів гички; вологості і твердості ґрунту.

Режими та показники якості роботи гичкозбирального модуля встановлювали згідно з завданнями та програми проведення досліджень.

Для визначення показників агротехнічної оцінки дослідної ділянки за її довжиною вибирали залікові ділянки, які склалися з одного рядка довжиною 20 м при трикратній повторності. Тип ґрунту і рельєф ділянки визначали з картограми полів. Попередник і попередній обробіток ґрунту визначали за планом сівозміни господарства. Забур'яненість ділянки визначали шляхом накладання прямокутної рамки розміром  $90 \times 111$  см (пл.  $1 \text{ м}^2$ ) на два суміжних рядки в трикратній повторності по діагоналі ділянки. Підраховували всі бур'яни в межах облікової ділянки й окремо в зоні смуги рядка шириною 20 см (до 10 см вправо та уліво від осі рядка). Результат обліку записували у відомість. На кожній обліковій ділянці заміряли рулеткою кожне міжряддя підряд на ширині двох захоплень 12-ти рядного посівного, агрегату. Виміри проводили за умовними осьовими лініями рядків. Ширину стикових міжрядь коренеплодів записували окремо. Висоту стояння гички вимірювали відстанню від основи черешків до вершини найвищого листка.

Форму розетки листів оцінювали візуально за умовною класифікацією:

- конус, коли основна частина листків гички (не менше 85 %) розташовується в конусі з кутом  $90^\circ$  (рис. 3.8); піврозетка, коли від 30 до 85 % листків гички розташовується в конусі з кутом  $90^\circ$ ; розетка, коли менше 30% листків гички розташовується в конусі з кутом  $90^\circ$ .

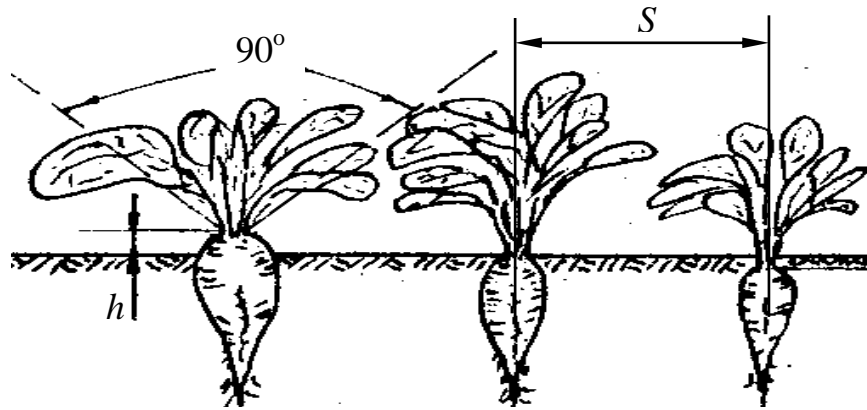


Рисунок 3.8 – Схема до визначення відстані  $S$  між коренеплодами і висоти розташування їх головок  $h$  відносно поверхні ґрунту

Відстань між коренеплодами в рядках  $S$  визначали послідовними вимірами між їхніми центрами зверху (рис. 3.9).

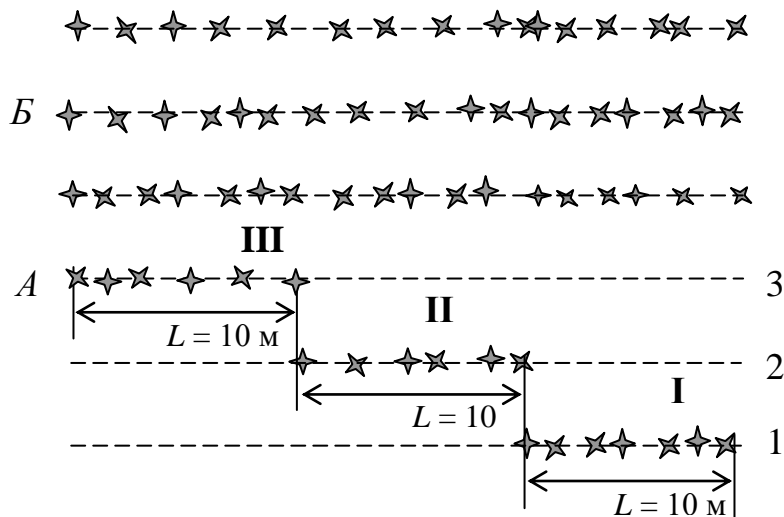


Рисунок 3.9 – Визначення відстані  $S$  між коренеплодами, положення головок коренеплодів  $h$  відносно поверхні ґрунту та відхилення від умовної осьової лінії рядка: 1, 2, 3 – номери рядків; I, II, III – номери облікових відрізків довжиною  $L = 10\text{ м}$

Положення головок коренеплодів щодо поверхні ґрунту  $h$  визначали виміром відстані від поверхні ґрунту до верхівки голівки коренеплоду (рис. 3.8). Залежно від положення голівки коренеплоду відносно рівня поверхні ґрунту результати вимірів позначали: знаком (+), якщо вершина голівки коренеплоду виступає над поверхнею ґрунту; знаком (-), якщо вершина голівки коренеплоду залягає нижче поверхні ґрунту; знаком (0), якщо вершина голівки



коренеплоду знаходиться на рівні поверхні ґрунту. Положення вершини головки коренеплоду фіксували накладенням тонкої металевої лінійки, пропущеної через пучок гички до упора ребра лінійки у вершину головки.

Визначення відстані  $S$  між коренеплодами та положення головок коренеплодів  $h$  відносно поверхні ґрунту проводили на площадках  $A$  (рис. 3.9), які розташовувалися за довжиною ділянки в 3-х кратній повторності поруч з обліковими ділянками  $B$  для відбору проб. Довжина облікової ділянки  $L = 30$  м і ширина  $B = 1,35$  м, або три рядки посівів коренеплодів.

Облік показників проводили за наступною схемою. На початку облікової ділянки на 1 рядку на довжині 10 м заміряли відстань  $S$  між коренеплодами і визначали положення головок щодо поверхні ґрунту. Після цього переходили по діагоналі на 2, а далі на 3 рядок і відмічали такі показники на довжині 10 м.

Після закінчення вимірів на 3 рядку повертались на 1 рядок і продовжували визначення показників у тій же послідовності доти, коли число 10-ти метрових відрізків рядків на повторності не буде дорівнює  $n = 3$ .

Облік біологічного врожаю проводили методом суцільного складання і зважуванням коренеплодів буряку з облікової ділянки площею  $27 \text{ м}^2$  із розмірами: шириною 1,3 м (три рядки) і довжиною 30 м (у трикратній повторності).

Густоту насадження рослин у тисячах штук на гектар, біологічний урожай гички залікової ділянки визначаємо згідно (3.3) та (3.4).

Лабораторно-польові дослідження ефективності процесу відокремлення гички від головок коренеплодів залежно від конструктивно-кінематичних параметрів гичкозбирального модуля провели з застосуванням виготовленої польової експериментальної установки (рис. 1.31, рис. 1.32). на полі з посівами цукрових буряків сорту «Білоцерківський однонасінний» у період фізіологічної стиглості коренеплодів і гички

Моделювання процесів збирання гички робочими органами ГМ залежать від багатьох вхідних факторів, які носять випадковий стохастичний характер: фізико-механічних властивостей гички, форми гички коренеплодів, характеру навантажень для руйнування даних зв'язків тощо.

Для визначення показників ефективності процесу відокремлення гички від головок коренеплодів залежно від конструктивно-кінематичних параметрів гичкозбирального модуля провели польові експериментальні дослідження на основі побудови схеми моделі (рис. 3.7) та проведення багатофакторного експерименту типу ПФЕ  $p^k$ , де  $p$  – кількість рівнів варіювання фактора;  $k$  – кількість факторів, які присутні у експерименті, при цьому загальну кількість дослідів  $n_1$  однієї повторності визначали за формулою  $n_1 = p^k$ .

Схему моделі багатофакторного експерименту наведено на рис. 3.10.

Реалізація порядку проведення багатофакторних експериментів була наступною.

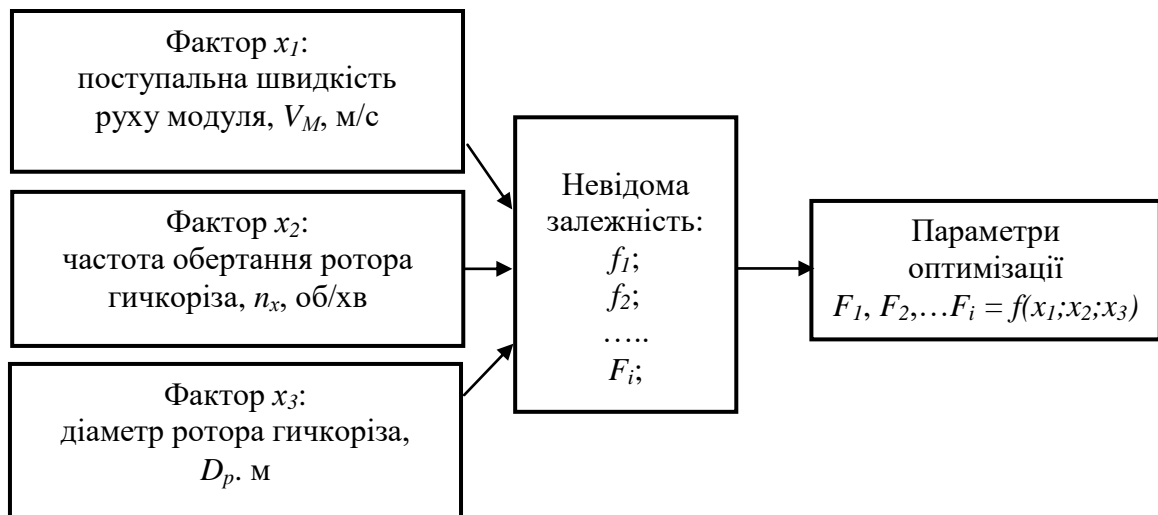


Рисунок 3.10 – Схема побудови моделі багатофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$

Довжина кожної 3-и рядної залікової ділянки посівів цукрових буряків сорту «Білоцерківський однонасінний» становила 20 м. Для отримання регресійної моделі параметра оптимізації, яку приймали у вигляді функціонала  $F_i = f(x_1; x_2; \dots; x_i)$ , де  $F_i$  –  $i$ -ий параметр оптимізації;  $x_1; x_2; \dots; x_i$  – натуральні незалежні змінні фактори, вибирали відповідний план багатофакторного експерименту, реалізацію якого проводили у такій послідовності.

Для визначення  $i$ -го параметра оптимізації  $F_i$  (розмірних значень  $X_k^{(e)}$ ,  $Y_k^{(e)}$  подрібнених частин гички роторним гичкорізом і показників якості роботи

ГМ під час зрізування головок коренеплодів від залишків гички – кількості вибитих  $K_{Bp}^{(e)}$  і пошкоджених  $K_{Pr}^{(e)}$  коренеплодів роторним гичкорізом і ГМ загалом, відповідно,  $K_B^{(e)}$ ,  $K_{II}^{(e)}$ , кількості сильнопошкоджених  $K_{СП}^{(e)}$  коренеплодів) незалежними змінними факторами приймали: швидкість руху ГМ  $V_M$ , яку кодували індексом  $X_1$ ; частоту обертання ротора гичкоріза  $n_x$ , яку кодували індексом  $X_2$ ; діаметр ротора гичкоріза  $D_p$ , який кодували індексом  $X_3$  [113].

Межі варіювання незалежними змінними факторами  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  у процесі проведення експериментальних досліджень ефективності процесу збирання основного масиву гички приймали згідно з результатами теоретичних досліджень.

Трифакторний експерименти провели на трьох рівнях варіювання змінними факторами, тобто реалізували експеримент типу ПФЕ  $3^3$ .

Результати кодування змінних факторів і рівні їх варіювання наведено у табл. 3.2 [113].

Таблиця 3.2 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час проведення ПФЕ  $3^3$

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Код.	Натур.				
Швидкість руху модуля, $V_M$ , м/с	$X_1$	$x_1$	0,4	1,4/-1	1,8/0	2,2/+1
Частота обертання ротора гичкоріза, $n_p$ , об/хв	$X_2$	$x_2$	200	500/-1	700/0	900/+1
Діаметр ротора гичкоріза, $D_p$ , м	$X_3$	$x_3$	0,1	0,55/-1	0,67/0	0,75/+1

Після кодування незалежних змінних факторів склали план-матрицю багатофакторних експериментів типу ПФЕ  $3^3$  для загального числа дослідів  $N = 3^3$ , яку наведено у додатку В.8.2.

З метою достовірної оцінки показників якості роботи гичкозбирального модуля під час проведення лабораторно-польових досліджень, необхідну кількість вимірів показників (або повторність дослідів), що контролюються

(розмірних значень  $X_k^{(e)}$ ,  $Y_k^{(e)}$  подрібнених частин гички роторним гичкорізом і показників якості роботи під час зрізування головок коренеплодів від залишків гички – кількості вибитих  $K_{Bp}^{(e)}$  і пошкоджених  $K_{Пp}^{(e)}$  коренеплодів роторним гичкорізом і ГМ загалом, відповідно,  $K_B^{(e)}$ ,  $K_{П}^{(e)}$ , кількості сильнопошкоджених  $K_{СП}^{(e)}$  коренеплодів) визначали за методикою, яка викладена в [117, 118], при цьому експерименти провели в трикратній повторності.

При реалізації складеної план-матриці, для усунення на результати дослідження параметрів оптимізації неконтрольованих і нерегульованих факторів, провели рандомізацію складеної план-матриці методом випадкового балансу, який було реалізовано способом витягання порядкових номерів експериментів з урни [119].

Рандомізовану план-матрицю факторних експериментів типу ПФЕ  $3^3$  наведено у додатку В.9.2.

Послідовність проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці трифакторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$ .

Під час проведення досліджень з визначення розмірних частин подрібнених стебел гички  $X_{ki}^{(e)}$ ,  $Y_{ki}^{(e)}$  та кількості вибитих  $K_{Bp}^{(e)}$  і пошкоджених  $K_{Пp}^{(e)}$  коренеплодів робочими органами роторного гичкоріза, копир обрізника залишків гички підіймали над рівнем поверхні ґрунту шляхом фіксації паралелограмного механізму.

Після проведення кожного експерименту з міжрядь візуально відбиралися найбільші за розмірами частин подрібненої гички у кількості не менше 50 шт. з наступним вимірюванням їх умовних ширини  $X_{ki}^{(e)}$  та довжини  $Y_{ki}^{(e)}$ , після чого встановлювали їх середнє значення. За умовну довжину  $Y_{ki}^{(e)}$  приймали більше розмірне значення подрібненої частини гички, виходячи з результатів і висновків теоретичних досліджень. Кількість вивалених і пошкоджених коренеплодів робочими органами модуля у відсотках визначали за стандартною методикою від загальної кількості коренеплодів залікової ділянки згідно з [111].

Отримані результати розмірних частин подрібненої гички в розмірній одиниці вимірювання (м) та кількості вибитих і пошкоджених коренеплодів робочими органами ГМ (%) заносили у відповідні графи таблиці умов проведення та результатів експериментальних досліджень.

#### **3.4. Методика проведення порівняльних досліджень базового та удосконаленого способу збирання основного масиву гички**

З метою подальшого удосконалювання робочих органів для збирання основного масиву гички та оцінки показників якості роботи процесу викопування коренеплодів в умовах реальної експлуатації за двох способів збирання гички (перший спосіб – суцільне укладання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, тобто за відсутності ділильних дисків; другий спосіб – укладання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів у зону між двома суміжними дисками) було застосовано загальноприйняту та загальновідому методику випробовування коренезбиральних машин [137, 138].

Для проведення порівняльного аналізу було сформульовано агротехнічні вимоги до показників якості роботи коренезбиральної машини під час проведення експериментальних досліджень, при цьому показники визначено відносно загальної маси викопаних коренеплодів цикорію з однієї залікової ділянки або проби [137]:

- кількість втрачених коренеплодів цикорію викопувальним робочим органом не повинна перевищувати 2,5 %;

- загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів цикорію – не більше 8 %, у тому числі: вільного ґрунту – не більше 2,5 %; вільних рослинних домішок – не більше 3,5 %; залишків гички на головках коренеплодів цикорію – не більше 1,5 %;

- кількість пошкоджених коренеплодів – не більше 15 %, у тому числі сильнопошкоджених коренеплодів цикорію – не більше 7 %;

- втрати гички у захисній зоні невикопаного рядка коренеплодів – не більше 3,5 %.

Порівняльні дослідження провели на полі коренеплодів цикорію сорту Софіївський 7 Хмельницької державної дослідної сільськогосподарської станції. Умови проведення порівняльних досліджень наведено у додатку В.7.2.

У першому випадку, або способу збирання гички за якого відбувалося суцільне укладання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, тобто за відсутності ділильних дисків, ділильні диски демонтували з барабана роторного гичкоріза.

Урожайність поля коренеплодів цикорію і урожайність гички під час визначення показників якості роботи процесу викопування коренеплодів визначали за загальновідомою методикою [146]. Довжина залікової ділянки була рівною 15 м і шириною 1,35 м (три рядки посівів коренеплодів). Основний масив гички залікової ділянки зрізували гичкозбиральним модулем, застосовуючи два способи збирання гички.

Характеристика культури та умови проведення експериментальних досліджень наведено у додатку В.7.2

Технічну характеристику польової установки наведено у додатку В.6.1.

Порядок проведення, умови відбору та обробки проб проводили за відомими стандартними методиками згідно встановлених діючих положень та рекомендацій згідно з [138, 139].

Після кожного суміжного проходу залікової ділянки, тобто викопування коренеплодів цикорію комбінованим копачем за кожного способу збирання основного масиву гички визначали втрати коренеплодів, загальні домішки у викопаному воросі коренеплодів цикорію, вільні ґрунтові та рослинні домішки, залишки гички на головках коренеплодів, пошкодження коренеплодів.

Порядок розрахунку показників якості процесу викопування коренеплодів цикорію був наступним.

Викопаний ворох коренеплодів цикорію кожної проби розбирали на окремі складові компоненти – вільні домішки і коренеплоди, які зважували на терезах з точністю, відповідно, до 0,01 кг і 0,1 кг. Далі з поверхні тіла коренеплодів цикорію вручну зрізували залишки гички з головок коренеплодів.

Відокремлені залишки гички зважували на вазі з точністю 0,01 кг.

Загальну масу домішок викопаного вороху коренеплодів цикорію визначали як арифметичну суму всіх складових компонентів домішок. Втрати та пошкодження коренеплодів, загальну кількість домішок, вільних ґрунтових і рослинних домішок, кількість залишків гички на головках коренеплодів у відсотках визначали згідно стандартної методики [138, 139].

Одержані дані показників якості процесу викопування коренеплодів цикорію заносили у таблицю результатів порівняльних досліджень.

Ступені розмірних частин подрібнених стебел гички цукрових буряків роторним гичкорізом, кількість вибитих і пошкоджених коренеплодів робочими органами гичкозбирального модуля та показники якості технологічного процесу збирання гички визначають технологічний рівень удосконаленого гичкозбирального модуля, тобто її технологічну ефективність застосування. Проблема підвищення показників якості роботи збирання гички цукрових буряків є актуальною для розробленої удосконаленої конструкції гичкозбирального модуля.

При проведенні порівняльних досліджень був використаний макетний (експериментальний) зразок удосконаленого гичкозбирального модуля (рис. 1.31, рис. 1.32) та серійний зразок машини МБП-6 виробництва КПП «Дніпропетровський комбайновий завод».

Польові порівняльні дослідження удосконаленого гичкозбирального модуля, який було обладнано обрізником залишків гички з головок коренеплодів (рис. 1.32) провели порівняно з базовою машиною МБП-6 на полях посівів цукрових буряків

Загальна технічна характеристика конструктивно-кінематичних параметрів удосконаленого гичкозбирального модуля і серійної гичкозбиральної машини МБП-6 наведена у додатку В.6.1, при цьому, під час проведення порівняльних досліджень показників якості роботи, лопатевий бітер 7 (рис. 1.31), вивантажувальний елеватор 8 і бітер-метальник 9 серійної гичкозбиральної машини МБП-6 демонтували з рами машини, а зібрана гичка з головок коренеплодів вивантажувалася шнековим конвеєром 6 на зібране поле.

Умови порівняльних досліджень удосконаленого гичкозбирального модуля та серійної гичкозбиральної машини, що порівнювалися і характеристика плантації насаджень коренеплодів цукрових буряків наведено у додатку В.10.3.

Порядок проведення, умови відбору проб і визначення показників якості роботи технологічного процесу збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем і серійною гичкозбиральною машиною проводили за стандартними методиками згідно з встановленими положеннями [111, 112].

### **3.5. Висновки до розділу**

3.5.1. За результатами аналізу теоретичних досліджень розроблено технічну документацію та виготовлено робочі органи експериментального зразка гичкозбирального модуля.

3.5.2. Запропоновано часткову методику експериментального визначення технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, розмірних частин подрібненої гички та показників якості збирання гички коренеплодів.



## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

#### 4.1. Експериментальні дослідження технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів

Полеві експериментальні дослідження удосконаленого гичкозбирального модуля (рис. 3.1, рис. 3.2) для визначення показників технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію провели згідно методики, яку описано в підпункті 3.1 третього розділу.

Технічну характеристику удосконаленого гичкозбирального модуля наведено у додатку В.2.1, а характеристику ділянки поля – у додатку В.7.2.

Загальний вигляд агрегату для збирання основного масиву гички наведено на рис. 4.1, а процес роботи макетного зразка удосконаленого гичкозбирального модуля – на рис. 4.2.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд агрегату для збирання гички

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує зміну технологічної подачі основного масиву зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію було реалізовано трифакторний планований експеримент типу ПФЕ  $3^3$ , після проведення якого утворювали таблицю отриманих результатів

точок симетричного композиційного плану трифакторного експерименту, або таблицю експериментальних значень (додаток Г.1.1), яку побудовано згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці (додаток В.9.2).



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд гичкозбирального модуля в роботі

Після обробки експериментального масиву даних (додаток Г.2.1) було встановлено вигляд апроксимуючої залежності, яка функціонально опису зміну секундної подачі  $\Pi_p^\pm$  та питомої маси  $M_p^\pm$  укладеної гички на поверхню поля між ділільними дисками, які встановлено на барабані роторного гичкоріза та розташовано в міжрядді невикопаних коренеплодів залежно від зміни входних незалежних факторів (табл. 3.1) та яку записано у вигляді апроксимуючої функції [40, 120]:

-  $\Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$  – секундної подачі гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію за збільшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів цикорію;

-  $\Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$  – секундної подачі гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію за зменшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів цикорію;

-  $M_p^+ = f_{M^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$  – питомої маси гички, яка розташована в міжряддях невикопаних коренеплодів цикорію за збільшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів;

-  $M_p^- = f_{II^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$  – питомої маси гички, яка розташована в міжряддях невикопаних коренеплодів цикорію за зменшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів.

При цьому апроксимуючу функцію, яка характеризує технологічну подачу зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію було прийнято у вигляді лінійної моделі за найбільшим значенням коефіцієнта множинної детермінації  $D$  за рівня достовірності  $P = 0,95$  (додаток Г.3.1):

$$\Pi_p^\pm = b_0 + b_1 \mathcal{G}_M + b_2 (U_p \pm \Delta U_p) + b_3 (\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k); \quad (4.1)$$

$$M_{np}^\pm = b_0 + b_1 \mathcal{G}_M + b_2 (U_p \pm \Delta U_p) + b_3 (\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k). \quad (4.2)$$

Числові значення коефіцієнтів рівняння апроксимуючої функції, які визначали з використанням програми «Статистика 10», наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Показник	Значення коефіцієнтів			
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
$\Pi_p^+ = f_{II^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$	-39,38	18,67	14,81	2,11
$\Pi_p^- = f_{II^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$	-42,26	11,17	11,36	2,81
$M_{np}^+ = f_{II^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$	-42,31	11,19	11,36	2,81
$M_{np}^- = f_{II^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$	-20,27	-0,64	9,03	2,23

Після перевірки адекватності моделі за  $F$ -критерієм Фішера ( $F = 100,8$ ) та значимості коефіцієнтів функціональної залежності за критерієм Стюдента ( $t$ -альфа критерій,  $t = 2,05$ ) було отримано рівняння регресії у вигляді лінійної моделі для натуральних значень факторів (додаток Г.2.1) [40, 120]:

- секундної подачі  $\Pi_p^\pm$  зрізаної гички коренеплодів цикорію, відповідно,  $D = 0,929; 0,963$ :

$$\Pi_p^+ = -39,38 + 18,67 \mathcal{G}_M + 14,81 (U_p + \Delta U_p) + 2,11 (\Gamma_k + \Delta \Gamma_k); \quad (4.3)$$

$$\Pi_p^- = -42,26 + 11,17 \mathcal{G}_M + 11,36 (U_p - \Delta U_p) + 2,81 (\Gamma_k - \Delta \Gamma_k); \quad (4.4)$$

- питомої маси гички  $M_p^\pm$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками, відповідно,  $D = 0,963; 0,968$ :

$$M_{np}^+ = -42,31 + 11,19\mathcal{G}_M + 11,36(U_p + \Delta U_p) + 2,81(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k); \quad (4.5)$$

$$M_{np}^- = -20,27 - 0,64\mathcal{G}_M + 9,03(U_p - \Delta U_p) + 2,23(\Gamma_k - \Delta\Gamma_k). \quad (4.6)$$

При цьому було встановлено, що вибрана математична модель у вигляді лінійної функції є адекватною відносно отриманого експериментального масиву даних, а всі коефіцієнти рівняння регресії є значущими.

Отримані рівняння регресії (4.3) – (4.6) є емпіричними моделями які характеризують і визначають кількісні показники зміни технологічної подачі зрізаної Г-подібними ножами роторного гичкоріза гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від параметрів процесу – швидкості руху гичкозбирального модуля  $\mathcal{G}_M$ , зміни урожайності гички коренеплодів цикорію  $(U_p + \Delta U_p)$  та зміни густоти насадження коренеплодів цикорію  $(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k)$  у таких межах їх зміни:  $1,2 \text{ см} \leq \mathcal{G}_M \leq 1,6 \text{ см}$ ;  $1,4 \text{ кг/м}^2 \leq (U_p + \Delta U_p) \leq 1,8 \text{ кг/м}^2$ ;  $7 \text{ тис. шт./м}^2 \leq (\Gamma_k + \Delta\Gamma_k) \leq 11 \text{ тис. шт./м}^2$ .

Згідно з рівнянням регресії (4.3) і (4.4) побудовано поверхню відгуку, яка характеризує функціональну зміну секундної подачі гички  $\Pi_p^\pm$  у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію залежно від зміни швидкості руху гичкозбирального модуля  $\mathcal{G}_M$ , урожайності гички  $U_p \pm \Delta U_p$  та густоти насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k$  як функція:

$$- \quad \Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; (U_p + 0,2)), \quad \Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2)), \quad \text{рис. 4.3,}$$

$$\Pi_p^+ = f_{\Pi^+}((U_p + 0,2); (\Gamma_k + \Delta\Gamma_k)), \text{ рис. 1.Д.4.1 додатка Д.4.1;}$$

$$- \quad \Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; (U_p - 0,2)), \quad \Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2)), \quad \text{рис. 4.4,}$$

$$\Pi_p^- = f_{\Pi^-}((U_p - 0,2); (\Gamma_k - \Delta\Gamma_k)), \text{ рис. 2.Д.4.1 додатка Д.4.1.}$$

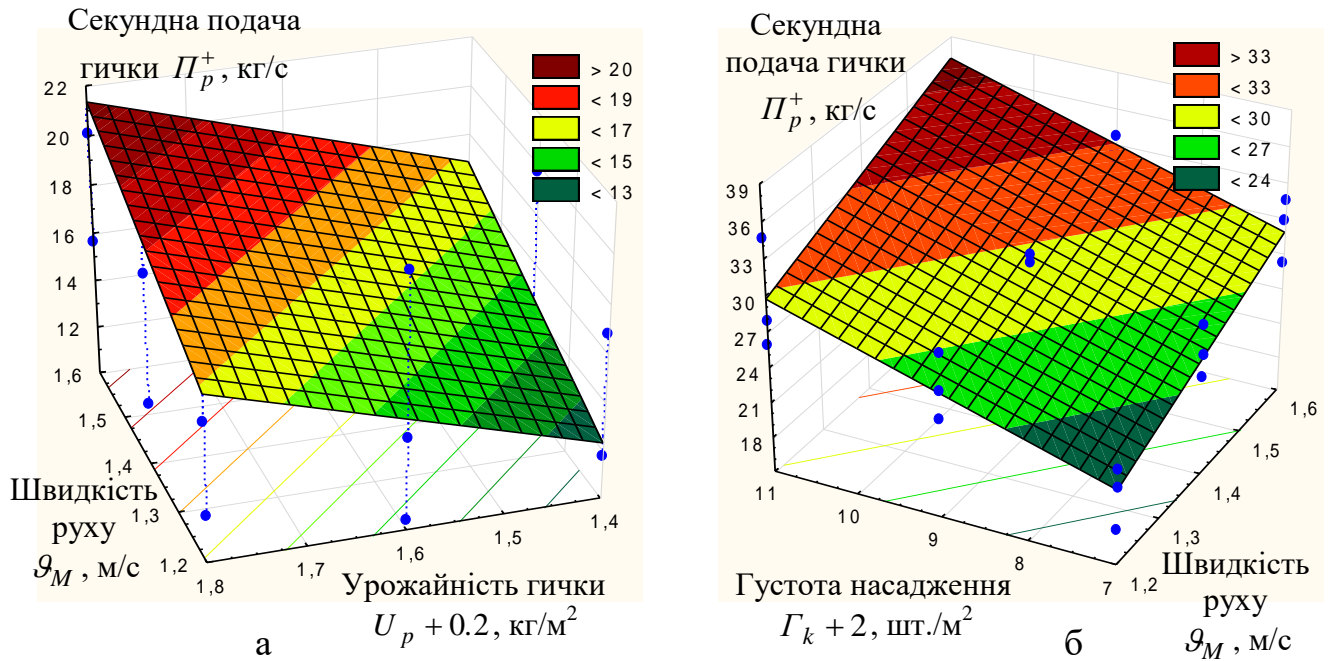


Рисунок 4.3 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички

як функція: а –  $P_p^+ = f_{P^+}(v_M; (U_p + 0,2))$ ; б –  $P_p^+ = f_{P^+}(v_M; (\Gamma_k + 2))$

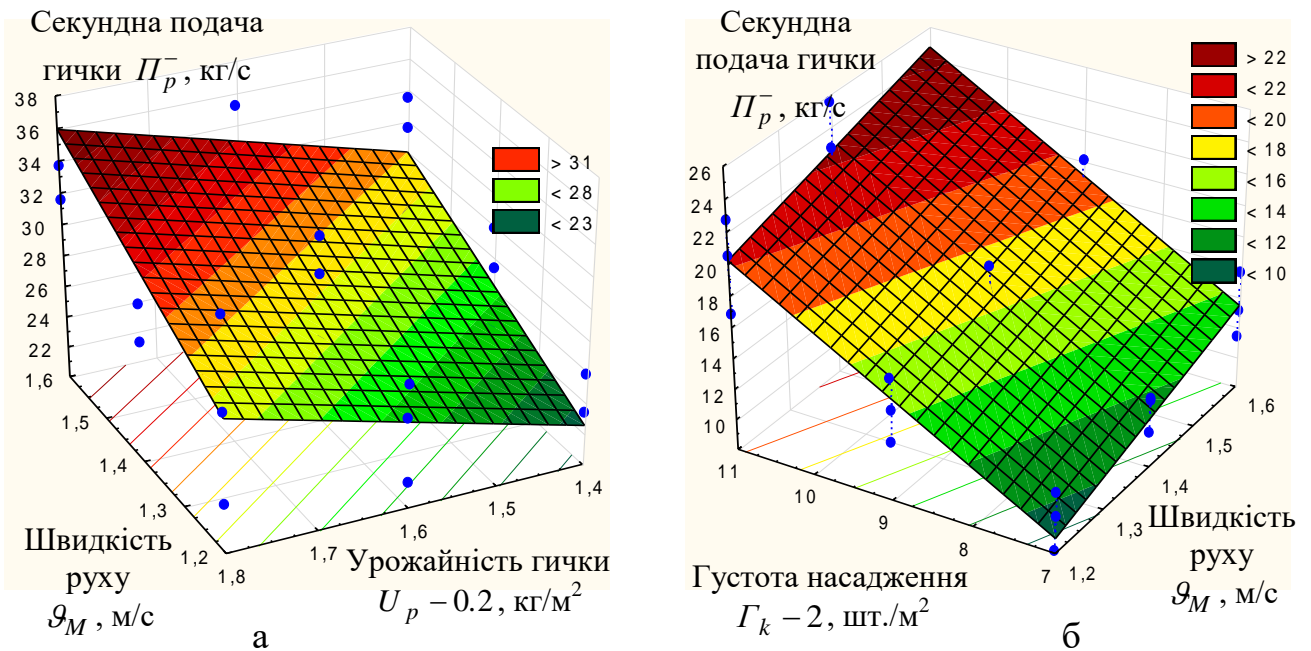


Рисунок 4.4 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички

як функція: а –  $P_p^- = f_{P^-}(v_M; (U_p - 0,2))$ ; б –  $P_p^- = f_{P^-}(v_M; (\Gamma_k - 2))$

За мінливого збільшення зміни урожайності гички  $U_p + \Delta U_p$  у межах від  $1,4 + 0,2$  (кг/м<sup>2</sup>) до  $1,6 + 0,2$  (кг/м<sup>2</sup>) та густоти насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k$  у межах від  $7 + 2$  (шт./м<sup>2</sup>) до  $9 + 2$  (шт./м<sup>2</sup>) секундна подача гички  $P_p^+$  у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно

збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні від 18 кг/с до 40 кг/с за швидкості руху модуля  $\mathcal{G}_M$  від 1,2 м/с до 1,6 м/с – за збільшення швидкості руху  $\mathcal{G}_M$ , урожайності гички  $U_p$  та густоти насадження  $\Gamma_k$  коренеплодів приблизно в 1,3 рази секундна подача гички  $\Pi_p^+$  збільшується в 1,7 рази, рис. 4.3, рис. 1.Г.4.1 додатка Г.4.1.

За мінливого зменшення зміни урожайності гички  $U_p - \Delta U_p$  у межах від 1,6 – 0,2 (кг/м<sup>2</sup>) до 2,0 – 0,2 (кг/м<sup>2</sup>) та густоти насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$  у межах від 7 – 2 до 11 – 2 (шт./м<sup>2</sup>) секундна подача гички  $\Pi_p^-$  у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні від 6 кг/с до 26 кг/с за швидкості руху модуля  $\mathcal{G}_M$  від 1,2 м/с до 1,6 м/с – за збільшення швидкості руху  $\mathcal{G}_M$ , урожайності гички  $U_p$  та густоти насадження  $\Gamma_k$  коренеплодів приблизно в 1,3 рази  $\Pi_p^-$  збільшується в 2,6 рази, рис. 4.4, рис. 2.Г.4.1 додатка Г.4.1.

Ці закономірності характеру функціональної зміни секундної подачі  $\Pi_p^\pm$  гички у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію підтверджуються також отриманими даними згідно з побудованими графічними залежностями, які наведено на рис. 4.5.

Згідно з рівнянням регресії (4.5) і (4.6) побудовано поверхню відгуку, яка характеризує функціональну зміну питомої маси гички  $M_{np}^\pm$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, які розташовано у одному міжрядді невикопаних коренеплодів залежно від зміни швидкості руху гичкозбирального модуля  $\mathcal{G}_M$ , урожайності гички  $U_p \pm \Delta U_p$  та густоти насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$  як функція:

$$- \quad M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (U_p + 0,2)), \quad M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2)), \quad \text{рис. 4.6,}$$

$$M_{np}^+ = f_{M^+}((U_p + 0,2); (\Gamma_k + \Delta \Gamma_k)), \quad \text{рис. 3.Д.4.1 додатка Д.4.1;}$$

$$- \quad M_{np}^- = f_M(\mathcal{G}_M; (U_p - 0,2)), \quad M_{np}^- = f_M(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2)), \quad \text{рис. 4.7,}$$

$$M_{np}^- = f_{M^-}((U_p - 0,2); (\Gamma_k - \Delta \Gamma_k)), \quad \text{рис. 4.Д.4.1 додатка Д.4.1.}$$

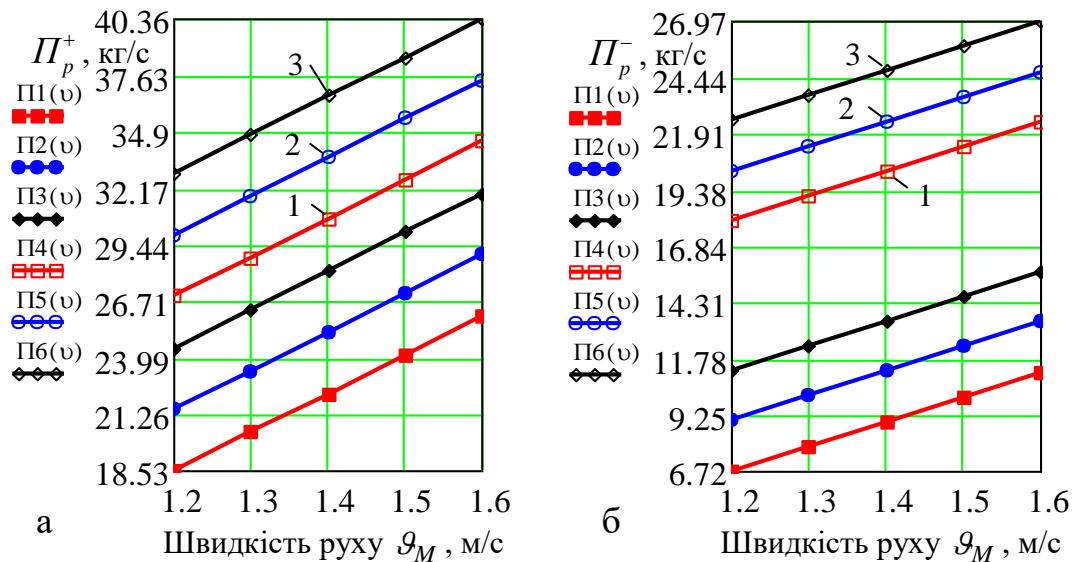


Рисунок 4.5 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція:

а –  $P_p^+ = f_{II}(v_M)$ , П1(v), П2(v), П3(v) –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 5 + 2$  шт./м<sup>2</sup>, П4(v), П5(v), П6(v) –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2$  шт./м<sup>2</sup>, 1, 2, 3 – відповідно,  $U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2$  кг/м<sup>2</sup>,  $U_p + \Delta U_p = 1,4 + 0,2$  кг/м<sup>2</sup>,  $U_p + \Delta U_p = 1,6 + 0,2$  кг/м<sup>2</sup>;

б –  $P_p^- = f_{II}(v_M)$ , П1(v), П2(v), П3(v) –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 - 2$  шт./м<sup>2</sup>, П4(v), П5(v), П6(v) –  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 13 - 2$  шт./м<sup>2</sup>, 1, 2, 3 – відповідно,  $U_p - \Delta U_p = 1,6 - 0,2$  кг/м<sup>2</sup>,  $U_p - \Delta U_p = 1,8 - 0,2$  кг/м<sup>2</sup>,  $U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2$  кг/м<sup>2</sup>

Домінуючими факторами, вплив яких призводить до значної зміни питомої маси гички  $M_{np}^{\pm}$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділільними дисками є урожайність гички  $U_p \pm \Delta U_p$  та густина насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k$ . При цьому питома маса гички  $M_{np}^{\pm}$  за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля  $v_M$  від 1,2 м/с до 1,6 м/с знаходиться у діапазоні:  $M_{np}^+ = 18 \dots 27$  кг/м<sup>2</sup>, рис. 4.6, рис. 3.Г.4.1 додатка Г.4.1;  $M_{np}^- = 10 \dots 18$  кг/м<sup>2</sup>, рис. 4.7, рис. 4.Г.4.1 додатка Г.4.1.

За мінливого збільшення зміни урожайності гички  $U_p + \Delta U_p$  у межах від  $1,4 + 0,2$  до  $1,6 + 0,2$  (кг/м<sup>2</sup>) та густоти насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$  у межах від  $7 + 2$  до  $9 + 2$  (шт./м<sup>2</sup>) питома маса гички  $M_{np}^+$  збільшується у середньому, відповідно, на  $5,5 \dots 6,5$  кг/м<sup>2</sup> та  $6,5 \dots 7,5$  кг/м<sup>2</sup>.

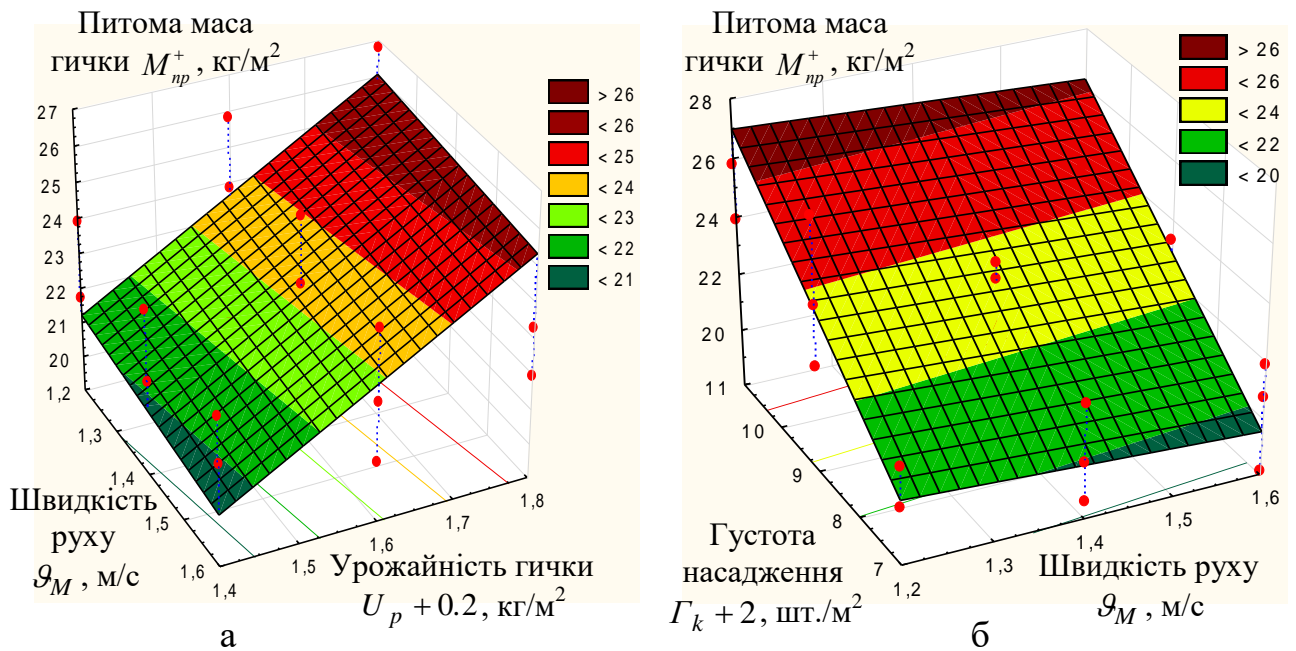


Рисунок 4.6 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички

як функція: а –  $M_{np}^+ = f_{M^+}(G_M; (U_p + 0,2))$ ; б –  $M_{np}^+ = f_{M^+}(G_M; (\Gamma_k + 2))$

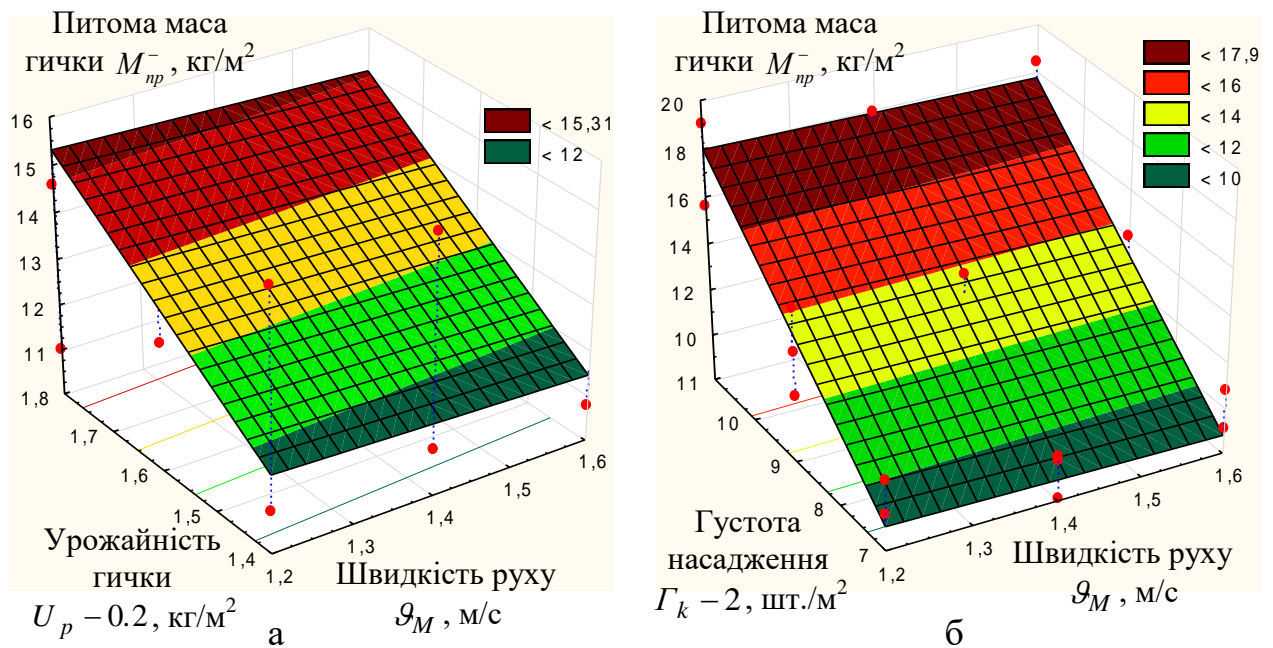


Рисунок 4.7 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички

як функція: а –  $M_{np}^- = f_{M^-}(G_M; (U_p - 0,2))$ ; б –  $M_{np}^- = f_{M^-}(G_M; (\Gamma_k - 2))$

За мінливого зменшення зміни урожайності гички  $U_p - \Delta U_p$  у межах від  $1,6 - 0,2$  до  $2,0 - 0,2$  (кг/м<sup>2</sup>) та густоти насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$  у межах від  $9 - 2$  до  $13 - 2$  (шт./м<sup>2</sup>) питома маса гички  $M_{np}^-$  збільшується у середньому, відповідно, на  $3,5 \dots 4,5$  кг/м<sup>2</sup> та  $8,5 \dots 9,5$  кг/м<sup>2</sup>.



Зміна швидкості руху  $\mathcal{G}_M$  гичкозбирального модуля у межах від 1,2 м/с до 1,6 м/с має несуттєвий вплив на збільшення питомої маси гички  $M_{np}^{\pm}$  – зростання становить 0,1...0,3 кг/м<sup>2</sup>.

При цьому питома маса гички  $M_{np}^+$  та  $M_{np}^-$ , яку укладено в міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню урожайності гички та густоти насадження коренеплодів цикорію – за збільшення урожайності гички  $U_p$  та густоти насадження  $\Gamma_k$  коренеплодів приблизно в 1,3 рази  $M_{np}^+$  збільшується в 1,5 рази, рис. 4.6, рис. 3.Г.4.1 додатка Г.4.1, а  $M_{np}^-$  збільшується в 1,8 рази, рис. 4.7, рис. 4.Г.4.1 додатка Г.4.1.

Ці закономірності характеру функціональної зміни питомої маси гички  $M_{np}^{\pm}$ , яку укладено в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію підтверджуються також отриманими даними згідно з побудованими графічними залежностями, які наведено на рис. 4.8.

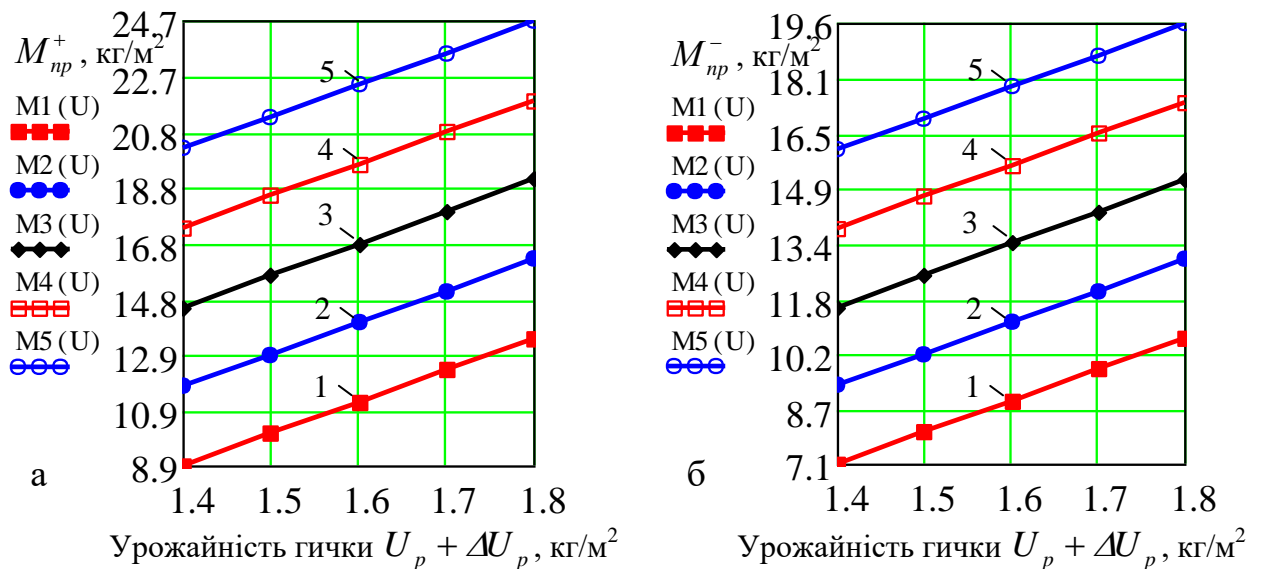


Рисунок 4.8 – Залежність зміни питомої маси зрізаної гички як функція:

$$\begin{aligned}
 \text{а} - M_{np}^+ &= f_{M^+}(U_p + \Delta U_p), 1, 2, 3 - \text{відповідно, } \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 5 + 2 \text{ шт./м}^2, \\
 &\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 6 + 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 8 + 2 \text{ шт./м}^2, \\
 &\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2; \text{б} - M_{np}^- = f_{M^-}(U_p - \Delta U_p); 1, 2, 3 - \text{відповідно,} \\
 &\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 9 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 10 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 11 - 2 \text{ шт./м}^2, \\
 &\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 12 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 13 - 2 \text{ шт./м}^2
 \end{aligned}$$

На рис. 4.9, рис. 4.10 наведено графічні залежності, які характеризують розбіжність значення теоретичної секундної подачі  $\Pi_p$  зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію та які побудовано згідно з аналітичною залежністю (2.18) та експериментального апроксимованого значення секундної подачі  $\Pi_p^\pm$ , які отримано згідно з емпіричними моделями (4.3) і (4.4).

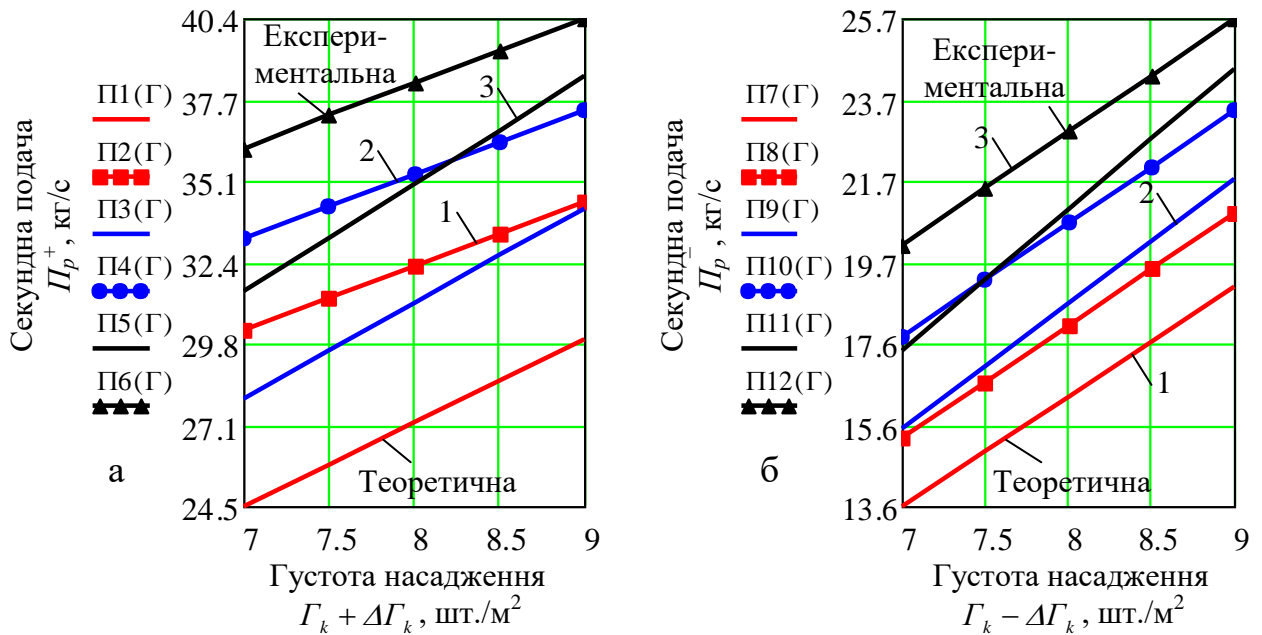


Рисунок 4.9 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція:

$$\begin{aligned}
 \text{а} - \Pi_p^+ &= f_{\Pi^+}(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k), \text{ 1, 2, 3 - відповідно, } U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2 \text{ кг/м}^2, \\
 &U_p + \Delta U_p = 1,4 + 0,2 \text{ кг/м}^2, U_p + \Delta U_p = 1,6 + 0,2 \text{ кг/м}^2;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{б} - \Pi_p^- &= f_{\Pi^-}(\Gamma_k - \Delta\Gamma_k), \text{ 1, 2, 3 - відповідно, } U_p - \Delta U_p = 1,6 - 0,2 \text{ кг/м}^2, \\
 &U_p - \Delta U_p = 1,8 - 0,2 \text{ кг/м}^2, U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2
 \end{aligned}$$

На основі числового аналізу графічних залежностей зміни значень секундної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів було встановлено, що:

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями секундної подачі  $\Pi_p^+$  зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію при збільшенні густоти насадження  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$  та урожайності гички  $U_p + \Delta U_p$  знаходиться в діапазоні від 12 % до 20 %, рис. 4.9а, рис. 4.10а;

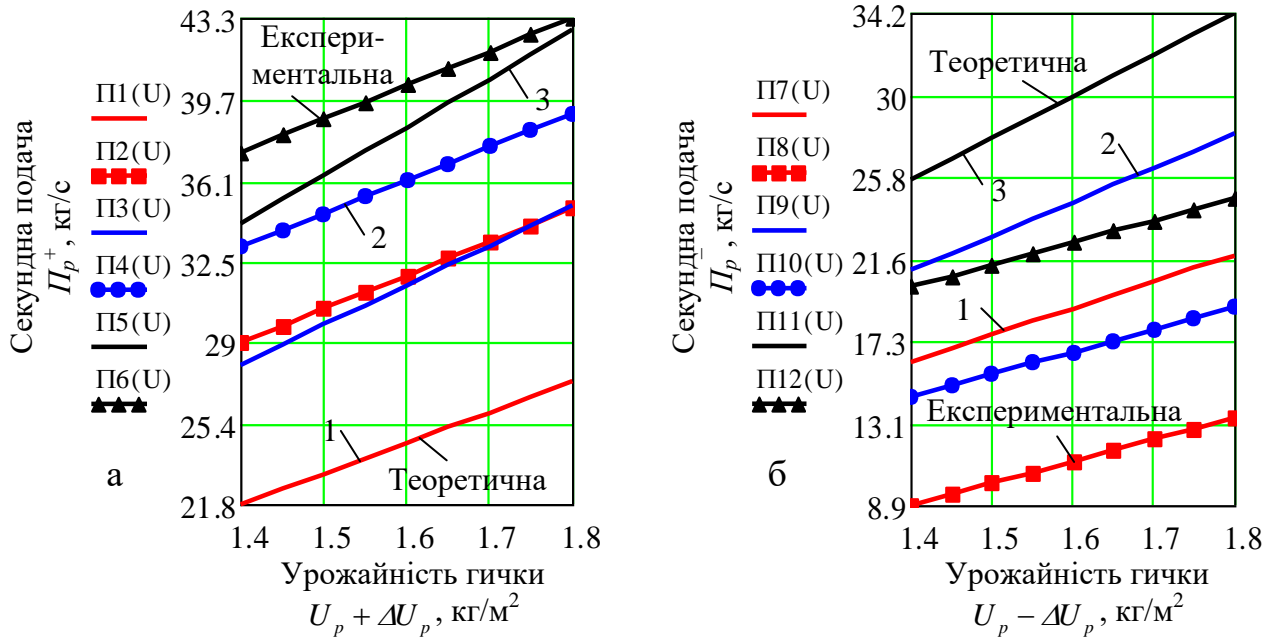


Рисунок 4.10 – Залежність зміни секундної подачі гички як функція:

а –  $P_p^+ = f_{П^+}(U_p + \Delta U_p)$ , 1, 2, 3 – відповідно,  $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 5 + 2$  шт./м<sup>2</sup>,

$$\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2;$$

б –  $P_p^- = f_{П^-}(U_p - \Delta U_p)$ ; 1, 2, 3 – відповідно,  $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 9 - 2$  шт./м<sup>2</sup>,

$$\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 11 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 13 - 2 \text{ шт./м}^2$$

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями секундної подачі  $P_p^-$  зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію при зменшенні густоти насадження  $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$  та урожайності гички  $U_p - \Delta U_p$  коренеплодів знаходиться в діапазоні від 15 % до 25 %, рис. 4.9б, рис. 4.10б;

На рис. 4.11, рис. 4.12 наведено графічні залежності, які характеризують розбіжність значення питомої маси  $M_{np}$  зрізаної та подрібненої гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію та які побудовано згідно з аналітичною залежністю (2.19) та експериментального апроксимованого значення питомої маси гички  $M_{np}^\pm$ , які отримано згідно з емпіричними моделями (4.5) і (4.6).

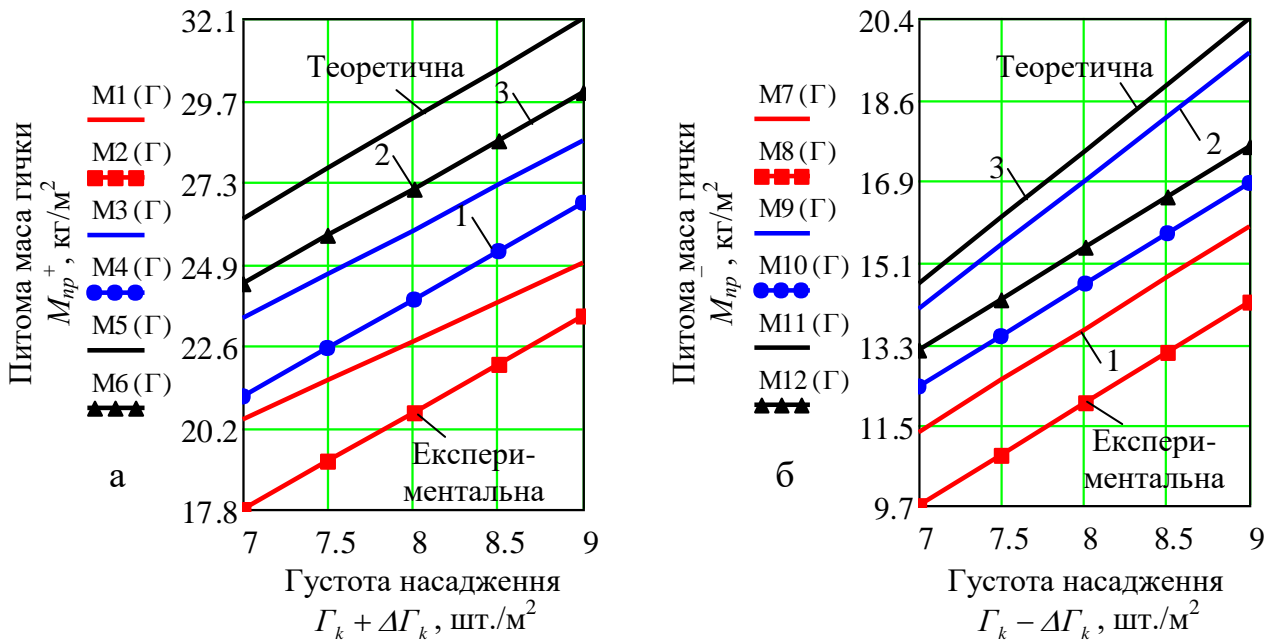


Рисунок 4.11 – Залежність зміни питомої маси зрізаної гички як функція:

$$а - M_{np}^+ = f_{M^+}(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k), 1, 2, 3 - \text{відповідно, } U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$U_p + \Delta U_p = 1,4 + 0,2 \text{ кг/м}^2, U_p + \Delta U_p = 1,6 + 0,2 \text{ кг/м}^2;$$

$$б - M_{np}^- = f_{M^-}(\Gamma_k - \Delta\Gamma_k), 1, 2, 3 - \text{відповідно, } U_p - \Delta U_p = 1,6 - 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$U_p - \Delta U_p = 1,8 - 0,2 \text{ кг/м}^2, U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2$$

На основі числового аналізу графічних залежностей зміни значень питомої маси зрізаної та подрібненої гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів цикорію було встановлено, що:

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями питомої маси  $M_{np}^+$  зрізаної гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів цикорію при збільшені густоти насадження  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$  та урожайності гички  $U_p + \Delta U_p$  знаходиться в діапазоні від 10 % до 15 %, рис. 4.11а, рис. 4.12а;

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями питомої маси  $M_{np}^-$  зрізаної гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів цикорію при зменшені густоти насадження  $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$  та урожайності гички  $U_p + \Delta U_p$  знаходиться в діапазоні від 7 % до 18 %, рис. 4.11б, рис. 4.12б.

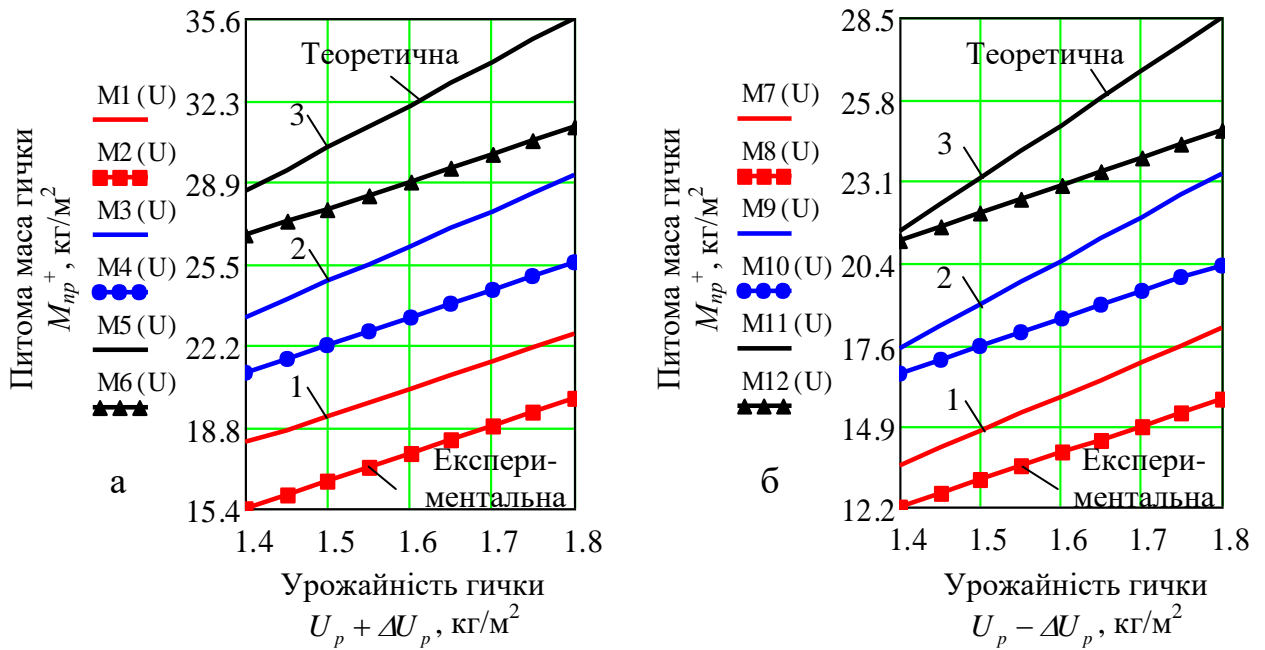


Рисунок 4.12 – Залежність зміни питомої маси зрізаної гички як функція:

$$a - M_{np}^+ = f_{M^+}(U_p + \Delta U_p), \text{ 1, 2, 3 - відповідно, } \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 5 + 2 \text{ шт./м}^2,$$

$$\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2;$$

$$б - M_{np}^- = f_{M^-}(U_p - \Delta U_p); \text{ 1, 2, 3 - відповідно, } \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 9 - 2 \text{ шт./м}^2,$$

$$\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 11 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 13 - 2 \text{ шт./м}^2$$

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна констатувати, що:

- розроблені аналітичні моделі (2.18) і (2.19), які, відповідно, описують функціональний характер зміни секундної подачі  $P_p$  і питомої маси  $M_{np}$  зрізаної та подрібненої гички коренеплодів є адекватними та такими, які на теоретичному рівні задовільно описують характер зміни експериментального масиву даних  $P_p^\pm$  і  $M_{np}^\pm$ ;

- розроблені емпіричні моделі (4.3) – (4.6) дозволяють прогнозувати та розраховувати числові значення секундної подачі та питомої маси зрізаної і подрібненої гички в міжряддя невикопаних коренеплодів в межах зміни швидкості руху гичкозбирального модуля  $1,2 \leq \mathcal{G}_M \leq 1,6$  (м/с), урожайності гички  $1,4 \leq U_p \leq 1,8$  (кг/м<sup>2</sup>), густоти насадження коренеплодів  $7 \leq \Gamma_k \leq 11$  (шт./м<sup>2</sup>), що є передумовою для проектування та розрахунку робочих органів для викопування та очищення коренеплодів від домішок.

## 4.2. Експериментальні дослідження розмірних частин подрібнених стебел гички роторним гичкорізом

Для встановлення емпіричної закономірності, яка регламентує (характеризує) залежність зміни розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля та перевірки адекватності закономірності зміни теоретичних значень  $X_k$  і  $Y_k$  згідно з першими двома аналітичними залежностями системи рівнянь (2.50), провели натурні польові експериментальні дослідження, реалізацію яких здійснювали згідно з методикою, яку наведено у підрозділі 3.3 розділу 3.

Частини подрібнених стебел гички після зрізування її основного масиву роторним гичкорізом відбирали з утвореного у міжряддях валка зрізаної та подрібненої гички (рис. 4.13), при цьому обробку одержаного масиву експериментальних даних провели згідно з відомими положеннями [148] і методикою, яка також наведена у підрозділі 3.3.



Рисунок 4.13 – Загальний вигляд утвореного валка подрібнених частин гички

На першому етапі досліджень з метою підтвердження вірогідності розподілу розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$ , визначеного у подальшому за емпіричною залежністю та одержаного

загального експериментального масиву даних, або оцінки випадкового розходження між емпіричним і експериментальним параметрами розподілу проведено обробку експериментального масиву генеральної вибірки (табл. 1.Г.5.2, табл. 2.Г.5.2 додатка Г.5.2) згідно зі стандартною методикою [110, 117, 119] з метою встановлення закону функціонального розподілу значень випадкових величин  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$ .

У результаті обробки генеральної вибірки (кількість вимірів кожного значення, або об'єм вибірки –  $N \geq 100$ ) побудовано гістограму та полігон розподілу частот розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$ , кожна з яких (рис. 4.14а, б) відтворює диференційний закон розподілу випадкової величини, або щільність розподілення  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  [120].

Поділ на класи одержаного експериментального масиву даних генеральної вибірки безперервного випадкового процесу розмірних значень частин подрібнених стебел гички виконано за правилом Штюргеса. Аналіз побудованих гістограми та полігону щільності розподілу випадковості процесу (рис. 4.3) показує, що диференційний закон щільності розподілу  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  близький до нормального (крива 1), а безпосередньо диференційний закон ймовірності щільності розподілу у загальному випадку має вигляд [120]:

$$f(x) = f(X_k^{(e)}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_k^{(e)} - \mu}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{7,5\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-2,4}{7,5}\right)^2}; \quad (4.7)$$

$$f(y) = f(Y_k^{(e)}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Y_k^{(e)} - \mu}{\sigma}\right)^2} = \frac{1}{9,0\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-2,3}{9,0}\right)^2}, \quad (4.8)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення;

$\mu$  – математичне сподівання.

Числові значення  $\sigma$  і  $\mu$  для відповідного закону щільності розподілення  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  наведено в табл. 4.2.

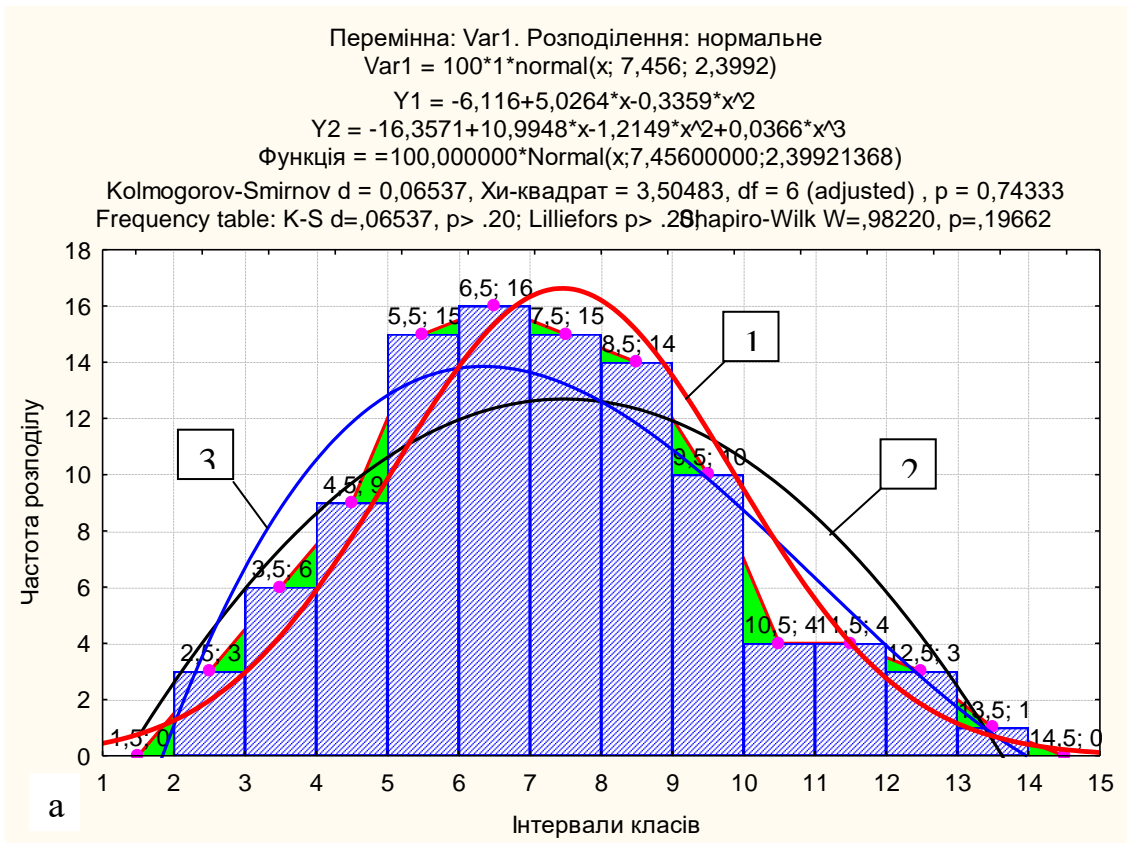


Рисунок 4.14 – Гістограма та полігон щільності розподілу: а –  $X_k^{(e)}$ ; б –  $Y_k^{(e)}$ :

1 – нормальний закон розподілу; 2 – квадратичний закон розподілу;

3 – кубічний закон розподілу



Таблиця 4.2 – Числові значення  $\sigma$  і  $\mu$ 

	$X_k^{(e)}$	$Y_k^{(e)}$
$\sigma$	7,5	2,4
$\mu$	9,0	2,3

Перевірка гіпотези про нормальний розподіл вибіркової сукупності випадкової величини необхідна для підтвердження або відхилення нульової гіпотези про розподіл випадкової величини та належність вибіркової сукупності до генеральної. Перевірка відповідності розподілу випадкової величини  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  нормальному закону розподілу проведена за критерієм відповідності Колмогорова-Смирнова  $K(\lambda)$ , додаток Г.6.2, додаток Г.7.2.

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує зміну розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля залежно від швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$ , частоти обертання ротора гичкоріза  $n_x$ , діаметра ротора гичкоріза  $D_p$ , утворювали таблицю одержаних результатів точок композиційного плану трифакторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$  (табл. 1.Г.8.2, табл. 2.Г.8.2 додатка Г.8.2), які побудовано згідно з табл. 1.Г.5.2 додатка Г.5.2.

Апроксимуючу функцію параметра оптимізації, адекватність якої перевіряли згідно з положеннями (3.4-3.14), тобто характер зміни розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза, визначених експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома [120]

$$X_k^{(e)}; Y_k^{(e)} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_{13} + b_{23} x_{23} + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2, \quad (4.9)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  – коефіцієнти відповідних значень  $x_i$ ;

$x_1, x_2, x_3$  – відповідні кодовані фактори.

Після визначення коефіцієнтів (табл. 4.3), перевірки адекватності вибраної моделі відповідному експериментальному масиву даних і оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії (4.9) за відповідними критеріями (додаток Г.9.2, додаток Г.10.2) було одержано кінцевий вигляд рівняння регресії зміни розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля залежно від швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$ , частоти обертання ротора гичкоріза  $n_x$ , діаметра ротора гичкоріза  $D_p$  у натуральних величинах як функціонала  $X_k^{(e)} = f(V_M; n_x; D_p)$  та  $Y_k^{(e)} = f(V_M; n_x; D_p)$  за результатами ПФЕ 3<sup>2</sup>

$$X_k^{(e)} = -81,06 + 5,74V_M + 0,08n_x + 182,64D_p - 11,56V_M D_p - 0,08n_x D_p - 81,15D_p^2; \quad (4.10)$$

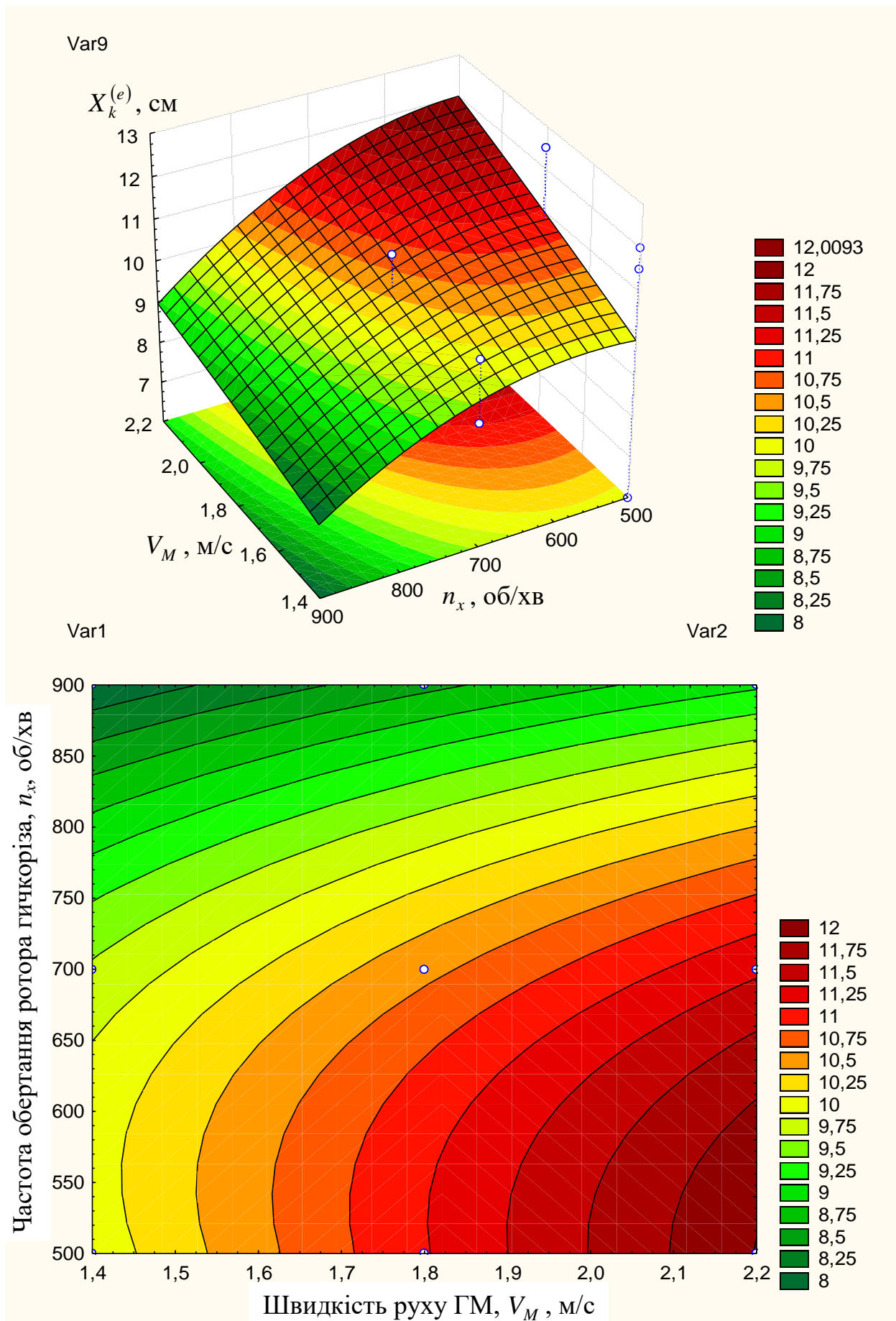
$$Y_k^{(e)} = 13,43 + 3,15V_M - 0,009n_x - 32,08D_p - 3,6V_M D_p - 0,1V_M^2 + 38,68D_p^2. \quad (4.11)$$

Таблиця 4.3 – Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії

	Значення коефіцієнтів									
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$X_k^{(e)}$	-81,06	5,74	0,08	182,64	0,003	-11,56	-0,08	-0,1	-0,00003	-81,15
$Y_k^{(e)}$	13,43	3,15	-0,009	-32,08	0,001	-3,6	0,005	-0,1	0,000008	38,68

Наведені рівняння регресії (4.10) і (4.11) описують характер зміни розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля залежно від зміни вхідних факторів у таких межах: швидкості руху гичкозбирального модуля  $1,4 \leq V_M \leq 2,2$  (м/с); частоти обертання ротора гичкоріза  $500 \leq n_x \leq 900$  (об/хв); діаметра ротора гичкоріза  $0,55 \leq D_p \leq 0,75$  (м).

Згідно з одержаними рівняннями регресії побудовано поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку залежності зміни розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  як функціонала: рис. 4.15, рис. 4.17 –  $X_k^{(e)} = f(V_M; n_x)$ ,  $Y_k^{(e)} = f(V_M; n_x)$  при  $D_p = 0,65$  м; рис. 4.16, рис. 4.18 –  $X_k^{(e)} = f(V_M; D_p)$ ,  $Y_k^{(e)} = f(V_M; D_p)$  при  $n_x = 700$  об/хв; рис. 1.Г.11.2, рис. 2.Г.11.2 додатка Г.11.2 –  $X_k^{(e)} = f(V_M; D_p)$ ,  $Y_k^{(e)} = f(V_M; D_p)$  при  $V_M = 1,8$  м/с.



Рисуюнок. 4.15 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності

$$X_k^{(e)} = f(V_M; n_x)$$

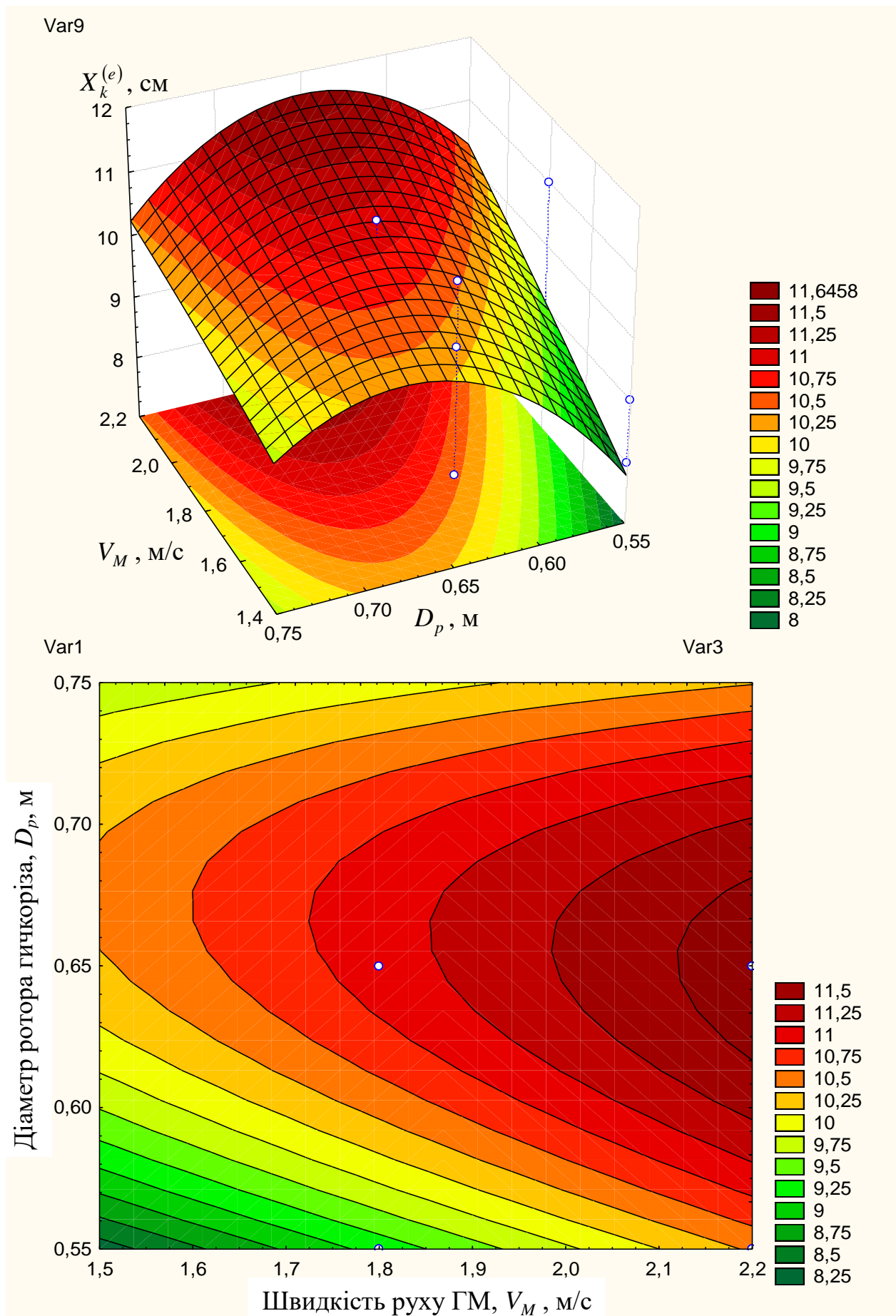


Рисунок 4.16 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності

$$X_k^{(e)} = f(V_M; D_p)$$

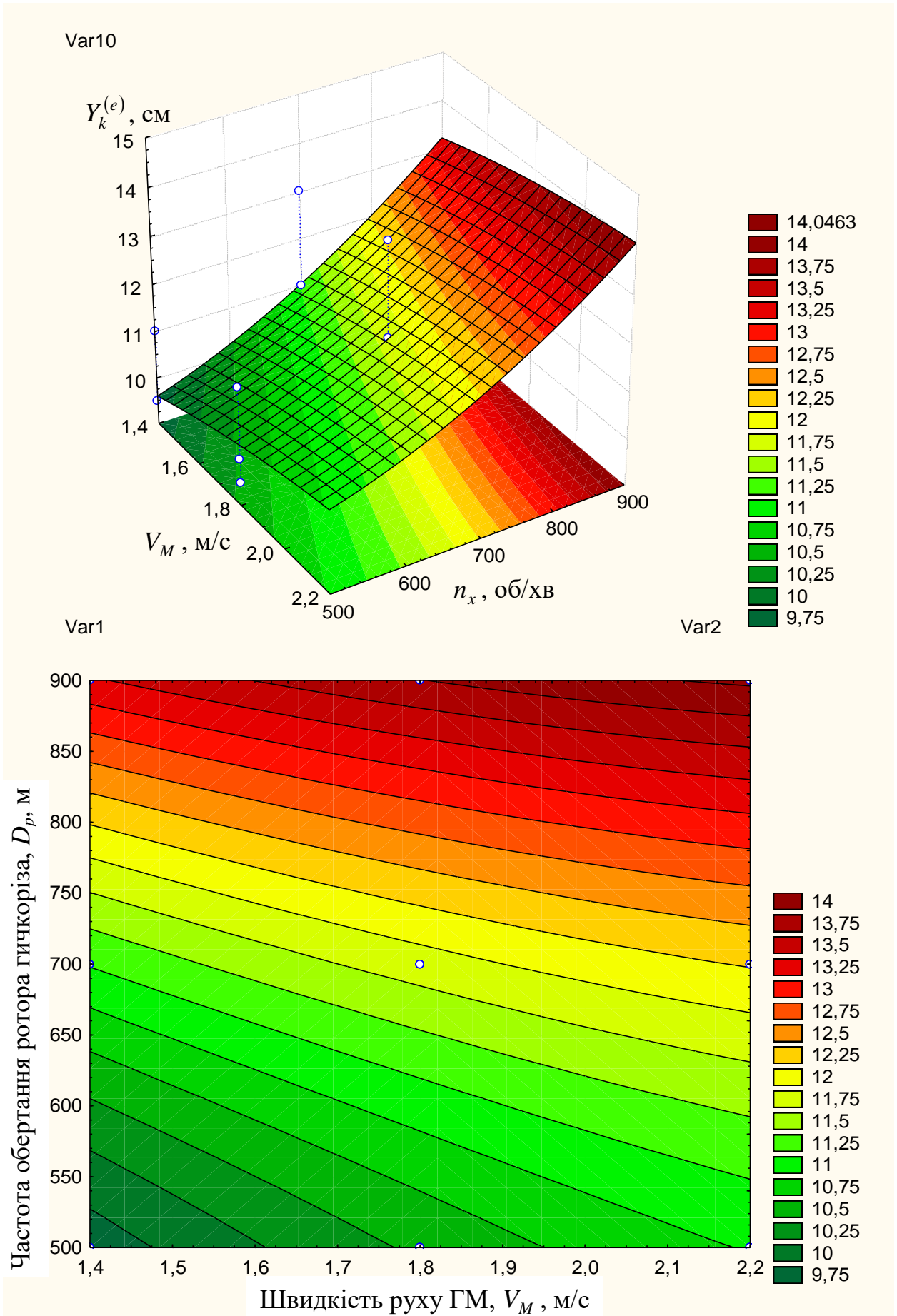


Рисунок 4.17 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності

$$Y_k^{(e)} = f(V_M; n_x)$$

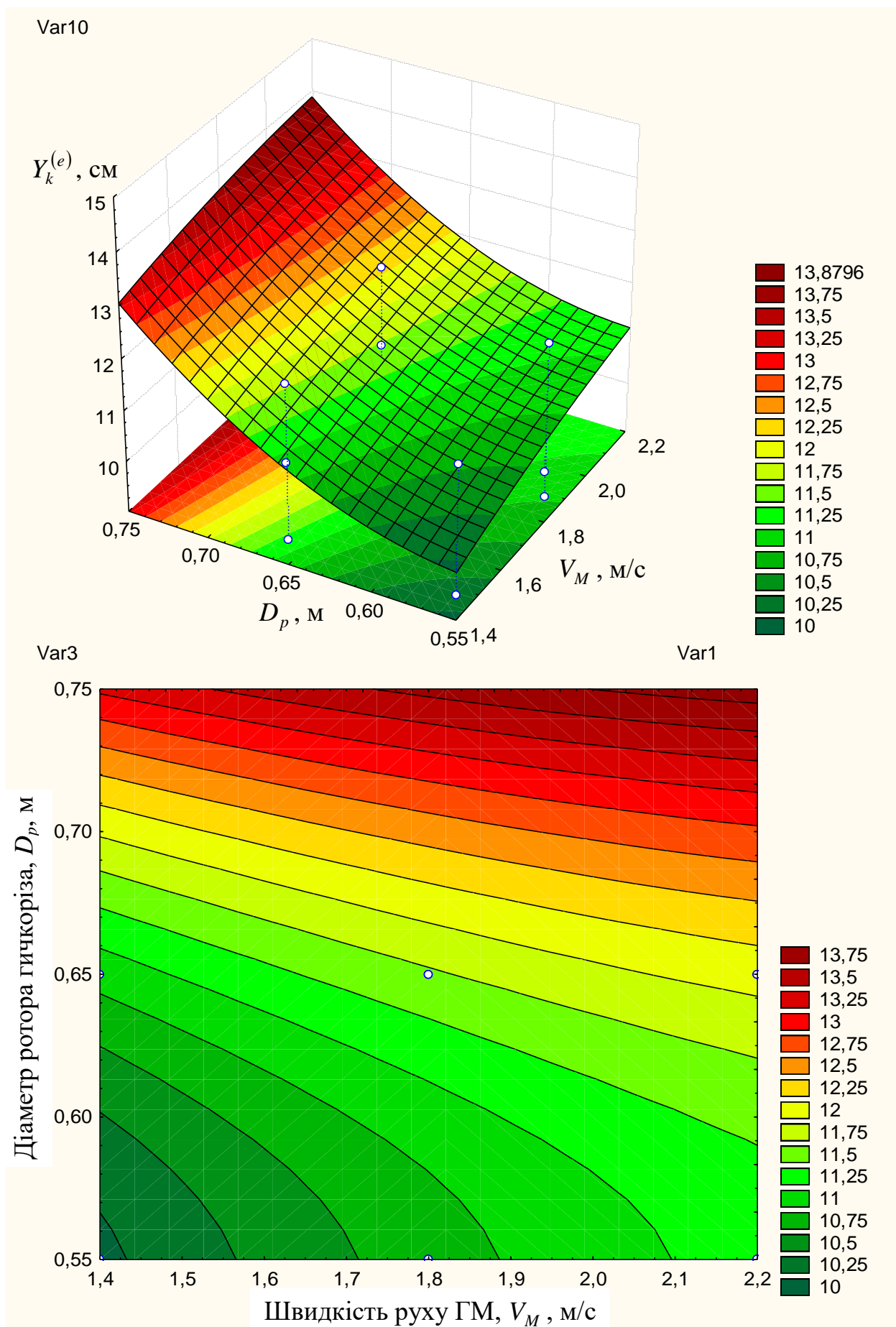


Рисунок 4.18 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності

$$Y_k^{(e)} = f(V_M; D_p)$$

Аналіз наведених поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів показує, що домінуючим факторами, які мають значний вплив на розмірні значення частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$ , що змінюються у діапазоні від 7 до 13 (см) є частота обертання  $n_x$  та швидкість руху  $V_M$  гичкозбирального модуля. При цьому у діапазоні зміни частоти обертання  $n_x$  (її збільшення) розмірні значення  $X_k^{(e)}$  зменшуються у середньому на 2,5...3,5 (см), або на 15...20 % (рис. 4.15, рис. 1.Г.11.2 додатка Г.11.2), а зміна  $X_k^{(e)}$  залежно від збільшення діапазону швидкості руху  $V_M$  ГМ має прямо пропорційний характер – розмірні значення  $X_k^{(e)}$  збільшуються у середньому на 2,0...4,5 (см), або на 10...25 % (рис. 4.15, рис. 4.16).

Зміна  $X_k^{(e)}$  залежно від збільшення діапазону діаметра  $D_p$  ротора гичкоріза має двоякий (більш за все, випадковий) характер – зі збільшенням  $D_p$  ротора у діапазоні  $0,55 \leq D_p \leq 0,70$  (м) розмірні значення  $X_k^{(e)}$  збільшуються у середньому на 1,5...2,0 (см), а подальше збільшення  $D_p$  призводить до незначного зворотного характеру, або зменшення розмірного значення  $X_k^{(e)}$  приблизно на 1,0...1,5 (см), рис. 4.16, рис. 2.Г.11.2 додатка Г.11.2.

Розмірні значення частин подрібнених стебел гички  $Y_k^{(e)}$  змінюються у діапазоні від 9,5 до 15,5 (см), а домінуючими факторами, які значно корегують параметр  $Y_k^{(e)}$  є частота обертання  $n_x$  та діаметр  $D_p$  ротора. При цьому зі збільшенням частоти обертання  $n_x$  та діаметр  $D_p$  ротора у, відповідно, встановлених діапазонах її зміни розмірні значення  $Y_k^{(e)}$  збільшуються на 20...40 %, або у середньому на 3,0...4,5 (см), рис. 4.17, рис. 4.17, рис. 2.Г.11.2 додатка Г.11.2), а зміна  $Y_k^{(e)}$  залежно від збільшення швидкості руху  $V_M$  гичкозбирального модуля має незначний прямо пропорційний характер – приріст розмірних значень  $Y_k^{(e)}$  зростає у незначних межах – у середньому на 1,0...1,5 (см), або на 5...10 %.

Таким чином на основі проведеного аналізу можна константувати, що характер зміни розмірних значень подрібнених частин стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  у загальному контексті та враховуючи значну випадковість процесу адекватний теоретичному аналізу характеру зміни  $X_k$  і  $Y_k$ , наведеному у підрозділі 2.2 розділу 2. Розбіжність аналітичних значень розмірних параметрів подрібнених частин стебел гички  $X_k$ , які побудовано згідно теоретичних залежностей (2.50) і емпіричних значень  $X_k^{(e)}$ , побудованих згідно з експериментальною моделлю (4.10) становить у середньому 12...23 %, що підтверджується аналізом графічних залежностей, наведених на рис. 4.19, а закономірність функціональної зміни  $X_k$  і  $X_k^{(e)}$  цілком співпадає.

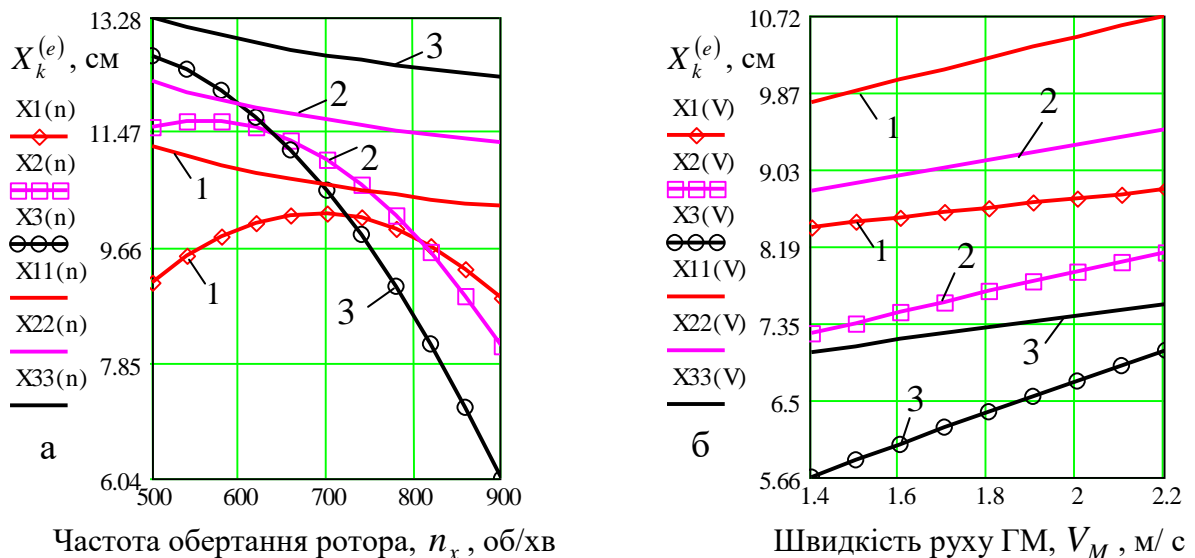


Рисунок 4.19 – Залежність зміни: а – як функціонал  $X_k^{(e)} = f(n_x)$  при  $V_M = 1,8$  м/с, 1, 2, 3 – відповідно,  $D_p = 0,55; 0,65; 0,75$  (м); б – як функціонал  $X_k^{(e)} = f(V_M)$  при  $D_p = 0,65$  м, 1, 2, 3 – відповідно,  $n_x = 500; 700; 900$  (об/хв); X1-X3 – експериментальна, X11-X33 – теоретична

Це дозволяє зробити висновок, що розроблені теоретичні та математичні моделі, які характеризують функціональну зміну розмірних значень подрібнених частин стебел гички ножами роторного гичкоріза адекватні та можуть бути використані у подальшому для обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів ГМ з умови мінімізації розмірних значень  $X_k$  і  $Y_k$ , що забезпечить задовільне виконання технологічного процесу збирання гички коренеплодів із заданими, або необхідними характеристиками, властивостями та вимогами.



### 4.3. Експериментальні дослідження зрізування гички робочими органами гичкозбирального модуля

Для встановлення основних закономірностей зміни параметрів оптимізації (кількості вибитих коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{Bp}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_B^{(e)}$ , пошкодження коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{Pr}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_{Pr}^{(e)}$ , із них сильнопошкоджених коренеплодів гичкозбиральним модулем загалом  $K_{CII}^{(e)}$ ) було проведено польові експериментальні дослідження удосконаленого гичкозбирального модуля на основі побудови та реалізації багатофакторного експерименту типу ПФЕ 3<sup>3</sup> (додаток Г.11.2).

Загальний вигляд агрегату «ГМ+МТЗ-82» для зрізування основного масиву гички наведено на рис. 3.2, конструктивна схема гичкозбирального модуля – на рис. 3.31, рис. 3.32. На рис. 4.20 наведено загальний вигляд Г-подібних ножів і обрізника головок коренеплодів від залишків гички.

Технічну характеристику агрегату «ГМ+МТЗ-82» наведено у додатку В.4.1. Умови проведення досліджень і загальну характеристику культури та залікової ділянки поля наведено у додатку В.10.3.

Для отримання регресійної моделі, яка характеризує функціональну залежність зміни кількості вибитих коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{Bp}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_B^{(e)}$ , пошкодження коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{Pr}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_{Pr}^{(e)}$ , кількості сильнопошкоджених коренеплодів гичкозбиральним модулем загалом  $K_{CII}^{(e)}$  від параметрів робочих органів гичкозбирального модуля, вибирали відповідний композиційний план трифакторного експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали: швидкість руху гичкозбирального модуля  $V_k$ , яку кодували індексом  $X_1$ ; частота обертання ротора гичкоріза  $n_x$ , яку кодували індексом  $X_2$ ; діаметр ротора гичкоріза  $D_p$ , який кодували індексом  $X_3$  [105].

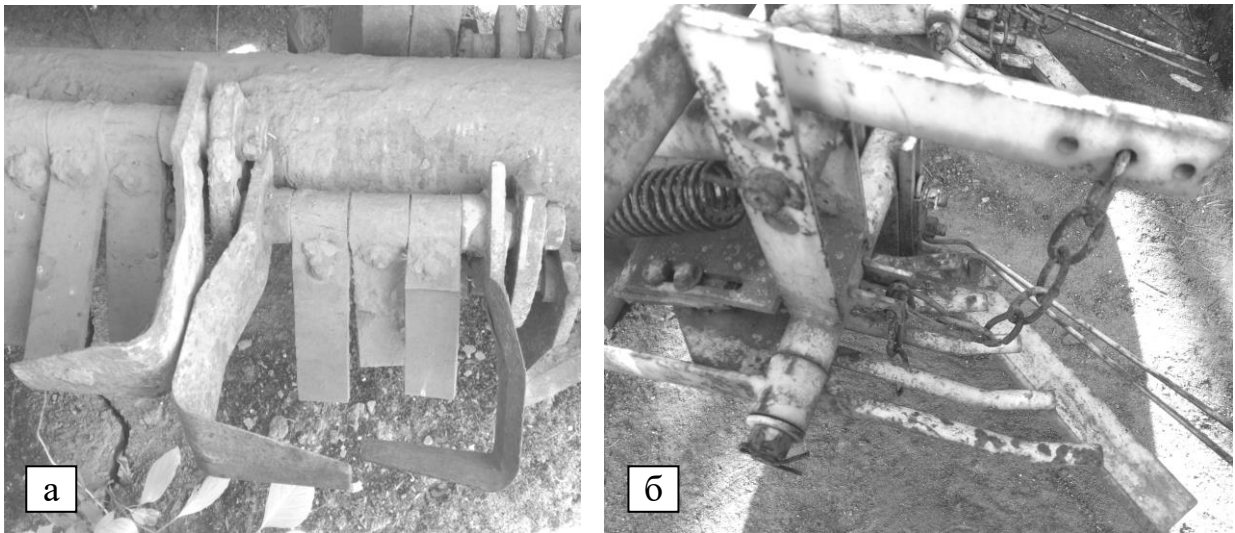


Рисунок 4.20 – Загальний вигляд: а – Г-подібних ножів; б – обрізника головок коренеплодів

Експерименти провели згідно з стандартною методикою, при цьому аналіз показників функції відгуку проводили згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машин: кількість пошкоджених коренеплодів повинно бути не більше 10 %, у тому числі сильнопошкоджених – до 5 %; вибитих коренеплодів із ґрунту робочими органами – не більше 1,5 % [111].

Результати експериментального масиву даних з дослідження зрізування основного масиву гички робочими органами гичкозбирального модуля під час проведення ПФЕ  $3^3$  наведено у додатку Г.10.2.

Апроксимуючу функцію параметрів оптимізації  $K_{Bp}^{(e)}$ ,  $K_B^{(e)}$ ,  $K_{Pr}^{(e)}$ ,  $K_{П}^{(e)}$ ,  $K_{СП}^{(e)}$ , тобто характер зміни функціональної залежності (функції відгуку параметра оптимізації), визначених експериментальним шляхом, попередньо знаходили у вигляді математичної моделі логарифмічної функції [105]

$$y_i^{(e)}(x_i) = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3, \quad (4.12)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти рівняння при відповідних значеннях  $x_i$ ;

$x_1, x_2, x_3$  – відповідне позначення натуральних факторів.

Після обробки експериментального масиву даних згідно з (3.12) було визначено розрахункові числові значення коефіцієнтів рівняння регресії (4.12), або апроксимуючої функції, які наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Значення коефіцієнтів рівняння регресії експерименту типу ПФЕ 3<sup>3</sup>

Емпірична модель	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
$K_{Bp}^{(e)} = \ln(V_M; n_x; D_p)$	-5,24	0,95	1,02	2,1
$K_B^{(e)} = \ln(V_M; n_x; D_p)$	-5,4	1,42	1,02	2,03
$K_{Ip}^{(e)} = \ln(V_M; n_x; D_p)$	-24,34	7,05	6,53	29,52
$K_{II}^{(e)} = \ln(V_M; n_x; D_p)$	-26,25	9,24	6,72	29,89
$K_{CII}^{(e)} = \ln(V_M; n_x; D_p)$	-40,93	3,62	6,82	7,8

Апроксимуючу функцію параметрів оптимізації  $K_{Bp}$ ,  $K_B$ ,  $K_{Ip}$ ,  $K_{II}$ ,  $K_{CII}$ , адекватність якої перевіряли згідно з  $F$ -критерієм Фішера (табличне значення якого позначимо  $F_T(0,05; f_{ag}; f_u)$ , де 0,05 означає 5 % рівень значущості (дорівнює  $1-\alpha$ , де  $\alpha$  – довірна ймовірність, додатки Г.11.2-Г.15.2) у кінцевому випадку записували у вигляді математичної моделі логарифмічної залежності, при цьому після визначення коефіцієнтів і оцінки статистичної значущості коефіцієнтів апроксимуючої функції (табл. 4.3) згідно з  $t$ -критерієм Стьюдента [119] (додатки Г.12.3-Г.16.3), одержано кінцевий вигляд рівнянь регресії зміни:

- кількості вибитих коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{Bp}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_B^{(e)}$ ;
- пошкодження коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{Ip}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_{II}^{(e)}$ ;
- кількості сильнопошкоджених коренеплодів гичкозбиральним модулем загалом  $K_{CII}^{(e)}$  залежно від зміни наступних факторів:
  - швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_k$ ;
  - частоти обертання  $n_x$ ;
  - діаметра  $D_p$  ротора гичкоріза у натуральних величинах як функціональної залежності  $K_{Bp}^{(e)}; K_B^{(e)}; K_{Ip}^{(e)}; K_{II}^{(e)}; K_{CII}^{(e)} = f(V_k; n_x; D_p; )$ , тобто

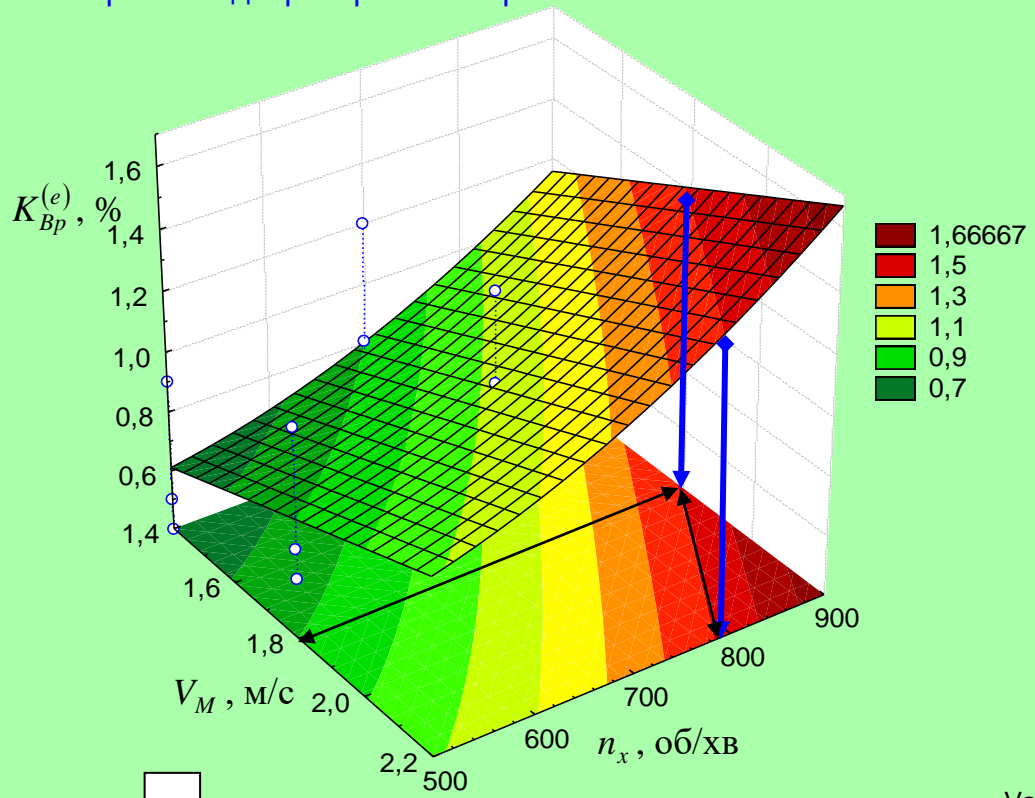
$$\left. \begin{aligned} K_{Bp} &= -5,24 + 0,95 \ln(V_k) + 1,02 \ln(n_x) + 2,1 \ln(D_p); \\ K_B &= -5,4 + 1,42 \ln(V_k) + 1,02 \ln(n_x) + 2,03 \ln(D_p); \\ K_{IIp} &= -24,34 + 7,05 \ln(V_k) + 6,53 \ln(n_x) + 29,52 \ln(D_p); \\ K_{II} &= -26,25 + 9,24 \ln(V_k) + 6,72 \ln(n_x) + 28,89 \ln(D_p); \\ K_{CII} &= -40,93 + 3,62 \ln(V_k) + 6,78 \ln(n_x) + 7,8 \ln(D_p) \end{aligned} \right\}. \quad (4.13)$$

Аналіз наведених рівнянь регресії (4.13) показує, що кількість вибитих коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{Bp}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_B^{(e)}$ , пошкоджень коренеплодів роторним гичкорізом  $K_{IIp}^{(e)}$  і гичкозбиральним модулем загалом  $K_{II}^{(e)}$ , кількість сильнопошкоджених коренеплодів гичкозбиральним модулем загалом  $K_{CII}^{(e)}$  змінюється прямо пропорційно зміні факторів – зі збільшенням робочої швидкості руху гичкозбирального модуля у межах  $1,4 \leq V_k \leq 2,2$  (м/с), частоти обертання ротора гичкоріза  $500 \leq n_x \leq 900$  (об/хв), діаметра ротора гичкоріза  $0,55 \leq D_p \leq 0,75$  (м) значення величини параметрів оптимізації  $K_{Bp}^{(e)}$ ,  $K_B^{(e)}$ ,  $K_{IIp}^{(e)}$ ,  $K_{II}^{(e)}$ ,  $K_{CII}^{(e)}$  також збільшуються, що підтверджується позитивними значеннями коефіцієнтів  $b_i$  рівнянь регресії при відповідних значеннях  $x_i$  фактора (табл. 4.4).

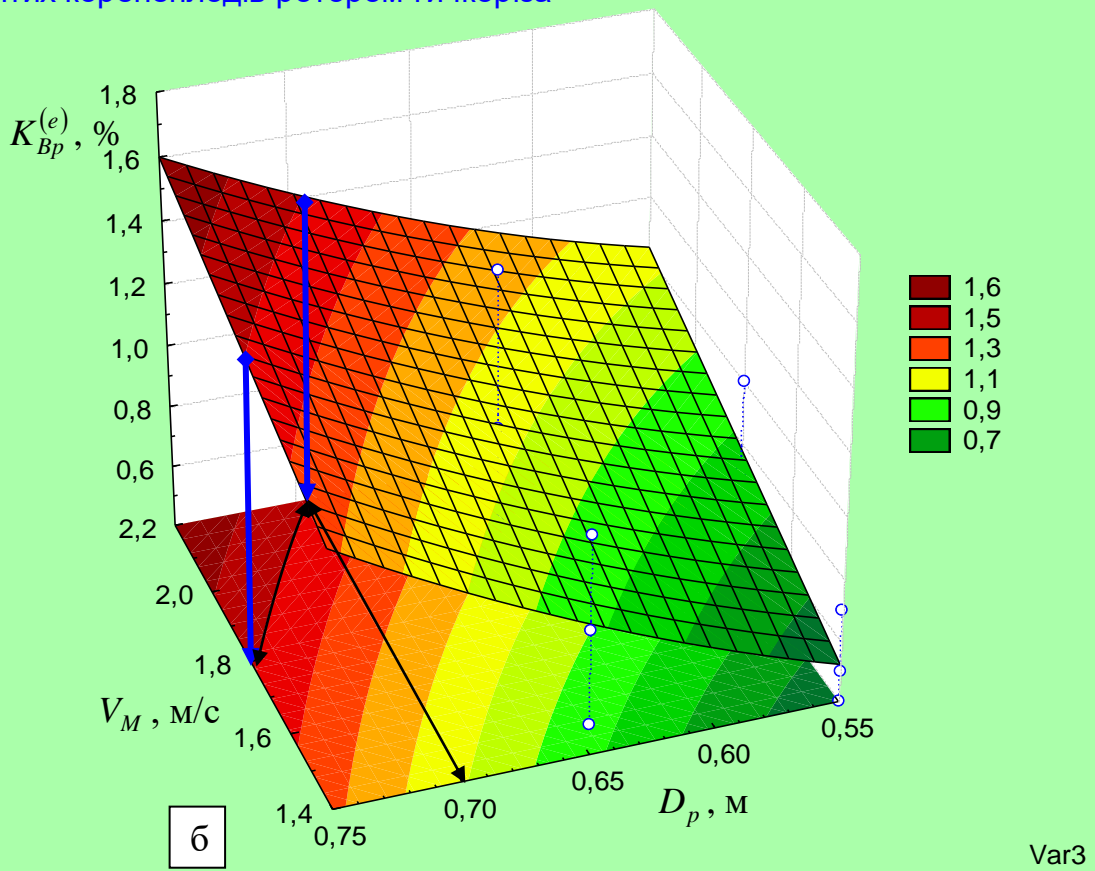
Цей висновок адекватно підтверджується характером зміни побудованих згідно з рівняннями регресії (4.7) графічного відтворення регресійних моделей (поверхонь відгуку) у вигляді функціональних залежностей як функції  $K_{Bp}^{(e)}; K_B^{(e)}; K_{IIp}^{(e)}; K_{II}^{(e)}; K_{CII}^{(e)} = f(x_{i1}; x_{i2})$  від двох змінних факторів  $x_{i1}$ ,  $x_{i2}$  при постійному незмінному третьому факторі  $x_{i3} = const$  та графічних залежностей як функції  $K_{Bp}^{(e)}; K_B^{(e)}; K_{IIp}^{(e)}; K_{II}^{(e)}; K_{CII}^{(e)} = f(x_{i1})$  від одного змінного фактора  $x_{i1}$  при постійних незмінних двох інших факторах  $x_{i2}; x_{i3} = const$ :

- кількість вибитих коренеплодів робочими органами роторного гичкоріза  $K_{Bp}^{(e)} = f(V_k; n_x)$ ,  $K_B^{(e)} = f(V_k; D_p)$ , рис. 4.21;  $K_{Bp}^{(e)} = f(n_x; D_p)$ , рис. 1.Г.13.3а додатка Г.17.3,  $K_{Bp}^{(e)} = f(V_k)$ ,  $K_B^{(e)} = f(n_x)$ , рис. 4.22;

## Вибитих коренеплодів ротором гичкоріза



## Вибитих коренеплодів ротором гичкоріза

Рисунок 4.21- Поверхня відгуку залежності: а –  $K_{Bp}^{(e)} = f(V_M; n_x)$ ;

$$\text{б} - K_{Bp}^{(e)} = f(V_M; D_p)$$

- кількість вибитих коренеплодів робочими органами гичкозбирального модуля загалом  $K_B^{(e)} = f(V_k; n_x)$ ,  $K_B^{(e)} = f(V_k; D_p)$ , рис. 4.23,  $K_B^{(e)} = f(n_x; D_p)$ , рис. 1.Г.13.3б додатка Г.17.3,  $K_B^{(e)}; K_{Bp}^{(e)} = f(V_k)$ ,  $K_B^{(e)}; K_{Bp}^{(e)} = f(n_x)$ , рис. 4.24;

- кількість пошкодження коренеплодів робочими органами роторного гичкоріза  $K_{Пp}^{(e)} = f(V_k; n_x)$ ,  $K_{Пp}^{(e)} = f(V_k; D_p)$ , рис. 4.25,  $K_{Пp}^{(e)} = f(n_x; D_p)$ , рис. 2.Г.13.3а додатка Г.17.3,  $K_{Пp}^{(e)} = f(V_k)$ ,  $K_{Пp}^{(e)} = f(n_x)$ , рис. 4.26;

- кількість пошкодження коренеплодів робочими органами гичкозбирального модуля загалом  $K_{П}^{(e)} = f(V_k; n_x)$ ,  $K_{П}^{(e)} = f(V_k; D_p)$ , рис. 4.27,  $K_{П}^{(e)} = f(n_x; D_p)$ , рис. 2.Г.17.3б додатка Г.17.3,  $K_{П}^{(e)} = f(V_k)$ ,  $K_{П}^{(e)} = f(n_x)$ , рис. 4.28;

- кількість сильнопошкоджених коренеплодів робочими органами гичкозбирального модуля загалом  $K_{СП}^{(e)} = f(V_k; n_x)$ ,  $K_{СП}^{(e)} = f(V_k; D_p)$ , рис. 4.29,  $K_{СП}^{(e)} = f(n_x; D_p)$ , рис. 3.Г.17.3 додатка Г.17.3, двомірний переріз поверхні відгуку кількості сильнопошкоджених коренеплодів  $K_{СП}^{(e)} = f(V_k; n_x)$ ,  $K_{СП}^{(e)} = f(n_x; D_p)$ , рис. 4.30.

При значенні змінних вхідних факторів  $V_M \geq 1,8$  м/с (швидкості руху гичкозбирального модуля),  $n_x \geq 800$  об/хв (частоти обертання ротора гичкоріза) і  $D_p \geq 0,7$  м (діаметра ротора гичкоріза) кількість вибитих коренеплодів із ґрунту  $K_{Bp}^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза, або гичкозрізувальними ножами гичкозбирального модуля, перевищує встановлений нормативний показник вибитих з ґрунту коренеплодів  $K_{Bp}^{(e)}$  до 1,5 % згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машин від загальної кількості коренеплодів облікової ділянки.

Ця закономірність також характерна поверхням відгуку, які наведено на рис. 4.21 і рис. 1.Г.17.3а додатка Г.17.3 та графічним залежностям, які наведено на рис. 4.22.

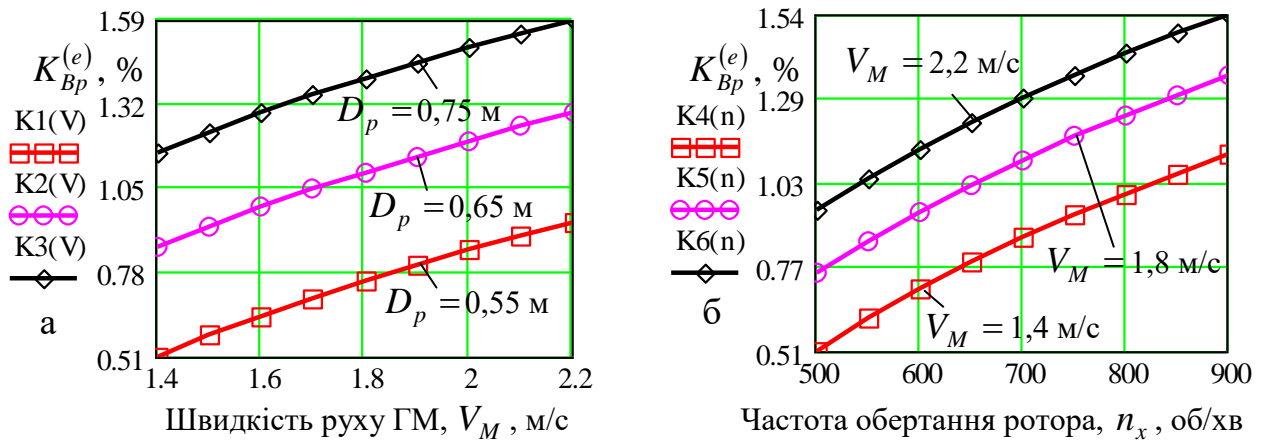
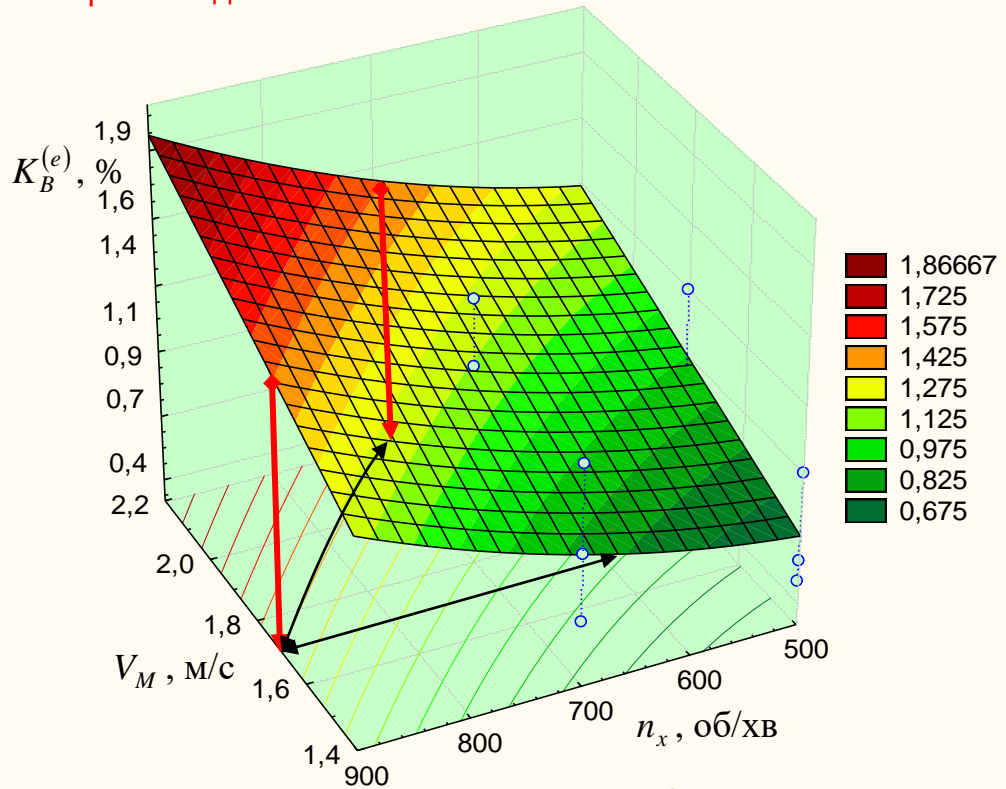


Рисунок 4.22 – Залежність зміни  $K_{Bp}^{(e)}$ : а – як функціонал  $K_{Bp}^{(e)} = f(V_M)$  при  $n_x = 700$  об/хв; б – як функціонал  $K_{Bp}^{(e)} = f(n_x)$  при  $D_p = 0,65$  м

Найбільший вплив на параметр  $K_{Bp}^{(e)}$ , або домінуючим фактором, який суттєво корегує кількість вибитих з ґрунту коренеплодів робочими органами (ножами) роторного гичкоріза є частота обертання ротора  $n_x$  – при збільшенні  $V_M$  або  $D_p$  у відповідному діапазоні  $1,4 \leq V_M \leq 2,2$  (м/с),  $0,55 \leq D_p \leq 0,75$  (м) та значенні  $n_x = 500$  об/хв числове значення  $K_{Bp}^{(e)}$  збільшується від 0,7 % до 0,9 %, або в 1,3 рази, тоді, як за значення  $n_x = 900$  об/хв, числове значення  $K_{Bp}^{(e)}$  збільшується від 1,0 % до 1,7...1,8 %, або в 1,7...1,8 рази (рис. 4.21а).

Аналіз поверхонь відгуку, які характеризують функціональну зміну кількості вибитих коренеплодів з ґрунту  $K_B^{(e)}$  робочими органами гичкозбирального модуля загалом (ножами ротора гичкоріза та робочими органами обрізника залишків гички – копіром і ножем) показує, що в даному випадку основним корегуючим фактором, який впливає на показник  $K_B^{(e)}$  є вплив швидкості руху  $V_M$  модуля, або адекватної швидкості руху обрізника (рис. 4.23, рис. 2.Г.17.3б додатка Г.17.3). При цьому можна констатувати, що зі збільшенням швидкості руху  $V_M$  модуля (обрізника) до 1,6 м/с збільшення  $K_B^{(e)}$  відносно  $K_{Bp}^{(e)}$  практично не спостерігається (у середньому на 0,02..0,03 (%), а подальше збільшення  $V_M$  до 2,2 м/с призводить до значного збільшення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту  $K_B^{(e)}$  модулем загалом, або робочими органами обрізника залишків гички у середньому на 0,03...0,3 %, рис. 4.24.

Вибитих коренеплодів ГМ загалом

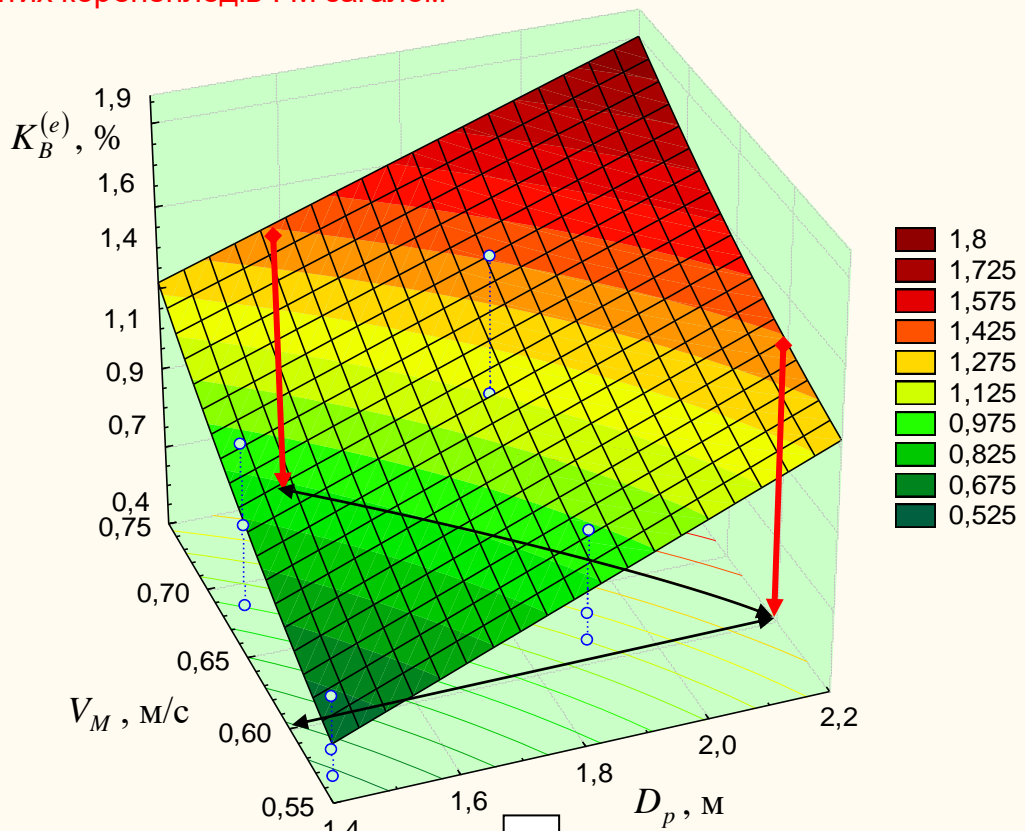


Швидкість руху ГМ

Частота обертання ротора гичкоріза

а

Вибитих коренеплодів ГМ загалом



Діаметр ротора гичкоріза

Швидкість руху ГМ

б

Рисунок. 4.23 – Поверхня відгуку залежності: а –  $K_B^{(e)} = f(V_M; n_x)$ ;

$$\text{б} - K_B^{(e)} = f(V_M; D_p)$$



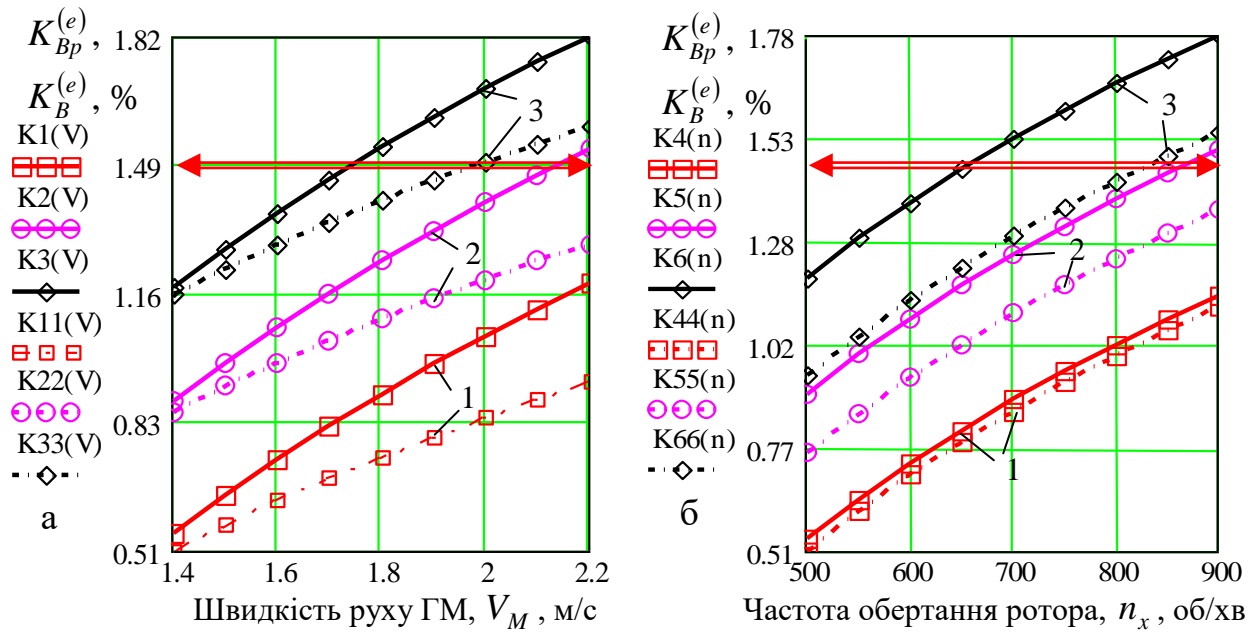


Рисунок 4.24 – Залежність зміни  $K_{Bp}^{(e)}$ ,  $K_B^{(e)}$ : а –  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$  як функціонал  $K_B^{(e)} = f(V_M)$ ,  $K11$ ,  $K22$ ,  $K33$  як функціонал  $K_{Bp}^{(e)} = f(V_M)$  при  $n_x = 700$  об/хв; 1, 2, 3 – відповідно,  $D_p = 0,55$ ;  $0,65$ ;  $0,75$  (м); б –  $K4$ ,  $K5$ ,  $K6$  як функціонал

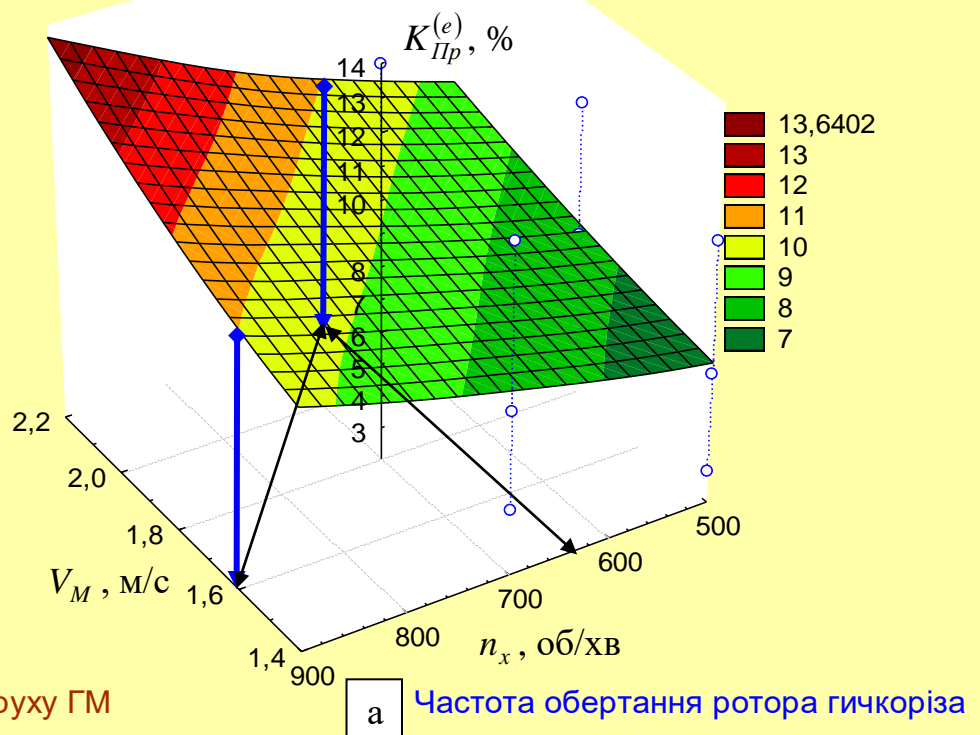
$K_B^{(e)} = f(n_x)$ ,  $K44$ ,  $K55$ ,  $K66$  як функціонал  $K_{Bp}^{(e)} = f(n_x)$  при  $D_p = 0,65$  м; 1, 2, 3 – відповідно,  $V_M = 1,4$ ;  $1,8$ ;  $2,2$  (м/с)

На основі проведеного аналізу з умови забезпечення агротехнічних вимог відносно показника параметра оптимізації  $K_B^{(e)} < 1,5$  % (рис. 4.24) на першому етапі можна стверджувати, що наведена умова забезпечується за наступних значень конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля:

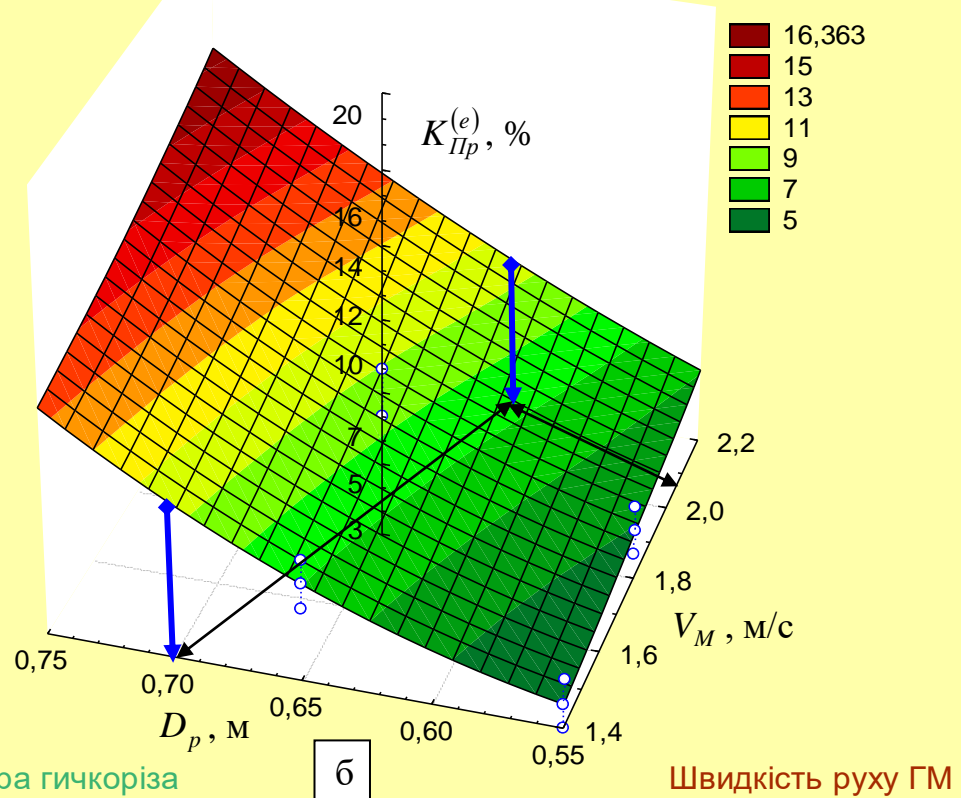
- швидкість руху ГМ  $V_M \leq 1,8$  м/с;
- частота обертання ротора гичкоріза  $n_x \leq 700$  об/хв;
- діаметр ротора гичкоріза  $D_p \leq 0,7$  м.

Аналіз побудованих поверхонь відгуку, які характеризують залежність зміни загальної кількості пошкодження коренеплодів  $K_{Pr}^{(e)}$  ножами ротора гичкоріза (рис. 4.25, рис. 3.Г.17.3а додатка Г.17.3) показує, що параметр оптимізації  $K_{Pr}^{(e)}$  змінюється у межах 5...17 (%).

## Пошкодження коренеплідів ротором гичкоріза



## Пошкодження коренеплідів ротором гичкоріза

Рисунок 4.25 – Поверхня відгуку залежності: а –  $K_{IIp}^{(e)} = f(V_M; n_x)$ ;

$$\text{б} - K_{IIp}^{(e)} = f(V_M; D_p)$$

При значенні змінних вхідних факторів  $V_M \geq 1,6$  м/с (швидкості руху гичкозбирального модуля),  $n_x \geq 800$  об/хв (частоти обертання ротора гичкоріза) і  $D_p \geq 0,7$  м (діаметра ротора гичкоріза) кількість пошкоджених коренеплодів  $K_{Пр}^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза, або гичкозрізувальними ножами гичкозбирального модуля, перевищує встановлений допустимий нормативний показник пошкодження коренеплодів  $K_{Пр}^{(e)} \leq 10\%$  згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машин від загальної кількості коренеплодів облікової ділянки, що характерно поверхням відгуку, які наведено на рис. 4.25 і рис. 3.Г.17.3а додатка Г.17.3.

Ця функціональна залежність зміни пошкодження коренеплодів робочими органами роторного гичкоріза за умови  $K_{Пр}^{(e)} \leq 10\%$  також характерна графічним залежностям, які наведено на рис. 4.26.

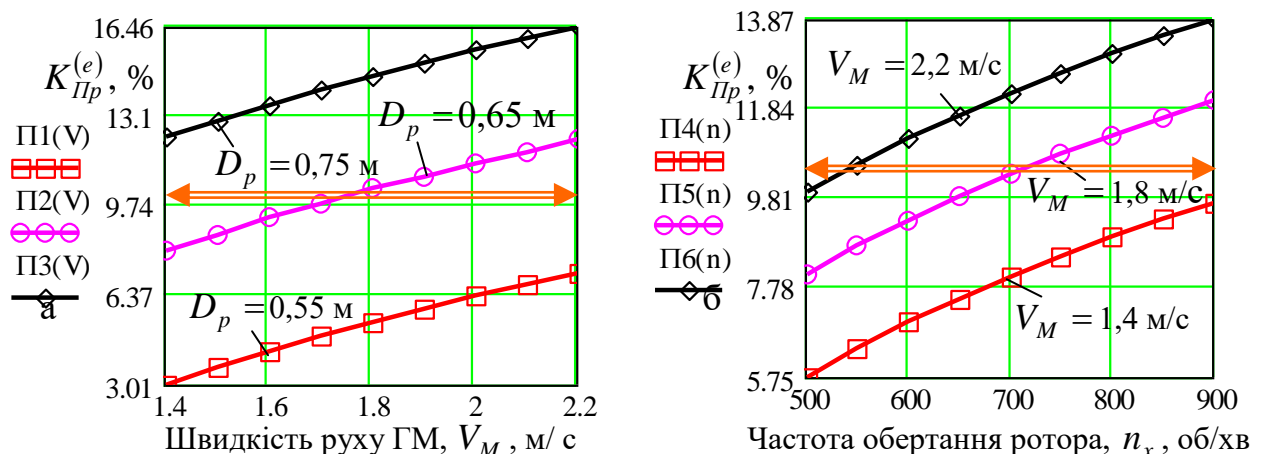
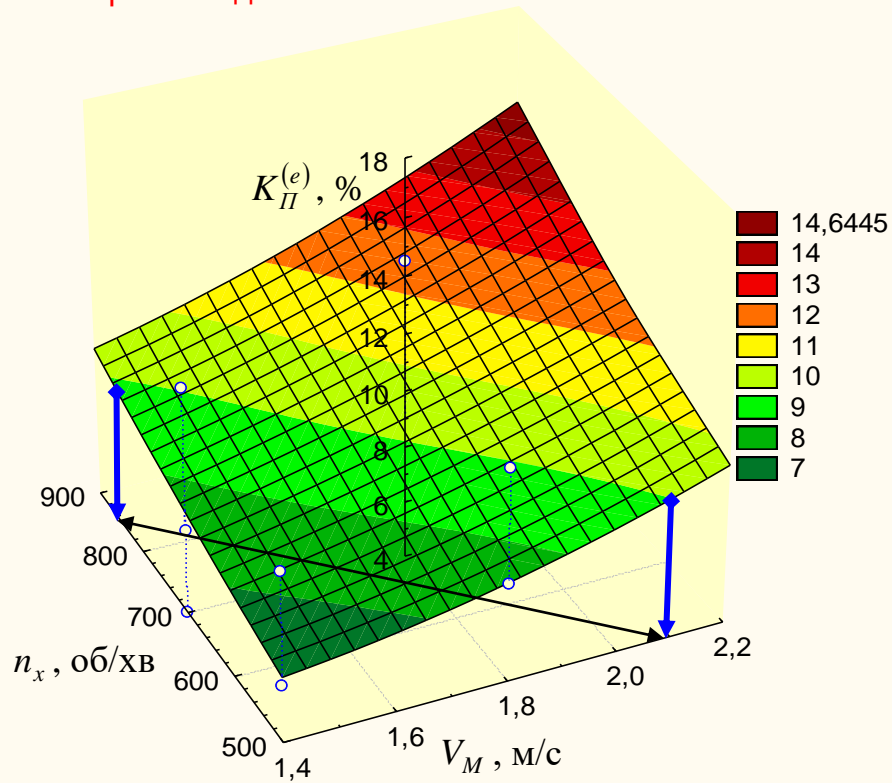


Рисунок 4.26 – Залежність зміни  $K_{Пр}^{(e)}$ : а – як функціонал  $K_{Пр}^{(e)} = f(V_M)$  при  $n_x = 700$  об/хв; б – як функціонал  $K_{Пр}^{(e)} = f(n_x)$  при  $D_p = 0,65$  м

Окрім того, за частоти обертання  $n_x \leq 750$  об/хв і діаметра  $D_p \leq 0,7$  м ротора гичкоріза умова  $K_{Пр}^{(e)} \leq 10\%$  задовольняється за поступальної швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M \leq 2,0$  м/с. При діаметрі ротора  $D_p = 0,55$  м кількість пошкоджених коренеплодів ротором гичкоріза не перевищує допустиме значення 10% для встановленого діапазону зміни інших факторів –  $V_M$  і  $n_x$ .

## Пошкодження коренеплодів ГМ загалом

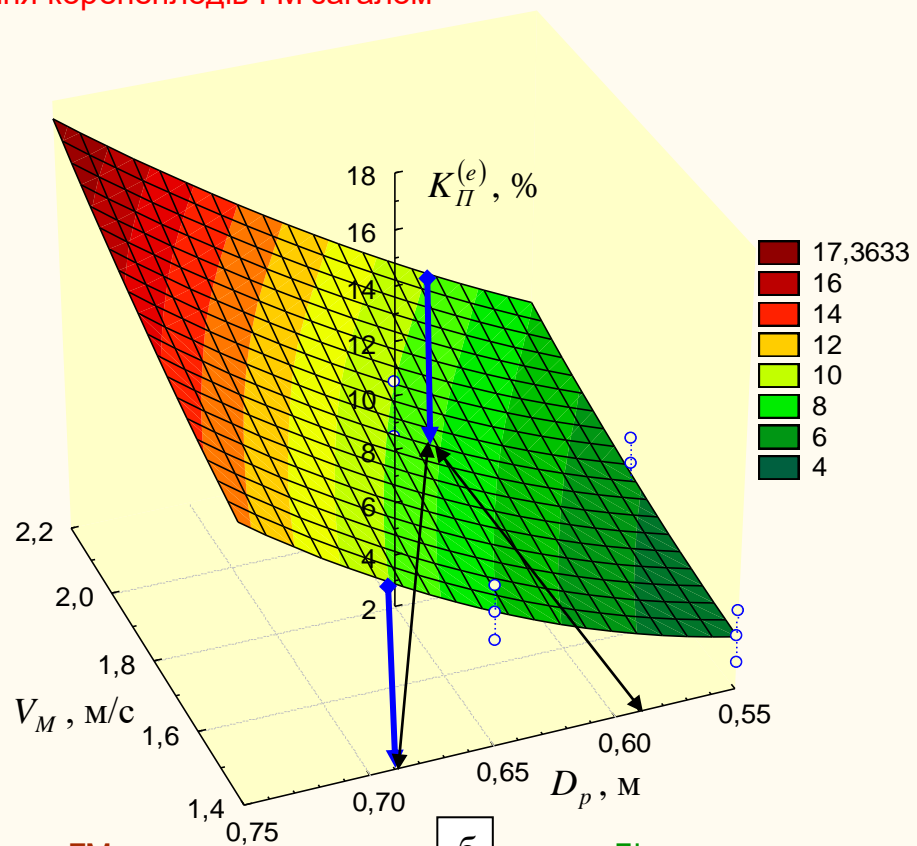


Частота обертання ротора гичкоріза

а

Швидкість руху ГМ

## Пошкодження коренеплодів ГМ загалом



Швидкість руху ГМ

б

Діаметр ротора гичкоріза

Рисунок 4.27 – Поверхня відгуку залежності: а –  $K_{II}^{(e)} = f(V_M; n_x)$ ;б –  $K_{II}^{(e)} = f(V_M; D_p)$

Аналіз поверхонь відгуку, які характеризують функціональну зміну загальної кількості пошкодження коренеплодів  $K_{II}^{(e)}$  робочими органами гичкозбирального модуля загалом (ножами ротора гичкоріза та робочими органами обрізника залишків гички – копіром і ножем) показує, що в даному випадку основним корегуючим фактором, який впливає на показник  $K_{II}^{(e)}$  є вплив швидкості руху  $V_M$  гичкозбирального модуля, або адекватної швидкості руху обрізника (рис. 4.27, рис. 2.Г.17.3б додатка Г.17.3). При цьому можна констатувати, що зі збільшенням швидкості руху  $V_M$  гичкозбирального модуля (обрізника) до 1,6 м/с збільшення  $K_{II}^{(e)}$  відносно  $K_{Pr}^{(e)}$  не спостерігається, а подальше збільшення  $V_M$  до 2,2 м/с призводить до незначного збільшення кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{II}^{(e)}$  модулем загалом, або робочими органами обрізника залишків гички у середньому на 0,2...1,0 %, рис. 4.17.

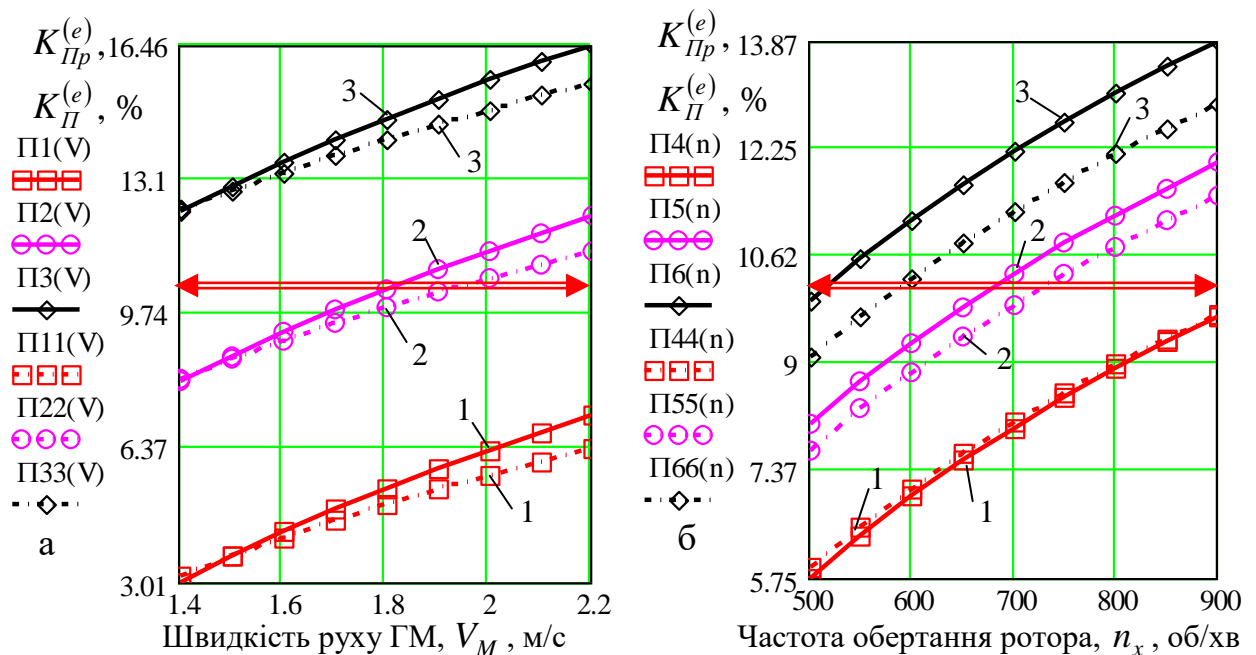


Рисунок 4.28 – Залежність зміни  $K_{Pr}^{(e)}$ ,  $K_{II}^{(e)}$ : а – П1, П2, П3 як функціонал

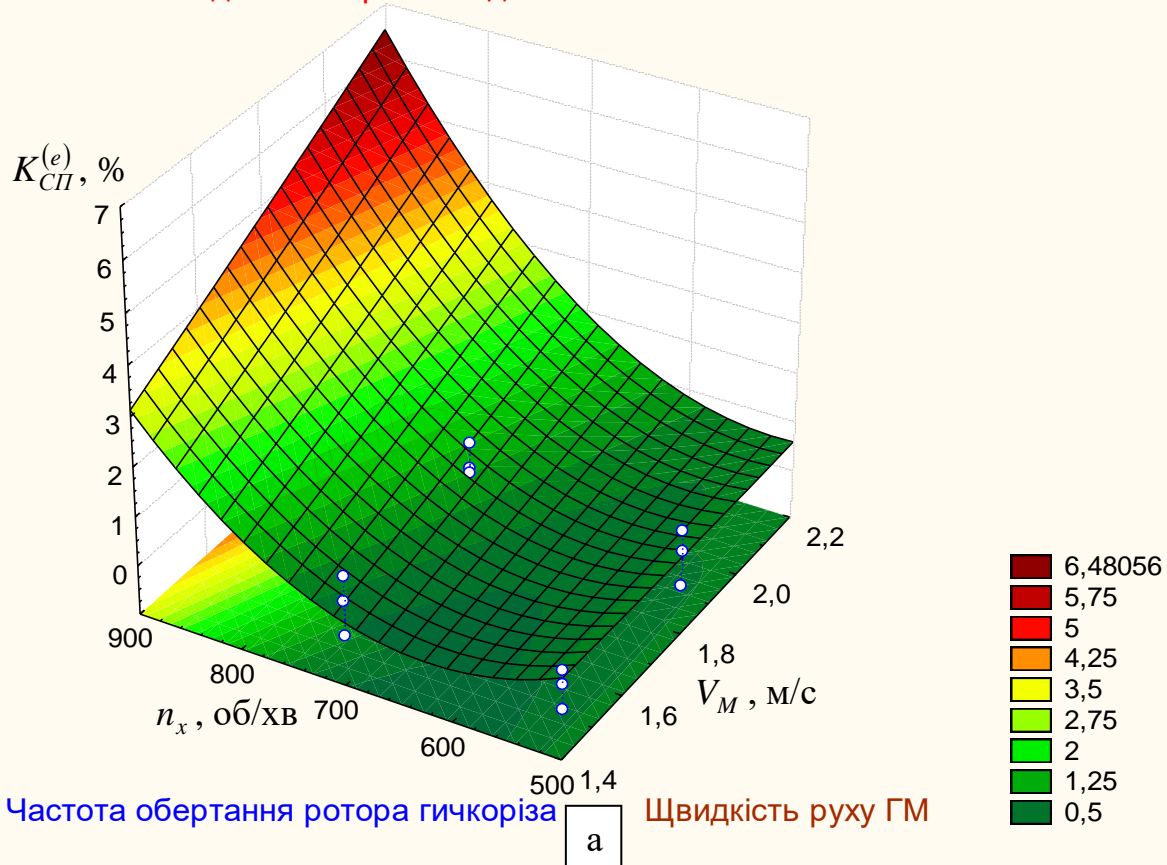
$K_{II}^{(e)} = f(V_M)$ , П11, П22, П33 як функціонал  $K_{Pr}^{(e)} = f(V_M)$  при  $n_x = 700$  об/хв;

1, 2, 3 – відповідно,  $D_p = 0,55; 0,65; 0,75$  (м); б – П4, П5, П6 як функціонал

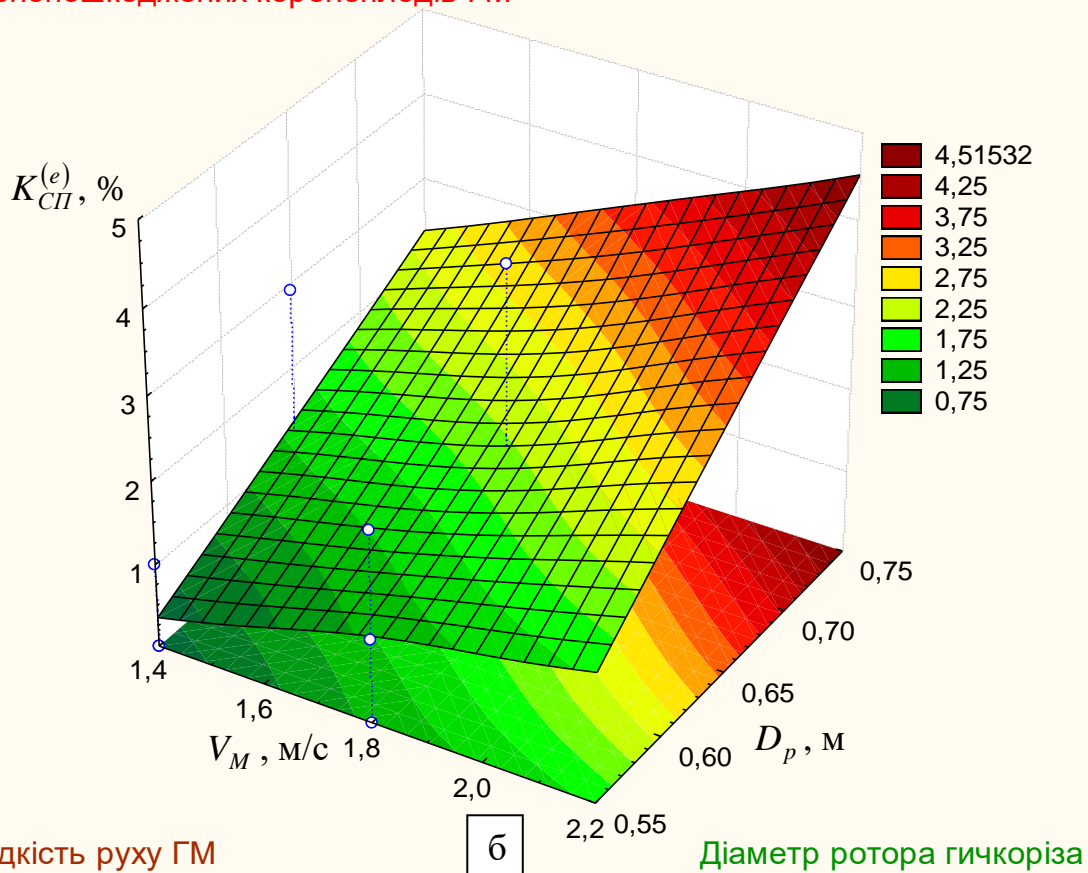
$K_{II}^{(e)} = f(n_x)$ , П44, П55, П66 як функціонал  $K_{Pr}^{(e)} = f(n_x)$  при  $D_p = 0,65$  м;

1, 2, 3 – відповідно,  $V_M = 1,4; 1,8; 2,2$  (м/с)

## Сильноповшкоджених коренеплодів ГМ



## Сильноповшкоджених коренеплодів ГМ

Рисунок 4.29 – Поверхня відгуку залежності: а –  $K_{СП}^{(e)} = f(V_M; n_x)$ ;

$$\text{б} - K_{СП}^{(e)} = f(V_M; D_p)$$

На основі проведеного аналізу з умови забезпечення агротехнічних вимог відносно другого показника параметра оптимізації  $K_{II}^{(e)} \leq 10 \%$  (рис. 4.27, рис. 4.28) на першому етапі можна стверджувати, що наведена умова забезпечується за наступних значень конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля: швидкість руху гичкозбирального модуля  $V_M \leq 2,0$  м/с; частота обертання ротора гичкоріза  $n_x \leq 700$  об/хв; діаметр ротора гичкоріза  $D_p \leq 0,7$  м.

Аналіз побудованих поверхонь відгуку, які характеризують залежність зміни сильнопошкоджених коренеплодів  $K_{СП}^{(e)}$  робочими органами гичкозбирального модуля (рис. 4.29, рис. 3.Г.17.3 додатка Г.17.3) та їх двомірних перерізів (рис. 4.30) показує, що параметр оптимізації  $K_{СП}^{(e)}$  змінюється у межах 0,25...7,0 (%) за допустимого значення згідно з агротехнічними вимогами до 5 %.

При значенні змінних вхідних факторів  $V_M \geq 1,7$  м/с (швидкості руху гичкозбирального модуля),  $n_x \geq 800$  об/хв (частоти обертання ротора гичкоріза) і  $D_p \geq 0,7$  м (діаметра ротора гичкоріза) кількість сильнопошкоджених коренеплодів  $K_{СП}^{(e)}$  робочими органами гичкозбирального модуля перевищує встановлений допустимий нормативний показник сильнопошкоджених коренеплодів  $K_{СП}^{(e)} \leq 5 \%$  згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машин від загальної кількості коренеплодів облікової ділянки, що характерно поверхням відгуку, які наведено на рис. 4.29 і рис. 3.Г.17.3 додатка Г.17.3 та графічним залежностям двомірних перерізів поверхонь відгуку, які наведено на рис. 4.30, при цьому кількість сильно пошкоджених коренеплодів робочими органами гичкозбирального модуля знаходиться у межах 5,3...7,1 (%).

Таким чином на основі проведеного аналізу рівнянь регресії (4.12) та узагальнених допустимих критеріїв, які визначають основні показники якості роботи гичкозбирального модуля ( $K_B^{(e)} \leq 1,5 \%$ ,  $K_{II}^{(e)} \leq 10 \%$ ,  $K_{СП}^{(e)} \leq 5 \%$ ) можна констатувати, що раціональні параметри робочих органів модуля за яких значення показників якості роботи не виходять за межі агротехнічних вимог будуть: частота обертання ротора гичкоріза – 600...700 (об/хв); діаметр ротора гичкоріза – 0,6...0,7 (м) для робочої швидкості руху модуля до 1,8 м/с.

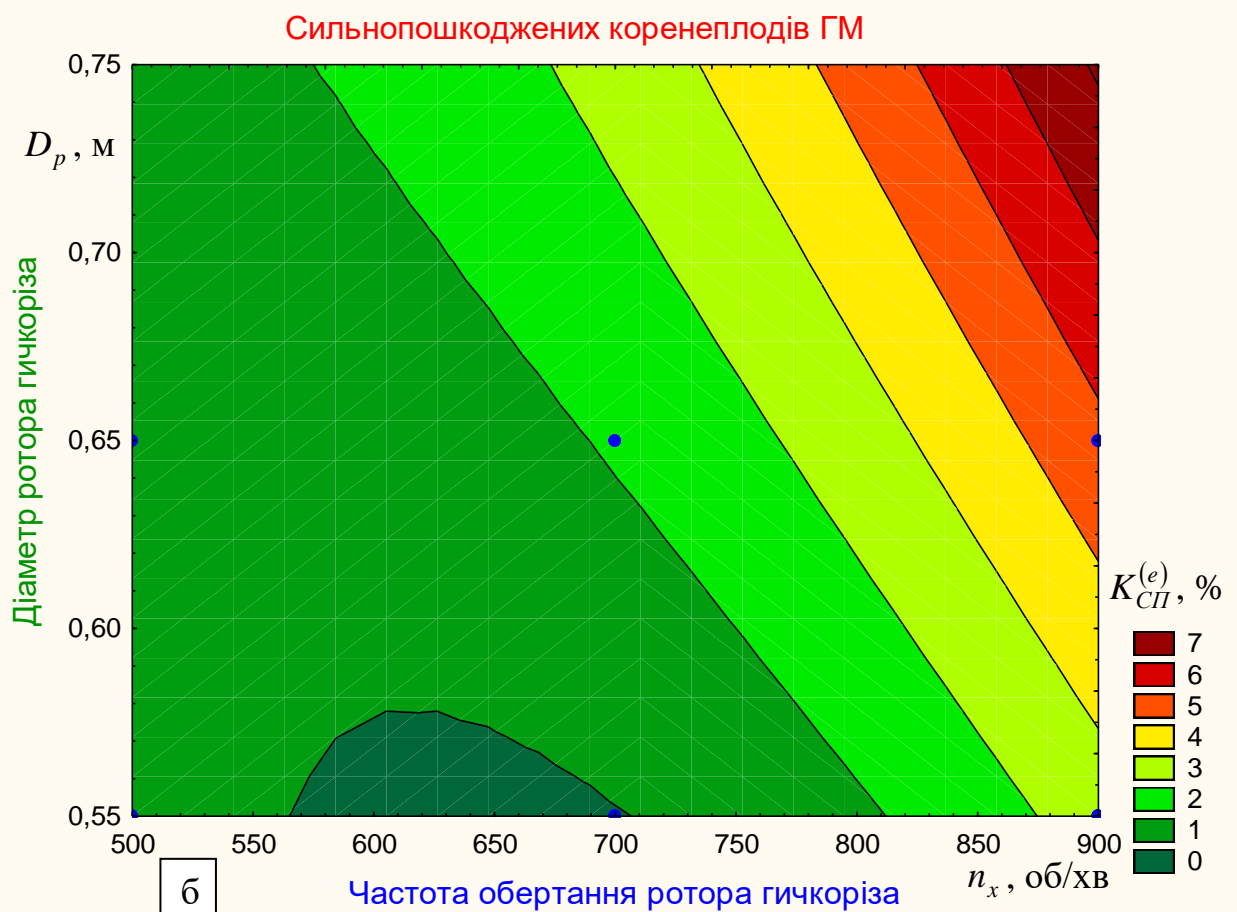
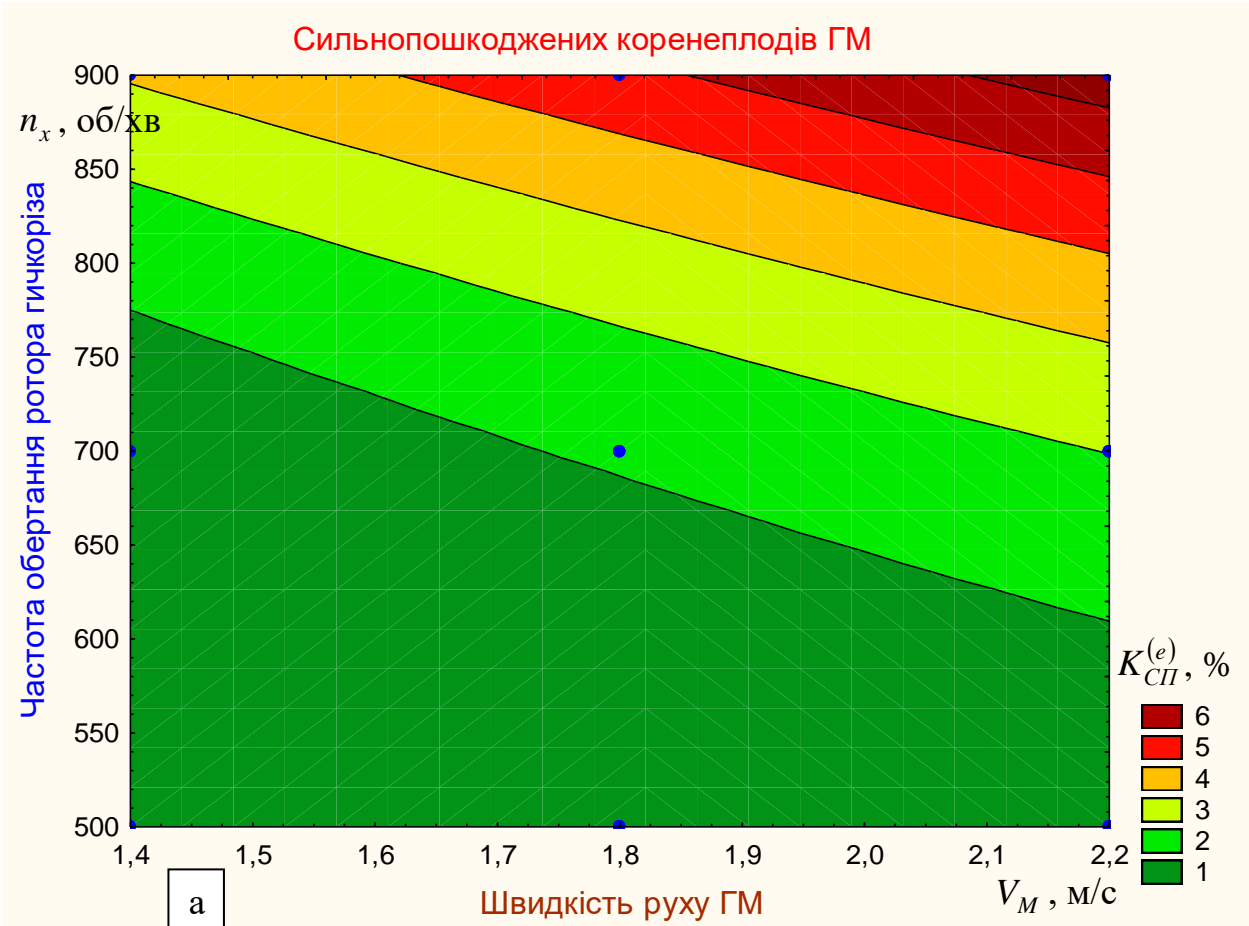


Рисунок 4.30 – Двомірний переріз: а –  $K_{CH}^{(e)} = f(V_M; n_x)$ ; б –  $K_{CH}^{(e)} = f(V_M; D_p)$



#### **4.4. Результати порівняльних досліджень способів збирання основного масиву гички коренеплодів**

Порівняльні польові експериментальні дослідження модернізованого гичкозбирального модуля провели з метою встановлення технологічної ефективності процесу викопування коренеплодів цикорію за двох способів збирання основного масиву гички гичкозбиральним модулем: суцільного укладання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички в міжряддя невикопаних коренеплодів; укладання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані у одному міжрядді невикопаних коренеплодів.

Технологічну ефективність процесу викопування коренеплодів цикорію за двома способами збирання основного масиву гички встановлювали згідно отриманих показників якості роботи коренезбиральної машини .

Сформульовані агротехнічні вимоги до процесу збирання коренеплодів цикорію, які наведено у п. 3.2 розділу 3 дисертаційної роботи.

Польові порівняльні дослідження процесу викопування коренеплодів цикорію за двох способів збирання основного масиву гички гичкозбиральним модулем проводили в однакових умовах і згідно з методикою, яку наведено у підрозділі 3.2 розділу 3 дисертаційної роботи.

Спершу зрізували основний масив гички першим, або другим способом. У подальшому збирали коренеплоди цикорію коренезбиральною машиною.

Загальна технічна характеристика конструктивно-кінематичних параметрів гичкозбирального модуля наведена у додатку В 2.1, а коренезбиральної машини – у додатку В.3.1.

Умови порівняльних досліджень процесу збирання гички та викопування коренеплодів і характеристика плантації насадження коренеплодів цикорію наведено у додатку В.7.2.

Визначали агротехнічні показники якості роботи коренезбиральної машини і на основі порівняльної характеристики показників якості роботи за

двох способів збирання основного масиву гички гичкозбиральним модулем визначали загальну технологічну ефективність процесу збирання коренеплодів.

Агротехнічні вимоги до показників якості роботи коренезбиральної машини сформульовано в п. 3.2 розділу 3 дисертаційної роботи.

На основі проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень вибрані основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри розробленого гичкозбирального модуля, які були застосовані при проведенні порівняльних експериментальних дослідженнях: робоча швидкість руху гичкозбирального модуля – 1,6 м/с; частота обертання ротора гичкоріза – 610 об/хв; діаметр роторного гичкоріза – 0,45 м; діаметр ділильних дисків – 0,5 м; відстань між двома суміжними ділильними дисками –  $b_n = 0,3$  м.

Час проведення однієї проби становив 5 с, при цьому довжина  $L_{\text{д}}$  залікової ділянки посівів коренеплодів цикорію становила  $L_{1,6} = 8$  м.

Результати показників якості виконання технологічного процесу викопування коренеплодів цикорію за двох способів збирання основного масиву гички під час проведення порівняльних польових досліджень наведено в табл. 4.5.

На основі порівняльного аналізу показників якості збирання коренеплодів цикорію (табл. 4.4) можна констатувати, що за другого способу збирання гички коренеплодів цикорію, або за наявності ділильних дисків, які встановлено на барабані роторного гичкоріза порівняно з першим способом збирання гички (відсутності ділильних дисків), отримано такі показники технологічної ефективності:

- загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,8 %;

- у тому числі: загальна кількість ґрунтових домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,5 %; загальна кількість рослинних домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,3 %; кількість вільного ґрунту в зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,2 %; кількість вільних рослинних домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,5 %.

Таблиця 4.5 – Результати порівняльних досліджень показників якості роботи коренезбиральної машини за базового та удосконаленого способу збирання основного масиву гички

Найменування показників	Значення показників		
	Базовий спосіб збирання гички	Удосконалений спосіб збирання гички	АТВ
Робоча швидкість руху машини, м/с	1,4	1,4	до 1,5
Глибина ходу диска, см	9,0	9,0	-
Глибина ходу лапи розрихлювача, см	16,0	16,0	-
Якість підкопування та підбирання коренеплодів, %:			
- зібрано коренеплодів машиною	97,8	<b>97,8</b>	
- втрати коренеплодів, всього	2,2	<b>2,2</b>	до 2,5
Склад вороху зібраних коренеплодів, %:			
- коренеплоди	91,6	<b>92,4</b>	
- домішки, всього	8,4	<b>7,6</b>	до 8,5
у тому числі:			
- ґрунтових домішок, всього	3,0	<b>2,5</b>	3,0
- рослинних домішок, всього	5,4	<b>5,1</b>	5,5
у тому числі:			
- вільного ґрунту	2,1	<b>1,9</b>	2,5
у тому числі:			
- вільних рослинних решток	3,9	<b>3,4</b>	4,0
- залишків гички на головках коренеплодів	1,3	<b>1,3</b>	1,5
Втрати гички у захисній зоні невикопаного рядка коренеплодів, %	4,5	<b>2,1</b>	3,5
Пошкодження коренеплодів, %:	11,2	<b>11,1</b>	до 15,0

\* - показники якості виконання технологічного процесу визначено відносно маси коренеплодів однієї проби; АТВ – агротехнічні вимоги

Крім того, окремо визначали кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів цикорію. Цей показник

регламентує оптимальні умови протікання та показники якості процесу викопування коренеплодів викопувальним робочими органами.

Було встановлено, що кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для першого способу збирання гички дорівнювала 4,5 %, а для другого способу збирання гички – 2,1 %, тобто кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для другого способу збирання гички зменшується в 2,2 рази порівняно з першим способом збирання гички.

Зменшення кількості домішок у викопаному воросі коренеплодів цикорію, як у загальному аспекті, так і за окремими показниками та кількості зрізаної та укладеної гички в захисну зону рядка невикопаних коренеплодів за другого способу збирання основного масиву гички досягнуто за рахунок встановлення ділильних дисків на барабані роторного гичкоріза.

Із порівняльного аналізу показників якості виконання технологічного процесу збирання коренеплодів цикорію (табл. 4.5) можна цілком стверджувати, що застосування розробленої конструкції удосконаленого гичкозбирального модуля, або застосування другого способу збирання гички дозволяє підвищити агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу збирання коренеплодів відносно показників першого способу.

Порівняльні польові експериментальні дослідження модернізованого гичкозбирального модуля проводили з метою встановлення технологічної ефективності процесу роботи удосконалених робочих органів у цілому порівняно з показниками базової гичкозбиральної машини МБП-6, додаток В.5.1.

Польові порівняльні дослідження серійної (базової, додаток В.5.1) та модернізованої гичкозбиральної машини МБП-6 проводили в однакових умовах і згідно з методикою, яку наведено у підрозділі 3.3 розділу 3.

Загальна технічна характеристика конструктивно-кінематичних параметрів удосконаленого гичкозбирального модуля та серійної гичкозбиральної машини наведена у таблиці 1.В.6.1 додатку В 6.1.

Умови порівняльних досліджень машин, що порівнювалися та характеристика плантації насаджень коренеплодів цукрових буряків наведено у табл. 2.В.10.3 додатку В.10.3.

Визначали агротехнічні показники якості роботи гичкозбирального модуля і на основі порівняльної характеристики показників якості роботи модернізованого гичкозбирального модуля та серійної гичкозбиральної машини визначали загальну технологічну ефективність процесу збирання гички – зрізування основного масиву гички та видалення залишків гички з головок коренеплодів.

Модернізація конструктивної схеми серійної гичкозбиральної машини МБП-6 полягає в тому, що обрізник залишків гички з головок коренеплодів, виконаний у вигляді паралелограмної підвіски, на якій змонтовано пасивний гребінчастий копір і ніж, несучий лезо ріжучої кромки, причому ніж виконаний у вигляді двоплечевого важеля, який встановлений шарнірно на своєму вертикальному пальці, а робочий хід леза ріжучої кромки ножа в горизонтальній площині обмежений упором і регулювальною пружиною.

Модернізація технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів полягає в тому, що гребінчастий копір обрізника головок коренеплодів найжджає на головку коренеплодів, копіює головки коренеплодів і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски передає це переміщення гребінчастого копіра ножу. Ніж, рухаючись поступально напрямку руху гичкозбирального модуля по головці коренеплодів, лезом ріжучої кромки обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу. У процесі зрізування головки коренеплодів ніж відхиляється на вертикальному пальці до упора, виконуючи різання методом ковзання на відміну від методу «коління», який виконується ножом серійної гичкозбиральної машини МБП-6. Після зрізування головки коренеплодів ніж завдяки регулювальній пружині повертається в попереднє положення.

Таким чином, заміна процесу коління головок коренеплодів процесом різання з проковзування леза ріжучої кромки ножа відносно головок коренеплодів покращує якість обрізування головок за рахунок значного зменшення кількості їх сколів.

На основі проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень вибрані основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри розробленого гичкозбирального модуля, які були застосовані при її виготовленні та компонуванні:

- робоча швидкість руху гичкозбирального модуля – 1,8 м/с;
- частота обертання ротора гичкоріза – 600 об/хв;
- діаметр ротора гичкоріза – 0,6 м;
- максимальний кут відхилення ножа обрізника у горизонтальній площині – 35 град.

Інші показники технічної характеристики конструктивно-кінематичних параметрів модернізованої машини відповідали технічним показникам серійної гичкозбиральної машини МБП-6.

Результати показників якості виконання технологічного процесу збирання гички під час проведення порівняльних польових досліджень наведено в табл. 4.6.

На основі аналізу порівняльних показників якості роботи гичкозбирального модуля та серійної машини (табл. 4.6) можна констатувати, що у загальному випадку показники якості роботи удосконаленого гичкозбирального модуля перевищують аналогічні показники серійної гичкозбиральної машини МБП-6, окрім показника низького зрізування головок коренеплодів, де значення у 0,3 % (відносно загальної кількості коренеплодів облікової ділянки) рівноцінні для обох машин.

Перш за все кількість коренеплодів із косим зрізом головок коренеплодів удосконаленим гичкозбиральним модулем порівняно з серійною машиною зменшується приблизно у 1,9 рази, відповідно, з 7,6 % до 4,1 %, що у свою чергу адекватно відображається на показнику обрізаної маси головок коренеплодів із гичкою, або з її залишками – 2,7 % в удосконаленого гичкозбирального модуля проти 3,8 % у серійної машини, тобто за цим критерієм даний показник зменшується приблизно в 1,4 рази, що значно зменшує втрати цукроносної маси у гичку.

Таблиця 4.6 – Показники роботи удосконаленого гичкозбирального модуля та серійної гичкозбиральної машини МБП-6

№ п/п	Найменування показників	Значення показників		
		Удосконалена	Серійна МБП-6	АТВ
1	Робоча швидкість, м/с	1,8	1,8	до 1,67
Якість зрізування гички з головок коренеплодів, %:				
2	- нормальний зріз	92,3	87,5	-
3	- низький зріз	0,3	0,3	-
4	- високий зріз	3,3	5,6	-
5	- косий зріз	4,1	7,6	не більше 10,0
6	- * незрізаної гички від маси коренеплодів	1,9	2,4	3,0
7	- * обрізана маса головок коренеплодів із гичкою, або з її залишками	2,7	3,8	5,0
8	- коренеплодів вибитих з ґрунту	0,9	1,4	1,5
9	- * пошкодження коренеплодів, із них	6,7	8,7	10,0
	- * сильнопошкоджених	2,8	3,1	не більше 5,0
10	- * втрати цілих коренеплодів і їх частин у гичці	0	0	-

\* - показники якості виконання технологічного процесу визначені відносно маси коренеплодів; АТВ – агротехнічні вимоги до гичкозбиральних машин

Поряд з цим показник нормального зрізу головок коренеплодів у удосконаленого гичкозбирального модуля вищий відносно серійної на 4,8 %, а залишків гички менше приблизно у 1,3 рази, відповідно, 1,9 % в удосконаленій та 2,4 % у серійної гичкозбиральної машини, що покращує характеристики цукрової сировини, або збільшує вихід цурку.

За рахунок удосконалення конструкції обрізника залишків гички з головок коренеплодів (підпружинення ножа, або можливості його повороту на деякий кут під час процесу різання головок і, відповідно, виконувати процес

різання з проковзуванням леза ножа відносно площини зрізу на відміну від процесу «колення» ножем серійної гичкозбиральної машини) значно зменшується кількість вибитих коренеплодів з ґрунту – з 1,4 до 0,9 (%), тобто приблизно у 1,6 рази, що є передумовою, або наслідком подальшого зменшення втрат коренеплодів під час їх викопування коренезбиральною машиною.

Окрім того даний конструктивний критерій технічної новизни обрізника залишків гички з головок коренеплодів регламентує і зменшення пошкоджень коренеплодів робочими органами удосконаленого гичкозбирального модуля. Так пошкодження коренеплодів удосконаленим гичкозбиральним модулем становлять 6,7 %, а серійною гичкозбиральною машиною МБП-6 – 8,7 %, або зменшуються приблизно у 1,3 рази, при цьому сильнопошкоджених коренеплодів менше приблизно у 1,2 рази.

Із порівняльного аналізу показників якості виконання технологічного процесу збирання гички (табл. 4.6) можна цілком стверджувати, що застосування розробленого удосконаленого гичкозбирального модуля дозволяє значно підвищити агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу збирання гички відносно показників серійної машини МБП-6.

#### 4.5. Висновки до розділу

За результатами проведених польових експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

4.4.1. За мінливого збільшення або зменшення урожайності гички у межах  $\pm 0,2$  кг/м<sup>2</sup> та густоти насадження коренеплодів у межах  $\pm 2$  шт./м<sup>2</sup> секундна подача гички  $P_p^+$  та  $P_p^-$  у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні, відповідно, від 18 кг/с до 40 кг/с та від 6 кг/с до 26 кг/с за швидкості руху модуля  $\mathcal{G}_M$  від 1,2 м/с до 1,6 м/с – за збільшення швидкості руху  $\mathcal{G}_M$ , урожайності гички  $U_p$  та густоти насадження  $\Gamma_k$  коренеплодів приблизно в 1,3 рази  $P_p^+$  збільшується в 1,7 рази, а  $P_p^-$  – в 2,6 рази.



4.4.2. Домінуючими факторами, вплив яких призводить до значної зміни питомої маси гички  $M_{np}^{\pm}$ , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками є урожайність гички  $U_p \pm \Delta U_p$  та густина насадження коренеплодів цикорію  $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$ . При цьому питома маса гички  $M_{np}^{\pm}$  за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля  $\mathcal{G}_M$  від 1,2 м/с до 1,6 м/с знаходиться у діапазоні:  $M_{np}^+ = 18...27$  кг/м<sup>2</sup>;  $M_{np}^- = 10...18$  кг/м<sup>2</sup>.

4.4.3. На основі аналіз побудованих гістограми та полігону щільності розподілу випадковості процесу встановлено, що диференційний закон щільності розподілу розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  близький до нормального та описується залежностями (4.7) і (4.8).

4.4.4. Зміна розмірних значень частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  описується рівняннями регресії (4.10) і (4.11), а функціональний характер зміни  $X_k^{(e)}$  і  $Y_k^{(e)}$  має прямо пропорційний характер – зі збільшенням діапазону швидкості руху  $V_M$ , діаметра  $D_p$  ротора гичкоріза розмірні значення  $X_k^{(e)}$  збільшуються у середньому на 1,5...4,5 (см), або на 10...25 %, а розмірні значення  $Y_k^{(e)}$  – на 20...40 %, або у середньому на 3,0...4,5 (см), відповідно, від 7 до 13 (см) і від 9,5 до 15,5 (см).

4.4.5. Встановлено, що у діапазоні зміни частоти обертання  $n_x$  (її збільшення) розмірні значення  $X_k^{(e)}$  зменшуються у середньому на 2,5...3,5 (см), або на 15...20 %, відповідно, від 13 до 10,5 (см).

4.4.6. На основі аналізу побудованих поверхонь відгуку встановлено, що при значенні змінних вхідних факторів  $V_M \geq 1,8$  м/с,  $n_x \geq 800$  об/хв і  $D_p \geq 0,7$  м кількість вибитих коренеплодів із ґрунту  $K_{Bp}^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза, або гичкозрізувальними ножами, перевищує встановлений нормативний показник вибитих з ґрунту коренеплодів  $K_{Bp}^{(e)}$  до 1,5 % згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машин від загальної кількості коренеплодів облікової ділянки.

4.4.7. Найбільший вплив на параметр  $K_{Bp}^{(e)}$ , або домінуючим фактором, який суттєво корегує кількість вибитих з ґрунту коренеплодів робочими органами (ножами) роторного гичкоріза є частота обертання ротора  $n_x$  – при збільшенні  $V_M$  або  $D_p$  у відповідному діапазоні  $1,4 \leq V_M \leq 2,2$  (м/с),  $0,55 \leq D_p \leq 0,75$  (м) та значенні  $n_x = 500$  об/хв числове значення  $K_{Bp}^{(e)}$  збільшується від 0,7 % до 0,9 %, або в 1,3 рази, тоді, як за значення  $n_x = 900$  об/хв, числове значення  $K_{Bp}^{(e)}$  збільшується від 1,0 % до 1,7...1,8 %, або в 1,7...1,8 рази.

4.4.8. Основним корегуючим фактором, який впливає на кількість вибитих коренеплодів робочими органами гичкозбирального модуля  $K_B^{(e)}$  загалом є вплив швидкості руху  $V_M$  модуля, або адекватної швидкості руху обрізника. При цьому можна констатувати, що зі збільшенням швидкості руху  $V_M$  гичкозбирального модуля (обрізника) до 1,6 м/с збільшення  $K_B^{(e)}$  відносно  $K_{Bp}^{(e)}$  практично не спостерігається (у середньому на 0,02..0,03 (%)), а подальше збільшення  $V_M$  до 2,2 м/с призводить до незначного збільшення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту  $K_B^{(e)}$  гичкозбиральним модулем загалом, або робочими органами обрізника залишків гички у середньому на 0,03...0,3 %, рис. 4.24.

4.4.9. Встановлено, що загальна кількість пошкодження коренеплодів  $K_{Pr}^{(e)}$  ножами ротора гичкоріза змінюється у межах 5...17 (%), при цьому за значення  $V_M \geq 1,6$  м/с,  $n_x \geq 800$  об/хв і  $D_p \geq 0,7$  м кількість пошкоджених коренеплодів  $K_{Pr}^{(e)}$  робочими органами роторного гичкоріза, або гичкозрізувальними ножами гичкозбирального модуля, перевищує встановлений допустимий нормативний показник пошкодження коренеплодів  $K_{Pr}^{(e)} \leq 10$  % згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машини від загальної кількості коренеплодів облікової ділянки.

4.4.10. Основним корегуючим фактором, який впливає на кількість пошкоджених коренеплодів гичкозбиральним модулем  $K_{II}^{(e)}$  загалом є вплив швидкості руху  $V_M$  модуля, або адекватної швидкості руху обрізника. При цьому можна констатувати, що зі збільшенням швидкості руху  $V_M$  модуля (обрізника) до 1,6 м/с збільшення  $K_B^{(e)}$  відносно  $K_{Bp}^{(e)}$  не спостерігається, а подальше збільшення  $V_M$  до 2,2 м/с призводить до незначного збільшення кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{II}^{(e)}$  гичкозбиральним модулем загалом, або робочими органами обрізника залишків гички у середньому на 0,2...1,0 %, рис. 4.28.

4.4.11. Встановлено, що при значенні змінних вхідних факторів  $V_M \geq 1,7$  м/с,  $n_x \geq 800$  об/хв і  $D_p \geq 0,7$  м кількість сильнопошкоджених коренеплодів  $K_{СП}^{(e)}$  робочими органами гичкозбирального модуля перевищує встановлений допустимий нормативний показник сильнопошкоджених коренеплодів  $K_{СП}^{(e)} \leq 5$  % згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машин від загальної кількості коренеплодів облікової ділянки.

4.4.12. На основі проведеного аналізу рівнянь регресії (4.12) та узагальнених допустимих критеріїв, які визначають основні показники якості роботи гичкозбирального модуля ( $K_B^{(e)} \leq 1,5$  %,  $K_{II}^{(e)} \leq 10$  %,  $K_{СП}^{(e)} \leq 5$  %) можна констатувати, що раціональні параметри робочих органів гичкозбирального модуля за яких значення показників якості роботи не виходять за межі агротехнічних вимог будуть: частота обертання ротора гичкоріза – 600...700 (об/хв); діаметр ротора гичкоріза – 0,5...0,6 (м) для робочої швидкості руху гичкозбирального модуля до 1,8 м/с.

4.4.13. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів цикорію зменшується на 0,8 %, у тому числі: загальна кількість ґрунтових домішок зменшується на 0,5 %; загальна кількість рослинних домішок зменшується на 0,3 %; кількість вільного ґрунту зменшується на 0,2 %; кількість вільних рослинних домішок зменшується на 0,5 %.

4.4.14. Встановлено, що кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для базового способу збирання гички дорівнює 4,5 %, а для удосконаленого способу збирання гички – 2,1 %, тобто кількість гички зменшується в 2,2 рази.

4.4.15. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що кількість коренеплодів цукрових буряків із косим зрізом головок коренеплодів удосконаленим гичкозбиральним модулем порівняно з серійною машиною зменшується приблизно у 1,9 рази, кількість вибитих коренеплодів з ґрунту – з 1,4 до 0,9 (%), або приблизно у 1,6 рази, а кількість пошкоджень коренеплодів – приблизно у 1,3 рази, при цьому сильнопошкоджених коренеплодів менше приблизно у 1,2 рази.

## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

#### 5.1. Перспективні напрямки вдосконалення робочих органів гичкозбиральних модулів

Проведений на основі отриманих наукових результатів теоретично-експериментальних досліджень аналіз технологічного процесу роботи удосконаленого гичкозбирального модуля вказує на те, що оптимальні технологічні показники якості збирання гички коренеплодів, які задовольняють агротехнічні вимоги залежать від багатьох об'єктивних і суб'єктивних факторів: розмірно-масових параметрів коренеплодів і гички, типу ґрунту, його вологості, режимів роботи гичкозбирального модуля, а також від конструктивних особливостей робочих органів роторного гичкоріза, направляючого каналу та обрізника залишків гички з головок коренеплодів.

Підвищити показники якості роботи робочих органів і гичкозбиральних модулів загалом можна за рахунок подальшого вдосконалення технологічного процесу їх роботи на основі реалізації запропонованих напрямків, якими із них можуть бути:

1. Зменшення кількості зрізаної та укладеної гички в захисну зону невикопаного рядка коренеплодів, вибитих з ґрунту та пошкоджень коренеплодів робочими поверхнями роторного гичкоріза, або збільшення повноти зрізування основного масиву гички та викопування коренеплодів можна досягнути шляхом удосконалення конструкції роторного гичкоріза.

2. Підвищення надійності роботи гичкозбирального модуля можна досягти за рахунок виготовлення робочих органів з конструктивних матеріалів, які мають якісно нові властивості та характеристики.

3. Проведення подальшого детального аналізу впливу конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів на технологічний процес збирання гички коренеплодів дозволить ефективніше інтенсифікувати процес зрізування

основного масиву гички та переміщення зрізаної гички по направляючому каналі, що дозволить покращити загально-технологічні показники роботи гичкозбирального модуля загалом.

4. Процес переміщення зрізаної ножами роторного гичкоріза основного масиву гички по направляючому каналу можна інтенсифікувати шляхом теоретично-експериментального обґрунтування розмірних параметрів і висоти розміщення вхідної горловини направляючого каналу відносно осі обертання ротора.

5. Подальше вдосконалення технологічного процесу виробництва коренеплодів цукрових, кормових буряків і цикорію кореневого є головним напрямком для подальшого вдосконалення процесу їх збирання і, відповідно, першого етапу – збирання гички.

Для зменшення кількості зрізаної та укладеної гички в захисну зону невикопаного рядка коренеплодів нами запропоновано удосконалену конструкцію роторного гичкоріза гичкозбирального модуля, конструктивну схему якого наведено на рис. 5.1, додаток Д.1.1 [148].

На відмінну від конструкції, яка наведена на рис. 1.30, у даному гичкозбиральному модулі запропоновано встановлювати дугоподібні лопаті 13 (рис. 5.1), які розміщені на барабані 6 між суміжними гичкозрізувальними ножами 7, або ділильними дисками 8. Дугоподібні лопаті 13 розміщені під певним кутом до поперечного січення барабана 6. За рахунок створеного обертання вала 3, або гичкозрізувальних ножів 7 повітряного потоку та додаткового повітряного потоку, який створюється дугоподібними лопатями 14 зрізана та подрібнена гичка по направляючому каналу 10 транспортується до його вихідного отвору 12, а далі до фартуха 13, де гичка розкидається в міжряддя коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

Таким чином, обертання дугоподібних лопатей 13 створює додатковий направлений повітряний потік за рахунок якого знижуються втрати зрізаної гички у захисній зоні, або її розкидання у захисну зону рядка невикопаних коренеплодів, що підвищує технологічні можливості коренезбиральної машини.

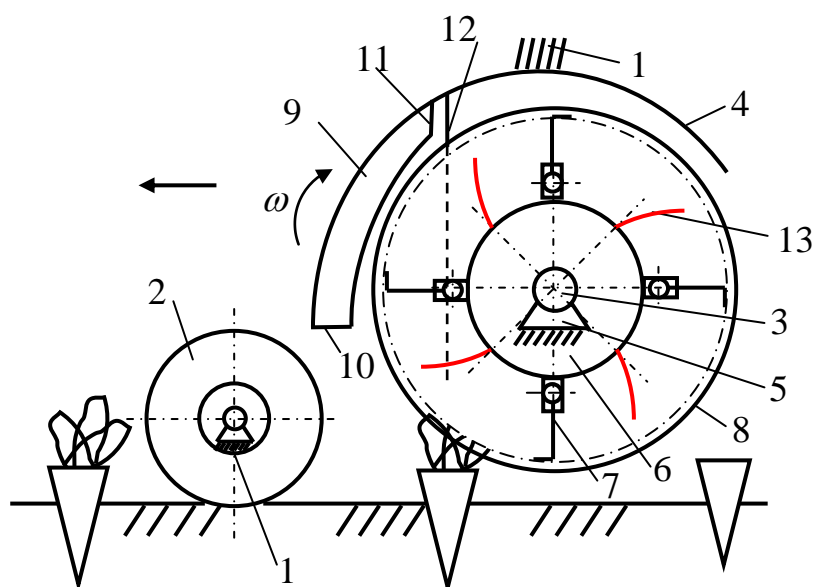


Рисунок 5.1 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля: 1 – рама; 2 – опорне колесо; 3 – вал; 4 – направляючий кожух; 5 – опора вала; 6 – барабан; 7 – ніж; 8 – ділильний диск; 9 – направляючий канал; 10, 11 – вхідна та вихідна горловина; 12 – фартух; 13 – дугоподібні лопаті

Крім того, втрати зрізаної гички у захисній зоні також можна знизити за рахунок дослідження та обґрунтування впливу висоти та довжини розміщення вхідної горловини 10 (рис. 5.1) відносно горизонтальної та вертикальної осі обертання роторного гичкоріза, застосування матеріалу направляючого каналу з меншим коефіцієнтом тертя тощо.

Результати польових випробувань шестирядної коренезбиральної машини KR-6-II фірми Kleine в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого підтвердили зменшення енергетичних затрат процесу збирання основного масиву гички коренеплодів цукрових буряків удосконаленим шестирядним гичкозбиральним модулем приблизно в 1,2...1,3 рази залежно від урожайності гички коренеплодів.

За результатами досліджень було рекомендовано раціональні параметри робочих органів удосконаленого гичкозбирального модуля, значення яких наведено у табл. 5.1.

Рекомендовані дані основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані параметри робочих органів гичкозбирального модуля (рис. 1.30)

Основні параметри робочих органів	Значення параметрів
Робоча швидкість руху, м/с	1,4...1,6
Діаметр роторного гичкоріза, м	0,45...0,55
Частота обертання роторного гичкоріза, об/хв	600...700
Діаметр ділільних дисків, м	0,5...0,6
Ширина захисної зони рядка коренеплодів, м	0,15
Відстань між двома суміжними ділільними дисками, м	0,3
Висота розміщення вхідної горловини, м	0
Ширина фартуха, м	0,2

Таблиця 5.2 – Рекомендовані параметри робочих органів гичкозбирального модуля (рис. 1.31)

Основні параметри робочих органів	Значення параметрів
Робоча швидкість руху ГМ, м/с	1,6...1,8
Діаметр ротора гичкоріза, м	0,5...0,6
Частота обертання ротора гичкоріза, об/хв	600...700
Кут повороту підпружиненого ножа, град.	25...35
Жорсткість пружини, кг/м с <sup>2</sup>	65...75

## 5.2. Обґрунтування зменшення енергетичних витрат процесу роботи гичкозбирального модуля

За основу розрахунків зменшення енергетичних витрат процесу роботи удосконаленого гичкозбирального модуля приймаємо базовий варіант гичкозбирального модуля (рис. 1.29) та конструктивну схему, яку запропоновано нами та наведено на рис. 1.30.

Відмінність конструктивної схеми удосконаленого гичкозбирального модуля (рис. 1.30) полягає у відсутності шнекового конвеєра 9 (рис. 1.29), який має базовий варіант гичкозбирального модуля.



Для розрахунку зниження витрат потужності на виконання процесу роботи удосконаленої конструкції гичкозбирального модуля розглянемо складену кінематичну схему базового варіанту гичкозбирального модуля, яку наведено на рис. 5.2.

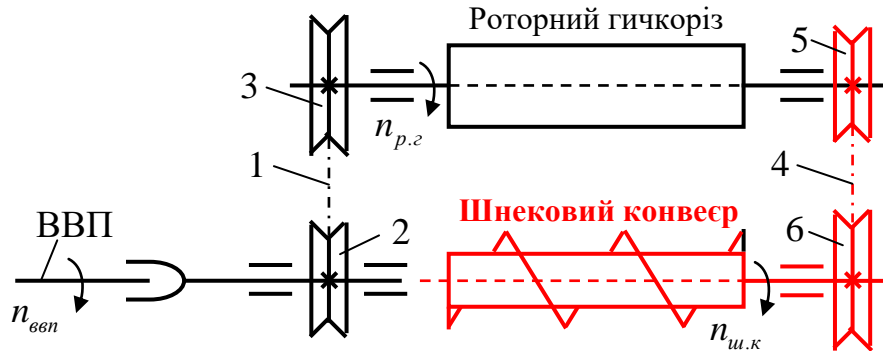


Рисунок 5.2 – Кінематична схема базового гичкозбирального модуля:

1, 4 – відповідно, клинопасова передача приводу роторного гичкоріза та шнекового конвеєра; 2, 5 – відповідно, ведучий шків роторного гичкоріза та шнекового конвеєра; 3, 6 – відповідно, ведений шків роторного гичкоріза та шнекового конвеєра; ВВП – вал відбору потужності трактора МТЗ-82

Тоді загальні витрати потужності  $N_i$  на виконання процесу роботи визначаються за формулою:

- для базового варіанту гичкозбирального модуля  $N_{\delta}$

$$N_{\delta} = N_{p.2} + N_{ш.к}, \quad (5.1)$$

де  $N_{p.2}$  – затрати потужності роторного гичкоріза, кВт;

$N_{ш.к}$  – затрати потужності шнекового конвеєра, кВт;

- для удосконаленого гичкозбирального модуля  $N_y$

$$N_y = N_{p.2}. \quad (5.2)$$

Таким чином, зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички удосконаленим гичкозбиральним модулем буде визначатися енергетичними витратами на виконання процесу переміщення та вивантаження зрізаної та подрібненої гички шнековим конвеєром на зібране поле, рис. 2.5.

Зменшення енергетичних витрат удосконаленого гичкозбирального модуля визначимо за показником питомих затрат споживчої потужності шнековим конвеєром.

У загальному питоми затрати споживчої потужності  $P_{ш.к}$  (кВт с/кг м) шнекового конвеєра визначаються за формулою [149]

$$P_{ш.к} = N_{ш.к} / Q_{ш.к} L_{ш}, \quad (5.3)$$

де  $N_{ш.к}$  – розвинена потужність на приводі шнекового конвеєра, або на веденому шківу 6, кВт;

$Q_{ш.к}$  – продуктивність шнекового конвеєра, кг/с;

$L_{ш}$  – довжина шнека, м.

Потужність на приводі  $N_{ш.к}$  шнекового конвеєра, або на веденому шківу 6 (рис. 5.2) та крутний момент  $M_{ш}$  шнекового конвеєра визначаються за формулою:

$$N_{ш.к} = M_{ш} n_{ш} / 9550; \quad M_{ш} = 9550 N_{4к.н} / n_{6к.н} = 9550 N_{4к.н} / n_{р.г} i_{4к.н}, \quad (5.4)$$

де  $n_{ш}$  – частота обертання вала шнека, об/хв;

$M_{ш}$  – крутний момент вала шнека, Н м;

$N_{4к.н}$  – розвинена потужність веденого шківа 5 (рис. 5.2) клинопасової передачі 4, кВт;

$n_{5к.н}$  – частота обертання веденого шківа 5 клинопасової передачі 4, об/хв;

$n_{р.г}$  – частота обертання роторного гичкоріза, об/хв.

Тоді згідно з (5.3) та (5.4) питоми затрати споживчої потужності  $P_{ш.к}$  шнековим конвеєром визначаються за формулою

$$N_{ш.к} = N_{4к.н} n_{ш} / Q_{ш.к} L_{ш} n_{р.г} i_{4к.н}. \quad (5.5)$$

Частота обертання веденого шківа 5 клинопасової передачі 4, або частота обертання роторного гичкоріза гичкозбирального модуля визначається за формулою

$$n_{4к.н} = n_{р.г} = n_{вн} i_{1к.н}, \quad (5.6)$$

де  $n_{\text{вн}}$  – частота обертання вала відбору потужності (ВВП) трактора МТЗ-82, об/хв;

$i_{1к.н}$  – передаточне відношення клинопасової передачі 1, рис. 5.2.

Розвинена потужність  $N_{4к.н}$  веденого шківів 5 та розвинену потужність ведучого шківів 6 клинопасової передачі 4 визначається за формулою:

$$N_{4к.н} = N_{mp} K_{\partial} i_{1к.н} / 100; \quad N_{6к.н} = N_{mp} K_{\partial} i_{1к.н} i_{4к.н} / 100, \quad (5.5)$$

де  $N_{mp}$  – номінальна потужність двигуна трактора, кВт;

$K_{\partial}$  – коефіцієнт використання номінальної потужності двигуна трактора;

$i_{4к.н}$  – передаточне відношення клинопасової передачі 4, рис. 5.2.

Продуктивність шнекового конвеєра, або ідентична продуктивність шнека визначається за формулою згідно з [111, 150]

$$Q_{ш.к} = W_L g_c \psi_g \rho_z \varphi_z, \quad (5.7)$$

де  $Q_{ш.к}$  – продуктивність шнекового конвеєра, кг/с;

$W_L$  – питомий об'єм матеріалу, який приходить на одиницю довжини шнека, м<sup>3</sup>/м.

$g_c$  – середня теоретична швидкість переміщення зрізаної гички витками шнека вздовж осі обертання шнека, м/с;

$\psi_g$  – коефіцієнт, який враховує відхилення (зниження) середньої швидкості руху потоку зрізаної гички відносно середньої теоретичної швидкості переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека;

$\rho_z$  – об'ємна маса гички, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi_z$  – коефіцієнт заповнення робочого простору шнекового конвеєра.

Виразимо питомий об'єм матеріалу  $W_L$ , який приходить на одиницю довжини шнека через секундну подачу зрізаної ножами роторного гичкоріза та подрібненої гички  $\Pi_p$  до шнекового конвеєра, яка припадає на одиницю довжини шнека  $L_k$ , тобто

$$W_L = M_p / \rho_c L_k = \Pi_p / \rho_c L_k, \quad (5.8)$$

де  $M_p$  – маса зрізаної гички, яка надходить до шнекового конвеєра за час рівний  $t = 1$  с, кг.

Підставивши значення секундної подачі зрізаної гички  $\Pi_p$  до шнекового конвеєра з (2.18) у формулу (5.8), отримаємо залежність для визначення питомої секундної подачі зрізаної гички до шнекового конвеєра, або питомої секундної подачі зрізаної гички, яка приходить на одиницю робочої довжини шнека  $L_k$

$$W_L = \frac{\left(\frac{dL_M}{dt}\right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p)}{\rho_c L_k}. \quad (5.9)$$

Тоді продуктивність шнекового конвеєра або продуктивність шнека з врахуванням (5.7) визначається за формулою

$$Q_{ш.к} = \frac{\left(\frac{dL_M}{dt}\right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p)}{L_{ш}} g_c \psi g \varphi_z. \quad (5.10)$$

Середня теоретична швидкість переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека визначається за формулою

$$g_c = \frac{T_{ш} \omega_{ш}}{2\pi} = \frac{T_{ш} n_{ш}}{60}, \quad (5.11)$$

де  $T_{ш}$  – крок шнека, м;

$\omega_{ш.к}$  – частота обертання шнека, рад/с.

З врахуванням (5.11) продуктивність шнекового конвеєра визначається

$$Q_{ш.к} = \frac{\left(\frac{dL_M}{dt}\right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p)}{60 L_{ш}} T_{ш} n_{ш.к} \psi g \varphi_z. \quad (5.12)$$

Тоді питомі затрати споживчої потужності  $P_{ш.к}$  (кВт с/кг м) шнековим конвеєром згідно з (5.3) – (5.12) визначаються за формулою

$$P_{u.k} = \frac{3N_{mp} K_{\delta}}{5n_{\text{вен}} i_{4к.н} \varrho_M b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) T_u \psi_g \varphi_z}. \quad (5.13)$$

За початкових умов:  $T_u = 0,15$  м;  $\psi_g = 0,85$ ;  $\varphi_z = 0,75$  [111]; номінальної потужності трактора МТЗ-82  $N_{mp} = 51,5$  кВт;  $K_{\delta} = 0,8$ ; частоти обертання вала відбору потужності трактора МТЗ-82  $n_{\text{вен}} = 1000$  об/хв; [151];  $\Gamma_k = 7$  шт./м<sup>2</sup>;  $b_k = 0,45$  м;  $n_k = 6$ ;  $i_{4к.н} = 0,5$  побудовано залежність зміни питомих затрат споживчої потужності  $P_{u.k}$  шнекового конвеєра, рис. 5.3.

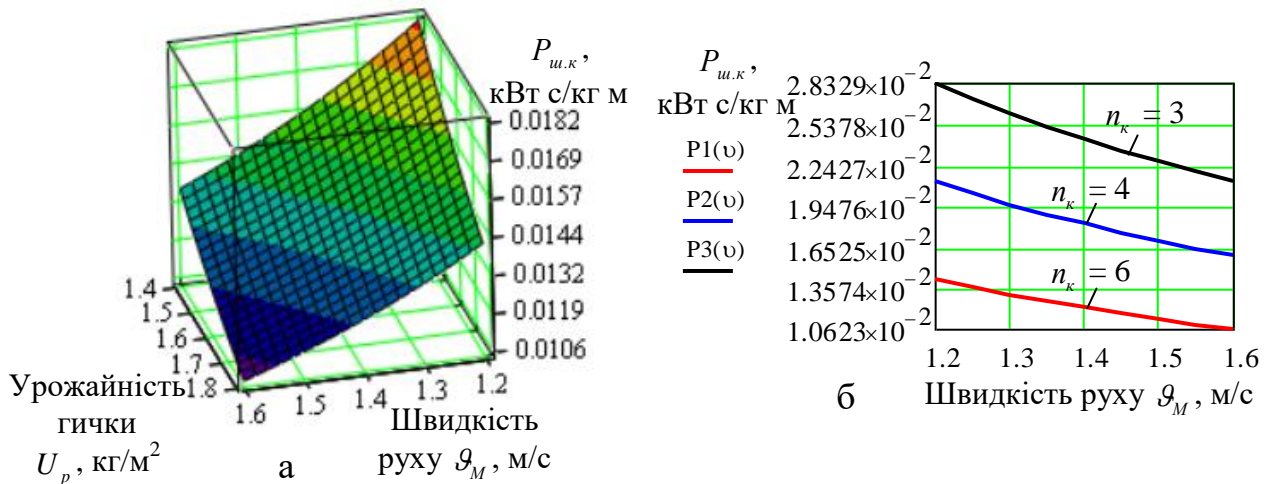


Рисунок 5.3 – Залежність зміни питомих затрат споживчої потужності

шнекового конвеєра: а – як функція  $P_{u.k} = f_P(G_M; U_p)$ ,  $n_k = 6$ ;

б – як функція  $P_{u.k} = f_P(G_M)$ ,  $U_p = 1,8$  кг/м<sup>2</sup>

Аналіз графічних залежностей показує, що питомі затрати споживчої потужності  $P_{u.k}$  шнекового конвеєра при збиранні гички з 6 рядків коренеплодів і урожайністю гички від 1,4 до 1,8 кг/м<sup>2</sup> за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с змінюються в діапазоні від 0,011 кВт до 0,018 кВт с/ кг м, рис. 5.2 а. Функціональна зміна  $P_{u.k}$  має зворотний характер – за збільшення швидкості руху  $G_M$  гичкозбирального модуля, урожайності гички  $U_p$  та кількості рядків коренеплодів  $n_k$  питомі затрати потужності  $P_{u.k}$  шнекового конвеєра зменшуються, рис. 5.2б.

Таким чином, можна стверджувати, що за одночасного збирання 3-х, 4-х і

6-ти рядків коренеплодів питомі затрати споживчої потужності удосконаленого гичкозбирального модуля зменшуються, відповідно, на: 0,023...0,028 кВт с/ кг м; 0,017...0,022 кВт с/ кг м; 0,011...0,014 кВт с/ кг м, рис.5.2б.

Загальні витрати потужності, які необхідні для виконання процесу транспортування зрізаної та подрібненої гички шнековим конвеєром визначається за формулою згідно з [152]

$$N_{ш.к} = Q_{ш.к}^* L_{ш} (k_o \pm \sin \alpha) / 367. \quad (5.13)$$

де  $k_o = 1,1$  – коефіцієнт опору переміщення подрібненої гички [152];

$\alpha = 0$  – кут установки шнека до горизонту, град;

$Q_{ш.к}^*$  – продуктивність шнекового конвеєра, т/год.

Згідно з рис. 2.8, за наявної середньої урожайності гички коренеплодів 170...190 ц/га, або відповідно, 1,7...1,9 кг/м<sup>2</sup>, густоти насадження коренеплодів 8...10 шт./м<sup>2</sup> та усередненого значення робочої швидкості руху шестирядного гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с середнє значення секундної подачі  $P_p$  гички до шнекового конвеєра становить від 60 до 80 кг/с.

При цьому продуктивність шнека  $Q_{ш.к}^*$  повинна бути рівна, або більша за значення секундної подачі  $P_p$  гички до шнекового конвеєра.

У зв'язку з цим приймаємо продуктивність шнека  $Q_{ш.к}^*$  рівній значенню секундної подачі  $P_p = 60...80$  кг/с. Тобто  $Q_{ш.к}^* = 60...80$  кг/с = 216...288 т/год.

Тоді  $N_{ш.к} = (216...288) 2,8 1,1/367 = 1,81...2,42$  кВт.

### 5.3. Висновки до розділу

5.3.1. Встановлено, що за одночасного збирання 3-х, 4-х і 6-ти рядків коренеплодів питомі затрати споживчої потужності удосконаленого гичкозбирального модуля зменшуються, відповідно, на 0,023...0,028 кВт с/ кг м; 0,017...0,022 кВт с/ кг м; 0,011...0,014 кВт с/ кг м, а загальні затрати – на 1,81...2,42 кВт.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У монографії вирішено нове наукове завдання зниження енерговитрат процесу збирання основного масиву гички коренеплодів шляхом розробки та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

Зниження енергоємності процесу збирання гички коренеплодів досягається за рахунок одночасного поєднання операцій зрізування та переміщення зрізаної гички одним активним (роторним гичкорізом) і пасивним (направляючим каналом) робочим органом.

1. За середньої врожайності гички коренеплодів 170...190 ц/га, густоти насадження коренеплодів 80...100 тис. шт./м<sup>2</sup> і усередненого значення швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с секундна подача та питома маса зрізаної гички, яка надходить у міжряддя невикопаних коренеплодів становить від 60 до 80 кг/с та від 25 до 30 кг/м<sup>2</sup>.

2. На основі аналізу теоретично-експериментальних досліджень, які характеризують розмірні значення початкових частин подрібнених стебел гички ножем роторного гичкоріза встановлено, що зі збільшенням частоти обертання ротора гичкоріза у межах  $500 \leq n_x \leq 900$  об/хв розмірні значення  $X_k$  зменшуються на 15...20 %, а значення  $Y_k$  зростають на 20...25 %, при цьому збільшення швидкості руху гичкозбирального модуля  $V_M$  від 1,4 до 2,2 м/с і діаметра ротора  $D_p$  від 0,4 до 0,8 м призводить до збільшення  $X_k$  і  $Y_k$ , відповідно, на 8...13 % і 5...8 см.

Розбіжність аналітично-емпіричних значень  $X_k$  і  $Y_k$  становить у середньому 12...23 %.

3. Встановлено, що за діаметра роторного гичкоріза 0,35...0,4 м, частоти обертання роторного гичкоріза 62,8 рад/с, або колової швидкості Г-подібного ножа 11,0...12,6 м/с, кут вильоту зрізаної гички з ножа становить 85 град., а раціональний кут між напрямком вектора доударної швидкості та дотичною до

профілю направляючого каналу в точці удару знаходиться в діапазоні 30...35 град., за якого початкова швидкість руху зрізаної гички знаходиться у діапазоні 9,5...10,5 м/с, а на виході з вихідної горловини – 2,5...3,5 м/с, при цьому час переміщення гички по направляючому каналу становить 0,15...0,2 с.

4. З умови не вивалювання та не пошкодження коренеплодів, або допустимої горизонтальної  $[P_{c.max}] = 220$  Н і нормальної  $[P_{n.max}] = 350$  Н сили встановлено, що швидкість руху ГМ повинна бути в межах  $1,6 \leq V_M \leq 1,9$  м/с, кут встановлення копіра та пружини паралелограмної підвіски відносно горизонталі, відповідно,  $20 \leq \varphi_k \leq 35^\circ$ ,  $45 \leq \beta \leq 60^\circ$ , а максимальна маса рухомих частин обрізника 6...8 кг.

5. Сила різання  $P_A$  головок коренеплодів ножем обрізника збільшується прямо пропорційно збільшенню переміщення ножа  $x$  та становить 4...60 Н і не залежить від зміни маси ножа  $m_n$  в межах від 0,1 до 0,25 кг при  $V_M = const$ , але зі збільшенням  $V_M$  від 1,3 до 2,0 (м/с) і маси ножа від 0,15 до 0,25 (кг)  $P_A$ , відповідно, зменшується приблизно в 2 та збільшується в 4 рази.

6. На основі експериментальних досліджень встановлено, що секундна подача та питома маса гички урожайністю від 140 до 180 ц/га, яку зібрано з 3-х рядків коренеплодів знаходиться, відповідно, у діапазоні від 17 до 36 кг/с та від 19 до 27 кг/м<sup>2</sup>. Зміна швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с має несуттєвий вплив на збільшення питомої маси гички – зростання становить 0,3...0,5 кг/м<sup>2</sup>. Розбіжність теоретичних і експериментальних значень секундної подачі та питомої маси гички знаходиться від 15 до 20 %.

7. За результатами польових досліджень встановлено, що при значенні  $V_M \geq 1,8$  м/с,  $n_x \geq 800$  об/хв і  $D_p \geq 0,7$  м кількість вибитих коренеплодів із ґрунту ножами гичкоріза  $K_{Bp}^{(e)} > 1,5$  %, що не задовольняє агротехнічні вимоги до гичкозбиральних машин, а домінуючим фактором який суттєво корегує  $K_{Bp}^{(e)}$  є значення  $n_x$  – при збільшенні  $n_x$  від 500 до 900 об/хв кількість вибитих коренеплодів зростає від 0,7 до 1,8 %.



8. Встановлено, що загальна кількість пошкоджених коренеплодів  $K_{Pr}^{(e)}$  ножами гичкоріза змінюється у межах 5...17 %, при цьому за значення  $V_M \geq 1,6$  м/с,  $n_x \geq 800$  об/хв і  $D_p \geq 0,7$  м кількість  $K_{Pr}^{(e)}$  перевищує допустимий показник  $K_{Pr}^{(e)} \leq 10$  % згідно з агротехнічними вимогами до гичкозбиральних машин.

9. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів цикорію зменшується на 0,8 %, у тому числі: загальна кількість ґрунтових домішок – на 0,5 %; загальна кількість рослинних домішок – на 0,3 %; кількість вільного ґрунту – на 0,2 %; кількість вільних рослинних домішок – на 0,5 %. При цьому кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для базового способу збирання гички дорівнює 4,5 %, а для удосконаленого способу – 2,1 %, тобто кількість гички зменшується в 2,2 рази.

10. На основі аналізу теоретично-експериментальних досліджень було обґрунтовано такі раціональні параметри гичкозбирального модуля: діаметр роторного гичкоріза 0,35 м; частота обертання роторного гичкоріза 600...650 об/хв; діаметр ділільних дисків 0,4 м; відстань між ділільними дисками 0,35 м; швидкість руху гичкозбирального модуля 1,6...1,8 м/с.

11. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що кількість коренеплодів цукрових буряків із косим зрізом удосконаленим гичкозбиральним модулем порівняно з серійною машиною зменшується в 1,9 рази, кількість вибитих коренеплодів з ґрунту – з 1,4 до 0,9 (%), або в 1,6 рази, а кількість пошкоджених коренеплодів – у 1,3 рази, при цьому сильнопошкоджених коренеплодів менше в 1,2 рази.

12. На основі аналізу узагальнених допустимих критеріїв, які визначають основні показники якості роботи гичкозбирального модуля ( $K_B^{(e)} \leq 1,5$  %,  $K_H^{(e)} \leq 10$  %,  $K_{CI}^{(e)} \leq 5$  %) можна констатувати, що раціональні параметри робочих органів гичкозбирального модуля за яких значення показників якості роботи не виходять за межі агротехнічних вимог будуть: частота обертання та діаметр

ротора гичкоріза, відповідно, 600...700 об/хв і 0,5...0,6 м для робочої швидкості руху гичкозбирального модуля до 1,8 м/с.

13. Встановлено, що за одночасного збирання 3-х, 4-х і 6-ти рядків коренеплодів питомі витрати споживчої потужності удосконаленого гичкозбирального модуля зменшуються, відповідно, на 0,023...0,028 кВт с/ кг м; 0,017...0,022 кВт с/ кг м; 0,011...0,014 кВт с/ кг м, а загальні витрати потужності – на 1,8...2,4 кВт, або в 1,2...1,3 рази залежно від урожайності гички.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В.М. Основи розробки робочих органів комбінованих систем коренезбиральних машин : монографія / [В.М. Барановський, Г.А. Герасимчук, А.Ю. Виговський, М.В. Потапенко, О.Ю. Скальський]. К.: ЦП Компринт, 2016. 286 с.
2. Ігнат'єв Є.І. Обґрунтування параметрів комбінованого агрегату для збирання гички на основі орно-просапного трактора : дис... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 / Євген Ігорович Ігнат'єв. Мелітополь, 2018. 169 с.
3. Барановський В.М. Напрямки вдосконалення технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів / В.М. Барановський, В.Б. Онищенко, В.В. Теслюк, І.М. Сторожук. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. С. 207 – 213.
4. Белокобыльский В.А. Повышение эффективности обрезки корнеплодов сахарной свеклы за счет совершенствования конструкции ботвосрезающего аппарата : дисс... на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Виталий Александрович Белокобыльский. Белгород, 2005. 155 с.
5. Baranovsky V., Dubchak N., Pankiv M. Experimental research of stripping the leaves from root crops. Acta Technologica Agriculturae. 2017. Vol. 20 (3). P. 69– 73.
6. Барановський В.М. Розрахунок параметрів робочих органів гичкозбиральних машин : монографія / [В.М. Барановський, А.Ю. Виговський, М.І. Сторожук, В.Р. Паньків]. К. : Аграр Медія Груп, 2015. 242 с.
7. Скальський А.Ю., Потапенко Н.В., Барановський В.Н. Агробиологические и физико-механические характеристики цикория корневого. Механизация и электрификация сельского хозяйства. РУП Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. Минск, 2016. Вып. 50. Т. 1. С. 158 – 162.
8. Барановський В.М. Підгурський М.І., Паньків М.Р. Методологічні та конструктивно-технологічні аспекти розробки адаптованих коренезбиральних машин. Вісник ТНТУ. Тернопіль, 2014. Т. 2 (74). С. 106 – 113.

9. Барановський В. М., Труханська О.О. Експериментальні дослідження процесу відминання гички від коренеплодів. Науковий огляд. 2014. № 6 (7). С. 79 – 83.

10. Борис Н. М. Обоснование технологического процесса и параметров рабочего органа для отделения ботвы сахарной свеклы: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 / Н.М. Борис. Вінниця: ВДАУ, 2009. 20 с.

11. Вовк П.Ф. Агрофизические свойства корней сахарной свеклы в связи с механизацией уборки. В сборнике : «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин». Т. 11. М. – Л.: Сельхозгиз, 1936. С. 269 – 284.

12. Вовк П.Ф. Основы теории режущего аппарата свеклоуборочных машин. В сборнике : «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин». М. – Л.: Сельхозгиз, 1936. Т. 4. С. 135 – 178.

13. Гументик М.Я. Особливості цикорію кореневого і агротехніка його вирощування. Зб. наук. праць ІЦБ УААН. К., 2003. С. 339 – 341.

14. Зуев М.М., Гументик М.Я., Миколюк Ю.В. Густота насаждения цикория и его урожай. Сахарная свекла. 2002. № 6. С. 27.

15. Зуев М.М., Гументик М.Я. Розміщення головок коренеплодів цикорію над поверхнею ґрунту. Цукрові буряки. 2002. № 2. С. 29.

16. Кузьмич В.М. Удосконалення технології вирощування цикорію кореневого в умовах Північно-західного лісостепу України : автореф. дис. канд. с.-г. наук. К., 1998. 19 с.

17. Кузьмич В.М., А.О. Яценко. Рекомендації по вирощуванню цикорію кореневого. Самчики: ХІАВ НААНУ, 2010. 15 с.

18. 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.

19. Погорелый Л.В., Татьянко М.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. К.: Феникс, 2004. 232 с.

20. Погорілий Л.В., Брей В.В. Фізико-механічні властивості коренів цукрових буряків у зв'язку з механізацією процесу їх збирання. Вісник сільськогосподарської науки. 1971. № 3. С. 31 – 37.

21. Татьяна Н.В., Бирюкова А.И. Исследование некоторых агрофизических свойств сахарной свеклы в связи с разработкой ботвосрезающих аппаратов. М.: ВИСХОМ, 1967. Вып. IV.

22. Особенности развития и формирования кормовой свеклы к моменту уборки / Шабельник Б.П., Полупанов В.Н., Завгородний А.Ф та др. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. Вып. 62. С. 8 – 11.

23. Яценко О.Я. Цикорій коренеплідний: Біологія, селекція, виробництво і переробка коренеплодів : Навч. посібник. Умань: ФІЦБ УААН, 2003. 161 с.

24. Яценко А.О. Продуктивність цикорію коренеплідного залежно від густоти і рівномірності розміщення рослин. Зб. наукових праць, присвячений 100-річчю з дня народження С.С. Рубіна. Умань: УСГА, 2000. С. 220 – 223.

25. Булгаков В.М., Черновол М.И., Свирень Н.А. Теория свеклоуборочных машин : Монография. Кировоград: "КОД", 2009. 256 с.

26. Барановский В.Н. Онищенко В.Б., Сторожук И.М. Экспериментальные исследования пассивного дообрезчика остатков ботвы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014. Вып. 48. Т. 1. С. 177 – 84.

27. Шевцов І.А., Фомічов А.М. Біологія і агротехніка кормових буряків. К.: Наукова думка, 1980. 250 с.

28. Скальский А.Ю., Потапенко Н.В., Барановский В.Н. Агробиологические и физико-механические характеристики цикория корневого. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Минск: РУП Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2016. Вып. 50. Т. 1. С. 158 – 162.

29. Baranovsky V.M., Potapenko M.V. Theoretical analysis of the technological feed of lifted root crops. INMATEH – Agricultural engineering. Bucharest, 2017. Vol. 51. No. 1/2017. Pg. 29 – 30.

30. Smal Maria. Investigation of Work of Rotor Haulm Cutter. Fundamental and Applied Studies in EU and CIS Countries : The 1st International Academic Conference (United Kingdom, Oxford, 23 July 2014). Oxford, 2014. V.I “Oxford IADCES Press”. P. 14 – 21.

31. Напрямки вдосконалення технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів / Онищенко В.Б., Теслюк В.В., Сторожук І.М., Барановський В.М. Механізація та електрифікація сільського господарства. XIV міжн. наук.-техн. конф. «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвячена пам’яті академіка П.М. Василенка. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. С. 207 – 213.

32. Погорілий Л.В. Сучасні проблеми землеробської механіки і машинознавства при створенні сільськогосподарської техніки нового покоління. Механізація сільськогосподарського виробництва. Х.: ХДТУСГ, 2003. Вип. 20. С. 10 – 28.

33. Паньків М.Р., Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи адаптованого застосування коренезбиральних машин. Зб. наук. праць міжнародної науково-практичної конференції “Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин”. Тернопіль: ТДТУ, 2004. С. 192 – 198.

34. **Berezhenko E.B.**, Baranovsky V.M. Researching of energy saving technology for harvesting tops of root crops. Наукові нотатки. 2017. № 60. С. 50 – 55.

35. Гурченко, О. П., Барановський, В. М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. Механізація та електрифікація сільського господарства. 1995. №. 81. С. 57 – 60.

36. Сторожук І.М. Конструктивно-технологічний аналіз робочих органів гичкозбиральних машин. The scientific journal. Scientific review. Т. 2. № 12 (2015). С. 63 – 71.

37. Storozhuk I.M., Pankiv V.R. Research results of harvesting haulm remnants of root crops // INMATEH – Agricultural Engineering. 2015. Vol. 46. No. 2/2015. P. 101 – 108.

38. Береженко Є. Технологічний процес зрізування гички коренеплодів цикорію. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : тези доп. Міжн. наук.-техн. конф. до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100-річчя з дня смерті), 23-24 трав. 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. С. 281 – 282.

39. Береженко Є.Б., Барановський В.М. Енергозберігаюча технологія збирання гички коренеплодів цикорію кореневого. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 16-17 лист. 2017 р. Тернопіль: ТНТУ, 2017. С. 198 – 199.

40. Berezhenko E., Pankiv M., Jobbagy Jan, Berezhenko V. Experimental research of the module for gathering plant of chicory roots. Scientific Journal of TNTU. Ternopil, 2021. No. 101(1). P. 56 – 67.

41. Барановський В.М., Береженко Є.Б. Класифікація способів збирання гички коренеплодів цикорію : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 21-22 лют. 2019 р., м. Київ. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 117 – 120.

42. Березовий М.Г. Обґрунтування технологічних і конструктивних параметрів робочих органів машини для збирання гички цукрового буряку : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Машини і засоби механізація сільськогосподарського виробництва” / М.Г. Березовий. – К. : НАУ, 2007. – 19 с.

43. Андрієнко В.В., Лапенко Г.О., Дудніков А.А., Чорненький С.І. Про розвиток енергозберігаючих технологій у сільському господарстві на сучасному етапі. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2006. № 4. с. 9 – 11.

44. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Іванишин В.В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня. Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 8 – 14.

45. 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 «Машини і засоби сільськогосподарського виробництва» / В.Я. Мартиненко. Тернопіль, 2000. 33 с.

46. Хелемендик М.М. Підвищення механіко-технологічної ефективності трудомістких процесів у буряківництві: дис... доктора техн. наук : 05.20.01 / Хелемендик Микола Михайлович. Луцьк, 1996. 233 с.

47. Зуев Н.М. Исследование качества работы свеклоуборочных комбайнов в зависимости от агрофизических свойств сахарной свеклы при различных способах формирования насаждения растений : автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 Механизация сельскохозяйственного производства / Н.М. Зуев. Харьков, 1971. 33 с.

48. Ždarsky I. Biologické a fyzikálne mechanické vlastnosti cukrovky z hľadiska mechanizácie sklirne. *Zemědělska technika*. 1964. № 11. S. 657 – 672.

49. Погорелый Л.В. Технологические и технические основы совершенствования механизированных процессов уборки сахарной свеклы: дисс. кандидата техн. наук : 05.20.01 / Погорелый Леонид Владимирович. К., 1974. 418 с.

50. Bulich C. Biotechnische Einflussfaktoren auf die Köpfgualität von Zuckerrüben : inang. Diss / Bulich C.. Bonn, 1990. 153 s.

51. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин : монография / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень Н.А. Кировоград : "КОД", 2009. 256 с.

52. Барановський В.М., Паньків М.Р. Розрахунок масових характеристик коренеплодів. *Сільськогосподарські машини*. 2007. Вип. 15. С. 30 – 43.

53. Барановський Віктор, Герасимчук Галина, Дубчак Наталія, Береженко Євген, Бойко Володимир. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2020. № 24. С. 13 – 21.

54. Berezhenko E. Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. *Innovative Solutions in Modern Science*. USA, New York: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC. 2020. № 2(38). С. 46 – 54.



55. Барановський, В. М. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденції розвитку коренезбиральних машин. Вісник ТНТУ. 2006. № 11 (2). С. 67 – 75.

56. Клімук, М. В., Герасимчук, О. О., Подоляк, В. М. Огляд машин для видалення гички з головок коренеплодів цукрових буряків. Наукові нотатки. 2002. № 11. С. 182 – 186.

57. Патент № 315766, Швеція, МКИ А 01D 23/02. Пристрій для зрізування гички. Опубл. в 1968.

58. Патент 2663986, США, МКИ А 01D 23/02. Устройство для срезания свекловичной ботвы / Лайл Грансен; заявл. 13.08.1951; опубл. 1953; № 241523.

59. Погорельый Л.В. Оценка показателей работы ботвосрезающих аппаратов. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1963. № 5. С. 49 – 50.

60. Клімук М. Обґрунтування параметрів роторного гичкозрізувального апарату. Вісник Тернопільського державного університету. Тернопіль: ТДТУ, 2003. Т. 8. № 3. С. 64 – 68.

61. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочная техника на современном этапе / Ю.Б. Аванесов // Механизации и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 8. – С. 53 – 57.

62. Барановський В., Підгурський М., Герасимчук Г. Аналіз технологічного процесу видалення залишків гички комбінованим викопуючим робочим органом. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2010. Том 15. № 4. С. 55 – 62.

63. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. К.: Видавничий центр НАУ, 2005. 245 с.

64. Булгаков В.М., Борис А.М. Методика та засоби лабораторних досліджень процесу відокремлення гички експериментальними робочими органами. Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Механізація сільськогосподарського виробництва». Технічні науки. 2011. Вип. 107. Том 1. С. 175 – 188.

65. Булгаков В.М., Черновол М.И., Свирень Н.А. Теоретические исследования роторного ботвосрезающего аппарата. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. КНТУ, 2008. Вип. 38. С. 3 – 16.

66. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. К.: „Сільгососвіта”, 1996. 251 с.

67. Василенко А.А. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Основания для проектирования свеклоуборочных машин. М.-Л.: НКТМ СССР, 1940. Т.5.

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

69. Bulgakov V., Holovach I., Bandura V., Ivanovs S. A theoretical research of the grain milling technological process for roller mills with two degrees of freedom. INMATEH - Agricultural Engineering. Vol. 52. Issue 2. P. 99 – 106.

70. Bulgakov V., Nikolaenko S., Arak M., Holovach I., Ruzhylo Z., Olt. J. Mathematical model of cleaning potatoes on surface of spiral separator. Agronomy Research. 2018. No.16 (4). P. 1590 – 1606.

71. Bylgakov Volodymyr, Beloev Hristo, Holovach Ivan, Krocko Vladimir, v NozdrovickyLadislav, Findura Pavol. The most complex theory of the symmetric impact of the vibrating digging working tool on the sugar beet root. Journal of Agricultural Engineering. Vol. 49. No. 4(2018). P. 207 – 219.

72. Зуев Н.М. Топоровский С.А. Бескопирный срез головок корнеплодов. Сахарная свекла. 1988. № 6. С. 42 – 45

73. Зуев Н. М. Методика исследований качества работы свеклоуборочных машин. К.: ВНИС, 1989. 75 с.

74. Kozachenko O., Pakhuchyi A., O.Shkregal, Sorokin S., Dyakonov S., Gusarenko N., Kadenko V. Experimental substantiation of the rational parameters for a reaping machine of the comb type for harvesting oil flax seeds. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 5. Issue 1(107). P. 52 – 59.

75. Kozachenko O., Pahuchiy A. Modeling of Interaction with Plants Linseed Occupancy Drum ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 59 – 64.

76. Козаченко О.В., Пахучий А.М., Шкрегаль О.М. Вплив конструктивно-режимних параметрів на формування повітряного потоку обчисувальні жнивarki. Machinery & Energetics. 2020. Vol. 11. № 1. С. 21 – 27.

77. Кобець О.М. Обґрунтування робочого процесу і параметрів робочих органів для видалення гички кормових буряків : Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Кобець Олександр Миколайович. Вінниця, 2007. 166 с.

78. Мартиненко В. Я. Гичкозбиральні машини. Тернопіль: Поліграфіст, 1997. 110 с.

79. Мартиненко В.Я., Головка С.І. Визначення деяких кінематичних параметрів апаратів для зрізування гички цукрових буряків // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Харків, 2002. Вип. 7. С. 97 – 100.

80. Мартиненко В.Я., Головка С.І. Експериментальне дослідження роботи плоских ножів з коливним рухом при збиранні цукрових буряків. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. Кіровоград, 2005. Вип. 35. С. 78 – 81.

81. Мартиненко В.Я., Головка С.І. Експериментальні дослідження роботи плоского ножа з зворотно – поступальним рухом // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. «Механізація с/г виробництва», Т.2. Харків, 2006. Вип. 44. С. 304 – 308.

82. Мартиненко В.Я., С.І. Головка Обґрунтування конструкції копіюючого механізму з коливним плоским ножом при зрізуванні гички // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічний сервіс АПК. Техніка і технологія у с/г машинобудуванні. Харків, 2005. Вип. 39. С. 227– 231.

83. Мартынов В.М. Проектирование рабочих органов и машин для уборки корнеплодов. Уфа : Изд-во Башкирского государственного аграрного университета, 2011. 250 с.

84. Мартынов В.М. Разработка технологии и универсальных технических средств с многофункциональными рабочими органами для уборки корнеплодов : автореф...дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства / В.М. Мартынов. Уфа, 2012. 44 с.

85. Мишин М.А., Бабко И.П., Борщевская Э.Б. Анализ конструкций режущих аппаратов к свеклоуборочным машинам. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1992. № 4. С. 21 – 24.

86. Погорелый Л.В. Технологические и технические основы совершенствования механизированных процессов уборки сахарной свеклы. Автореф. дисс... на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. К.: УСХА, 1974. С. 41.

87. Татьянко Н.В. Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корней сахарной свеклы до их выкопки : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Н.В. Татьянко. Х., 1967. 28 с.

88. Топоровский С.А. Обоснование технологического процесса и основных параметров рабочего органа для уборки ботвы сахарной свеклы без копирования головок корнеплодов : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / С.А. Топоровский. К.: УСХА, 1974. 19 с.

89. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. К.: Аграрна наука, 2001. 208 с.

90. Хелемендик Н.М. Исследование технологического процесса и рабочих органов для уборки сахарной свеклы в условиях Западной степи УССР : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Н.М. Хелемендик. Воронеж, 1968. 18 с.

91. Машины для свеклопроизводства / Под ред. А.Г. Цымбала и Ю.И. Ковтуна. М.: Машиностроение, 1976. 368 с.

92. Орехівський В. Д. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вертикального доочисника головок коренеплодів цукрових буряків: автореф. дис. на здобуття наукового степеню канд. техн. наук.: спец. 05.05.11 - машини і засоби сільськогосподарського виробництва / Орехівський В. Д. Глеваха, 2002. 20 с

93. Черняков Ф.А. Изыскание, исследование и обоснование аппарата для обрезки корней сахарной свеклы в условиях зоны повышенного увлажнения : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Ф.А. Черняков. Минск, 1971. 28 с.

94. Алдохин В.Г. К совершенствованию режущего аппарата ботвоуборочной машины / В.Г. Алдохин, В.И. Бессарабов, И.Д. Еремеев [та др.] Труды ВИМ. М.: ВИМ, 1978. Т. 80. С. 11 – 21.

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

96. Смаль М.В., Герасимчук О.О., Барановський В.М. Математична модель процесу різання головок коренеплодів пасивним ножом обрізника. Сільськогосподарські машини. Луцьк: ЛНТУ, 2013. Вип. 24. С. 343 – 353.

97. Борис М.М. Обґрунтування конструктивної схеми машини для відокремлення гички цукрових буряків. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2012. № 11. Т. 1(65). С. 98 – 102.

98. Борис М.М. Моделювання процесу зрізу гички від коренеплодів цукрових буряків. Збірник Наукових праць Національного аграрного університету. Перспективні технології вирощування та збирання цукрових буряків. Київ: НАУ, 1997. Том 2. с. 77 – 80.

99. Gruber W. Trends bei der Technik für die Zuckerr übenernte // Landtechnik. 2001. Jg. 56. No. 6. S. 380 – 381.

100. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, Referat 516: Bonn: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL). 2001. 104 s.

101. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 191 s.

102. Márquez L. Maquinari a para la recolección de la remolacha. Agrotécnica, 2007: Abril. Pp. 42 – 46; Julio. Pp. 32 – 39; Agosto. Pp. 24 – 31; Septiembre. Pp. 2 – 11.

103. Moitzi G., Boxberger J. Vermeidung von Bodenschadverdichtungen beim Einsatz von schweren Maschinen – eine aktuelle Herausforderung // Ländlicher Raum, 2007. S. 1 – 27.

104. Pearson K. On a method of determining whether a sample of size N supposed to have been drawn from a parent population having a known probability integral has probably been drawn at random. Biometrika. Cambridge, 1993. Vol. 25. P. 379 – 410.

105. Pirkelmann H. Futterrübenenernte: Technik in Feld und Stall. Bonn; Bad Godesberg, 1980. 32 s.

106. Spiess E., Diserens E. Betteraves à sucre: technique de récolte et protection des sols // Rapport FAT. – 2001. – No. 567. P. 1 – 19.

107. Berezhenko E. Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New York: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC. 2020. № 2(38). С. 46 – 54.

108. Барановский В.Н., Береженко Е.Б. Способ и устройство для энергосберегающей технологии уборки ботвы корнеплодов. Inginerie Agrară și Transport Auto : materialele Simpozionului Științific Internațional "Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto", dedicat aniversării a 85 de ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. 2018. Vol. 51. P. 106 – 110.

109. Baranovsky Viktor, Berezhenko Eugene. Energy saving technology for harvesting of root crops. Сучасні проблеми землеробської механіки : тези доп.

XVIII Міжн. наук. конф. присвяченої 117-річчю від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. Кам'янець-Подільський, 16-18 жовт. 2017 р. Тернопіль: Крок, 2017. С. 8 – 11.

110. Berezhenko E.B., V.M. Baranovsky. Improved method of harvesting the main massif of the tops of the root crops of chicory. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки : тези доп. XI Міжн. наук.-практ. конф. Кропивницький, 1-3 лист. 2017 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 71 – 73.

111. Цьонь Г.Б. Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля кормових буряків : автореф. дис... на здобуття наук. ступеня кандидата технічних наук / 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 24 с.

112. 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.

113. Feasibility study of an auger conveyor performance of the haulm removing module / Tson A., Khomuk N., Dovbush T., Tson O. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018. No 3 (91). P. 101 – 106.

114. 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.

115. Substantiation of capacity of screw conveyer 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.

116. 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.

117. Патент 144431 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, Береженко Є.Б., Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків В.Р.;

заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003158; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с.

118. Береженко Є.Б. Технологічний аналіз кількості зрізаної гички роторним гичкорізом. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VII Міжн наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 28-29 лист. 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. Т.1. С. 48 – 49.

119. Барановський Віктор, Герасимчук Галина, Дубчак Наталія, Береженко Євген, Бойко Володимир. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2020. № 24. С. 13 – 21.

120. Береженко Є.Б. Результати експериментальних досліджень гичкозбирального модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. IX Міжн наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 25-26 лист. 2020 р. Тернопіль: ТНТУ, 2020. Т.1. С. 40 – 41.

121. Довідник буряководи / В.Ф.Зубенко, В.Т.Онопрієнко, В.В.Февчук та ін. За ред. В.Ф.Губенко. 2-е вид., перероб. і доп. К.: Урожай, 1986. 232 с.

122. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин, конструювання та розрахунок. Тернопіль, 1997. 118 с.

123. Фомічов А.М., Архипенко Ф.М. Сорти і техніка. Хлібороб України. 1987. № 4. С. 24.

124. Сторожук І.М. Експериментальні дослідження процесу роботи шнекового конвеєра гичкозбирального модуля. Електр. наук. фаховий журнал «Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України». К.: НУБіП України. 2017. Вип. 4 (68). С. 45 – 55.

125. Сторожук І.М. Результати порівняльних досліджень гичкозбирального модуля. Аграрна наука та освіта Поділля: зб. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. Тернопіль : Крок, 2017. Ч. 2. С. 74 – 76.

126. Нагаев Р.Ф. Механические процессы с повторными затухающими соударениями. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 200 с.



127. Айзерман М.А. Классическая механика. Глав. ред. физико-матем. литер. М.: Наука, 1974. 368 с.
128. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике ( для инженеров и учащихся втузов)/ И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 608с. 2. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.2/ Г. М. Фихтенгольц – «Наука», главная редакция физико-математической литературы. - Москва,1969. – 800с.
129. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. М.: Колос, 2000. 551 с.
130. Вакуленко М.О.,Вакуленко О.В. Тлумачний словник із фізики. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. 767 с.
131. Мартынов В.М. К вопросу обоснования профиля направляющего кожуха ботвоуборочной машины. Проблемы АПК на Южном Урале и Поволжье (материалы региональной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов). Уфа: БГАУ, 1998. Часть I. С. 80 – 85.
132. Мартынов В.М., Юхин Г.П., Калимуллин А.М. Профиль рабочей поверхности кожуха равных скоростей режущего аппарата. Пути повышения эффективности АПК в условиях вступления России в ВТО : материалы междунар. науч.-практ. конф. Часть I. Уфа: БГАУ, 2003. С. 261 – 263.
133. Мартынов В. М. Кожух равного давления для ботвоуборочной машины // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 8-летию со дня рождения проф. Кобы В.Г. / Под ред. Е.Е. Демина. Саратов: Изд-во «КУБиК»
134. Теория, конструкция и расчет сельхозмашин / Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов А.С. [и др.]. М.: Машиностроение, 1978. 567 с.
135. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / [Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.]. К.: Вища освіта, 2005. 446 с.
136. Berezhenko E., Pankiv V., Berezhenko V. Experimental studies of the process of cutting the head of chicory roots. *Paradigm of knowledge*. Germany,

Frankfurt: Center for international scientific cooperation ТК Meganom, LLC 2021.

Том 1. № 46(2021). С. 5 – 15.

137. ДСТУ 2258-93. Машины бурякозбиральні. К.: Держстандарт України, 1993. 18 с.

138. КД 46.16.01.005 – 93 “Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”. К.: Держстандарт України, 1993. 34 с.

139. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. К.: Техніка, 1991. 156 с.

140. Карпушкин С.В., Глебов О.А. Теория инженерного эксперимента. Тамбов: ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2017. 81 с.

141. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки данных. М.: Колос, 1973. 159 с.

142. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологий методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик,. М.: Машиностроение, София: Техника, 1980. 304 с.

143. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М. : Мир, 1972. 374 с.

144. Завалишин Ф.С., Манцев Н.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. М.: Колос, 1982. 228 с.

145. Крутов В.И., Попов В.В. Основы научных исследований / под ред. В.И. Крутова. М. : Высшая школа, 1989. 363 с.

146. ГОСТ 20915-75. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. М. 34 с.

147. Погорелый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин / Л.В. Погорелый, В.Я. Анилович. – К.: Феникс, 2004. – 208 с.

148. Патент 144433 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, Береженко Є.Б., Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків В.Р.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003172; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с.

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А.1.1



«ТекЗ», БМ-6Б



«ТекЗ», МГШ-6

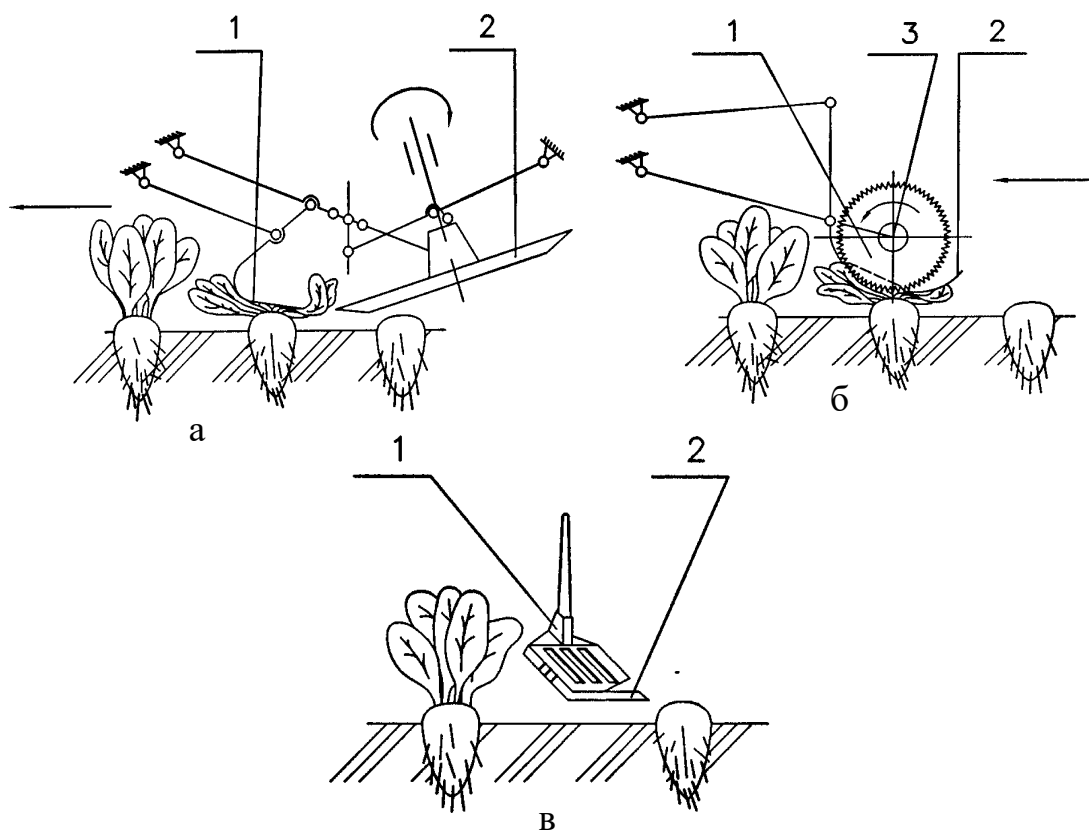


«ДКЗ», МБП-6



«ТекЗ», МГР-6

## Причіпні гичкозбиральні машини



Схеми гичкозрізувального апарата: а – пасивний копір поєднується з активним дисковим ножом; б – поєднаний активний катковий копір з пасивним ножом; в – пасивний копір поєднується з пасивним ножом

## Додаток А.2.3



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **144431** (13) **U**  
 (51) МПК  
**A01D 23/02** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
 УКРАЇНИ

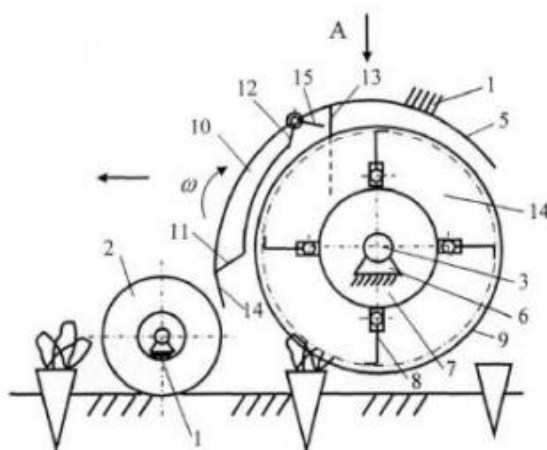
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2020 03158</b>	(72) Винахідник(и): <b>Барановський Віктор Миколайович (UA), Береженко Євген Богданович (UA), Паньків Марія Романівна (UA), Марченко Любов Олексіївна (UA), Паньків Віталій Романович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>26.05.2020</b>	(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>26.09.2020</b>	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>25.09.2020, Бюл.№ 18</b>	

**(54) ГИЧКОЗРІЗУВАЛЬНА МАШИНА****(57) Реферат:**

Гичкозрізувальна машина містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, на внутрішній поверхні якого змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартух розташовані між суміжними ділильними дисками. На внутрішній поверхні дугоподібного кожуха під вхідним отвором кожного направляючого каналу жорстко закріплено плоский екран, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха за вихідним отвором кожного направляючого каналу закріплено шарнірну поворотну пласку заслінку.

UA 144431 U



Фиг. 1

U  
UA 144431 U

UA 144431 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, особливо до пристроїв для зрізування гички коренеплодів.

Відома гичкозрізувальна машина, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом (деклараційний патент України № 30356 А, МПК А01D 23/02. Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6).

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткове розкидання зрізаної та подрібненої гички за задню частину ділильних дисків у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

Відома гичкозрізувальна машина, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, на внутрішній поверхні якого змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташовані між суміжними ділильними дисками (патент України на корисну модель № 108588, МПК А01D 23/02. Опубл. 25.07.216. Бюл. № 4).

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткові втрати зрізаної гички на етапі її переміщення до вхідного каналу у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

В основу корисної моделі поставлено задачу усунення можливості розкидання зрізаної та подрібненої гички в межі рядка коренеплодів, шляхом виконання гичкозрізувальної машини, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, на внутрішній поверхні якого змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташовані між суміжними ділильними дисками, причому на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха під вхідним отвором кожного направляючого каналу жорстко закріплено плоский екран, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха за вихідним отвором кожного направляючого каналу закріплено шарнірну поворотну плоску заслінку.

Гичкозрізувальна машина зображена на фіг. 1 - вигляд збоку, на фіг. 2 - вигляд А на фіг. 1.

Гичкозрізувальна машина складається з рами 1, на якій послідовно встановлено опорні колеса 2, вал 3 з горизонтальною віссю обертання 4 та розташований спереду і над верхньою частиною вала дугоподібний кожух 5. Вал 3 встановлено в опорах 6, які змонтовано на рамі 1 та виконано у вигляді барабана 7, на якому закріплено гичкозрізувальні ножі 8 Г-подібної форми. Між гичкозрізувальними ножами 8 на барабані 7 та у міжрядді коренеплодів розташовано ділильні диски 9. На внутрішній частині дугоподібного кожуха 5 встановлено направляючі канали 10 для транспортування гички, які мають вхідний 11 та вихідний 12 отвори. За вихідним отвором 12 кожного направляючого каналу 10 встановлено фартух 13, причому вихідний отвір 12 кожного направляючого каналу 10 та фартуха 13 розташована між суміжними ділильними дисками 9. На внутрішній поверхні дугоподібного кожуха 5 на початку вхідного отвору 11 кожного направляючого каналу 10 жорстко закріплено плоский екран 14, а на кінці вхідного отвору 12 закріплено шарнірну поворотну плоску заслінку 15. Вал 3 обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ , напрямок руху якої односторонній напрямку руху пристрою.

Гичкозрізувальна машина працює наступним чином.

Під час руху гичкозрізувальної машини вздовж рядків коренеплодів гичкозрізувальні ножі 8 за рахунок обертання вала 3 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії руху до вхідного отвору 11 направляючого каналу 10. За рахунок створеного обертанням вала 3, або гичкозрізувальних ножів 7 повітряного потоку одна частка частинок зрізаної та подрібненої гички переміщується до вхідного отвору 11 та транспортується по направляючому каналу 10 до його вхідного отвору 12, а інша частка частинок зрізаної та подрібненої гички переміщується до жорстко закріпленого плоского екрану 14, де відбувається їх контакт з плоским екраном 14 під гострим кутом. Після контакту з плоским екраном 14 частинки зрізаної та подрібненої гички відбиваються від нього під кутом, який дорівнює куту контакту та рухається у напрямку вхідного отвору 12. Далі зрізана та подрібнена гичка транспортується по направляючому каналу до

UA 144431 U

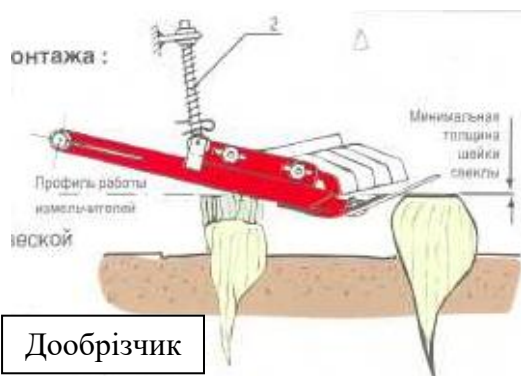
- вихідного отвору 12, де відбувається її контакт з шарнірною поворотною заслінкою 15. Після контакту зрізаної та подрібненої гички з шарнірною поворотною заслінкою 15, остання відхиляється від свого початкового положення, створюючи прохід зрізаної та подрібненої гички до фартуха 13, де відбувається контакт зрізаної та подрібненої гички з фартухом 13. Після контакту з поворотною заслінкою 15 та фартухом 13 гичка втрачає початкову швидкість вильоту з вихідного отвору 12 та розкидається в міжряддя незібраних коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

- Таким чином, наявність плоского екрана 14 забезпечує більш повне переміщення зрізаної та подрібненої гички до вхідного отвору 12 направляючого каналу 10, що зменшує втрати зрізаної та подрібненої гички, або її розкидання у зону рядка коренеплодів, а наявність шарнірної поворотної заслінки 15 дозволяє зменшити початкову швидкість вильоту зрізаної та подрібненої гички. Що призводить до більш якісного її укладання в міжряддя незібраних коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

## Додаток А.3.3

Схема та загальний вигляд робочих органів для збирання гички:

зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза та до обрізування залишків гички з головок коренеплодів обрізником типу «пасивний копір-пасивний ніж»



## Додаток А.4.3



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **82972** (13) **U**  
 (51) МПК  
**A01D 23/02** (2006.01)

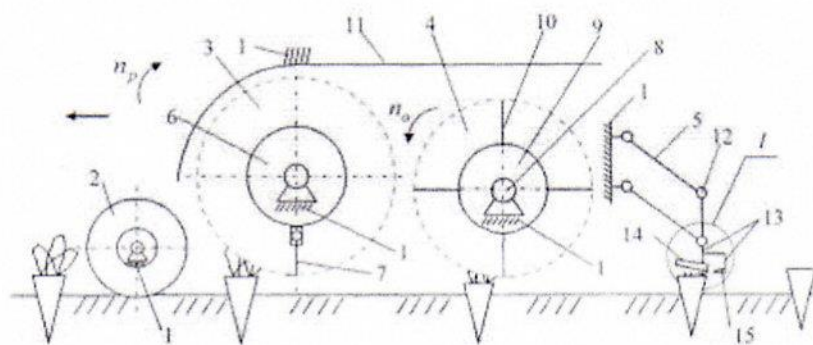
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2013 01438</b>	(72) Винахідник(и):
(22) Дата подання заявки: <b>07.02.2013</b>	<b>Барановський Віктор Миколайович (UA),</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>27.08.2013</b>	<b>Смаль Марія Василівна (UA),</b> <b>Паньків Марія Романівна (UA),</b> <b>Дубчак Наталія Андріївна (UA),</b> <b>Паньків Віталій Романович (UA)</b>
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.08.2013, Бюл.№ 16</b>	(73) Власник(и): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ</b> <b>ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА</b> <b>ПУЛЮЯ,</b> вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)

**(54) МАШИНА ГИЧКОЗБИРАЛЬНА****(57) Реферат:**

Машина гичкозбиральна містить раму, опорні колеса, горизонтальний ротор, на барабані якого закріплені гичкозрізувальні ножі, очисник головок коренеплодів від залишків гички з горизонтальною віссю обертання, обрізувачі головок коренеплодів у вигляді паралелограмної підвіски, гребінчастий копір і ніж, несучий лезо ріжучої кромки. Кожен ніж виконаний у вигляді двоплечого важеля, який встановлений шарнірно на своєму вертикальному пальці. Робочий хід леза ріжучої кромки ножа в горизонтальній площині обмежений упором і регульовальною пружиною.



Фиг. 1

UA 82972 U



UA 82972 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, особливо до пристроїв для збирання гички коренеплодів.

Відома машина гичкозбиральна, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані між гичкозрізувальними ножами, які охоплені кожухом [деклараційний патент України № 30356 А, МПК А01D 23/02. Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6].

Недоліком відомої машини гичкозбиральної є розкидання зрізаної гички в межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

Відома машина гичкозбиральна, яка містить раму, на якій послідовно встановлені опорні колеса, горизонтальний ротор, на барабані якого закріплені гичкозрізувальні ножі, очисник головок коренеплодів від залишків гички з горизонтальною віссю обертання, обрізувачі головок коренеплодів, кожен з яких виконаний у вигляді паралелограмної підвіски, на якій змонтовано пасивний гребінчастий копір і пасивний ніж, несучий лезо ріжучої кромки [патент України № 30833, МПК А01D 23/02. Опубл. 1 1.03.2008. Бюл. № 5].

Недоліком відомої машини гичкозбиральної є відносно незадовільна якість обрізування головок коренеплодів цукрових буряків завдяки реалізації процесу різання методом рублення головок, що призводить до їх значних сколів і, як наслідок, значних пошкоджень і втрат цукрової сировини.

В основу корисної моделі поставлено задачу підвищення якості обрізування головок коренеплодів шляхом виконання машини гичкозбиральної.

Поставлена задача вирішується тим, що машина гичкозбиральна містить раму, на якій послідовно встановлені опорні колеса, горизонтальний ротор, на барабані якого закріплені гичкозрізувальні ножі, очисник головок коренеплодів від залишків гички з горизонтальною віссю обертання, обрізувачі головок коренеплодів, кожен з яких виконаний у вигляді паралелограмної підвіски, на якій змонтовано пасивний гребінчастий копір і ніж, несучий лезо ріжучої кромки, згідно з корисною моделлю, кожен ніж виконаний у вигляді двоплечого важеля, який встановлений шарнірно на своєму вертикальному пальці, а робочий хід леза ріжучої кромки ножа в горизонтальній площині обмежений упором і регульовальною пружиною.

Машина гичкозбиральна зображена на фіг. 1 - вигляд збоку, на фіг. 2 - вид I на фіг. 1.

Машина гичкозбиральна складається з рами 1, на якій послідовно встановлені опорні колеса 2, горизонтальний ротор 3, очисник 4 головок коренеплодів, обрізувачі 5 головок коренеплодів. Горизонтальний ротор 3 виконаний у вигляді барабана 6, на якому встановлені гичкозрізувальні ножі 7, які обертаються зустрічно напрямку руху гичкозбиральної машини з частотою обертання  $n_7$ , а висота зрізування основного масиву гички регулюється вертикальним переміщенням опорних коліс 2 на рамі 1. Очисник 4 головок коренеплодів виконаний у вигляді поперечного вала 8, на барабані 9 якого закріплено гнучкі бичі 10, що обертаються з частотою обертання  $n_8$ . Верхня частина гичкозрізувальних ножів 7 і гнучких бичів 10 закрита кожухом 11. Позаду поперечного вала 8 змонтовано обрізувачі 5 головок коренеплодів, кожен з яких виконаний у вигляді паралелограмної шарнірної підвіски 12, на стояку 13 якої послідовно змонтовано пасивний гребінчастий копір 14 і ніж 15, несучий лезо 16 ріжучої кромки. Кожен ніж 15 виконаний у вигляді двоплечого важеля 17, який встановлений шарнірно на своєму вертикальному пальці 18, який жорстко закріплений на стояку 13. При цьому кожен ніж 15, а відповідно, і лезо 16 ріжучої кромки ножа 15 жорстко зв'язане з гребінчастим копіром 14, завдяки стояку 13. Робочий хід леза 16 ріжучої кромки ножа 15 в горизонтальній площині обмежений упором 19, закріпленням на стояку 13 і регульовальною пружиною 20, один кінець якої закріплений на плечі 21 двоплечового важеля 17, а другий - на стояку 13.

Машина гичкозбиральна працює наступним чином.

Під час переміщення гичкозбиральної машини вздовж рядків коренеплодів і обертання горизонтального ротора 3, гичкозрізувальні ножі 7 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії направлення кожуха 11 так, щоб вона падала позаду горизонтального ротора 3. Очисник 4 головок коренеплодів гнучкими бичами 10 збиває залишки гички, які залишилися на головках коренеплодів після зрізування основного масиву гички гичкозрізувальними ножами 7 та направляє гичку у міжряддя. Гребінчастий копір 14 обрізувача 6 головок коренеплодів наїжджає на головку коренеплодів, копіює головки коренеплодів і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски 12 передає це переміщення гребінчастого копіра 14 ножу 15. Ніж 15, рухаючись поступально напрямку руху машини гичкозбиральної по головці коренеплодів, лезом 16 ріжучої кромки обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу. У процесі зрізування головки коренеплодів ніж 15 відхиляється на вертикальному пальці 18 до

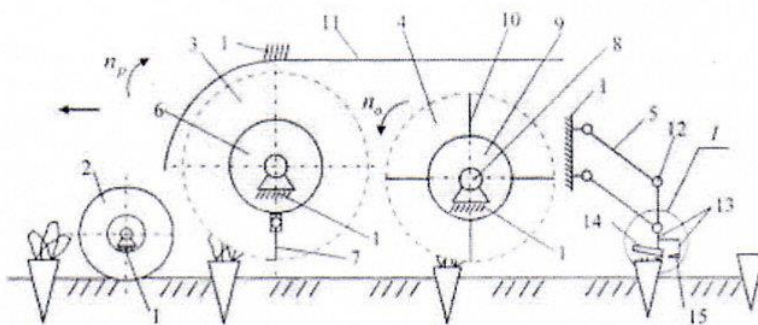
UA 82972 U

упора 19, виконуючи різання методом ковзання. Після зрізування головки коренеплодів ніж 15 завдяки регулювальній пружині 20 повертається в попереднє положення.

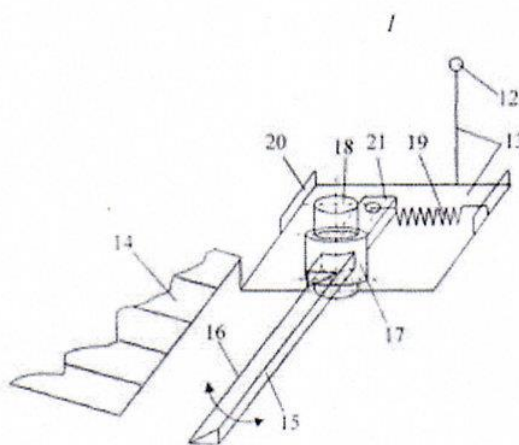
Таким чином, заміна процесу рублення головок коренеплодів процесом різання з проковзування леза 16 ріжучої кромки ножа 15 відносно головок коренеплодів покращує якість обрізування головок за рахунок значного зменшення кількості їх сколів.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Машина гичкозбиральна, що містить раму, на якій послідовно встановлені опорні колеса, горизонтальний ротор, на барабані якого закріплені гичкозрізувальні ножі, очисник головок коренеплодів від залишків гички з горизонтальною віссю обертання, обрізувачі головок коренеплодів, кожен з яких виконаний у вигляді паралелограмної підвіски, на якій змонтовано пасивний гребінчастий копір і ніж, несучий лезо ріжучої кромки, яка відрізняється тим, що кожен ніж виконаний у вигляді двоплечого важеля, який встановлений шарнірно на своєму вертикальному пальці, а робочий хід леза ріжучої кромки ножа в горизонтальній площині обмежений упором і регулювальною пружиною.



Фиг. 1



Фиг. 2

---

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

## Додаток Б.1.2

Порядок перетворення та спрощення залежності (2.31)

$$\begin{aligned}
X_t = S_{4tx} - S_{5tx} &= \frac{dL_M}{dt_M} t_\alpha + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha\right) - \\
&- \frac{dL_M}{dt_M} t_\varphi - 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30}\right) = \\
&= \frac{dL_M}{dt_M} (t_\alpha - t_\varphi) + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \left[ \sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha\right) - \sin\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30}\right) \right] = \\
&= \frac{dL_M}{dt_M} (t_\alpha - t_\varphi) + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \times \\
&\times 2 \cos\left[\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha + \frac{\pi n_x t_\varphi}{30}\right) \frac{1}{2}\right] \sin\left[\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha - \frac{\pi n_x t_\varphi}{30}\right) \frac{1}{2}\right] = \\
&= \frac{dL_M}{dt_M} (t_\alpha - t_\varphi) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\frac{2\pi n_x t_\varphi}{30} - \alpha\right) \frac{1}{2}\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) = \\
&= \frac{dL_M}{dt_M} (t_\alpha - t_\varphi) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\frac{\pi n_x t_\varphi}{30} - \frac{\alpha}{2}\right)\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) = \\
&= \frac{dL_M}{dt_M} \left(\frac{30\alpha}{\pi n_x} - \frac{30\varphi_n}{\pi n_x}\right) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right)\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) = \quad \cdot (2.31) \\
&= \frac{dL_M}{dt_M} \left(\frac{30(\alpha - \varphi_n)}{\pi n_x}\right) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right)\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right)
\end{aligned}$$

## Додаток Б.2.2

Порядок перетворення та спрощення залежності (2.36)

$$\begin{aligned}
X_k &= S_{4kx} - S_{5kx} = \frac{dL_M}{dt_M} t_\alpha + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \sin\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \alpha\right) - \\
&- \frac{dL_M}{dt_M} t_\theta - 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \sin\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30}\right) = \\
&= \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right)(t_\alpha - t_\theta) + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \left[ \sin\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \alpha\right) - \sin\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30}\right) \right] = \\
&= \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right)(t_\alpha - t_\theta) + 0,5[d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \times \\
&\times 2 \cos\left[\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \alpha + \frac{\pi n_x t_\theta}{30}\right) \frac{1}{2}\right] \sin\left[\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \alpha - \frac{\pi n_x t_\theta}{30}\right) \frac{1}{2}\right] = \\
&= \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right)(t_\alpha - t_\theta) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\frac{2\pi n_x t_\theta}{30} - \alpha\right) \frac{1}{2}\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) = \\
&= \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right)(t_\alpha - t_\theta) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \frac{\alpha}{2}\right)\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) \\
&= \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right) \left(\frac{30\alpha}{\pi n_x} - \frac{30\theta}{\pi n_x}\right) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\frac{\pi n_x t_\theta}{30} - \frac{\alpha}{2}\right)\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) = \cdot (2.36) \\
&= \left(\frac{dL_M}{dt_M}\right) \left(\frac{30(\alpha - \theta)}{\pi n_x}\right) + [d_p + 2(\Delta_r + l_n)] \cos\left[\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right)\right] \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right)
\end{aligned}$$

## Додаток Б.3.2

Порядок перетворення та спрощення рівності (2.39)

$$\begin{aligned}
\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\Delta}{R_p}\right) &= \operatorname{arcctg} \frac{\Delta / R_p}{\sqrt{1 - (\Delta / R_p)^2}} = \operatorname{arcctg} \left[ \left(\frac{\Delta}{R_p}\right) / \sqrt{\frac{R_p^2 - (\Delta)^2}{R_p^2}} \right] = \\
&= \operatorname{arcctg} \frac{\Delta}{R_p} \frac{\sqrt{R_p^2}}{\sqrt{R_p^2 - (\Delta)^2}} = \operatorname{arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{R_p^2 - (\Delta)^2}} = \cdot (2.39) \\
&= \operatorname{arcctg} \frac{\Delta}{\sqrt{(0,5d_p + \Delta_r + l_n)^2 - (\Delta)^2}}
\end{aligned}$$

## Додаток Б.4.3

Порядок перетворення та спрощення рівняння (2.60)

$$m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} = m_2 g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \mathcal{G}_g^2 - F_m - F_c - m_2 g \sin \xi ;$$

$$m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} = m_2 g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \left( \sqrt{2m_2 g / k_o S_2} \right)^2 -$$

$$- m_2 f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_2 \gamma_n \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi ;$$

$$m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{m_2 g k_o S_2}{2m_2} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- m_2 f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_2 \gamma_n \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi ;$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{k_o S_2 \gamma_n}{2m_2} \left[ g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) - \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \right] -$$

$$- f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - g \sin \xi ;$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{k_o S_2 \gamma_n}{2m_2} g \left( \mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \frac{dL_B}{dt} + \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \right) \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - g \sin \xi$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{k_o S_2 \gamma_n}{2m_2} g \left( \mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \frac{dL_B}{dt} \right) \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- \left( f_m k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - f_m g \cos \xi \right) - g \frac{f_m}{f_m} \sin \xi ;$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{k_o S_2 \gamma_n}{2m_2} g \left( \mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \frac{dL_B}{dt} \right) \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- f_m \left[ k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \left( \cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right] .$$

$$m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{gk_o S_2}{2} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- m_2 f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_2 \gamma_n \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi$$

$$m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} = m_2 g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \mathcal{G}_6^2 -$$

$$- m_2 f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_2 \gamma_n \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \mathcal{G}_6^2 -$$

$$- f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / (2m_2 g / k_o S_2) -$$

$$- f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) k_o S_2}{2m_2 g} -$$

$$- f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{g \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) k_o \gamma_2 S_2}{2m_2 g \gamma_2} -$$

$$- f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - \frac{k_o}{2} \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{g \left( \vartheta_{n,n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left( \vartheta_{n,n} - \frac{dL_B}{dt} \right) k_o \gamma_2 S_2}{2m_2 g \gamma_2} -$$

$$- f_m \left( k_o \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - \frac{k_o}{2} \left( \frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi$$

## Додаток Б.5.3

Порядок отримання рівняння (2.69)

$$d\alpha = \frac{\left[ (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1 + tg \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1 tg \varepsilon_1}. \quad (\text{Б.1})$$

Проінтегруємо вираз (Б.1)

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha} d\alpha = \int_{\rho_{c0}}^{\rho_c} \frac{\left[ (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1 + tg \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1 tg \varepsilon_1};$$

$$\alpha = \alpha_0 + \int_{\rho_{c0}}^{\rho_c} \frac{\left[ (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1 + tg \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1 tg \varepsilon_1}. \quad (\text{Б.2})$$

Після розв'язку правої частини інтегрального виразу (Б.2) за методом Рунге-Куты за допомогою програмного забезпечення «Mathematica» для персонального комп'ютера було отримано

$$\alpha = \alpha_0 + tg \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1 tg \varepsilon_1}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - (0,5d_\delta + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1} \right| +$$

$$+ \arccos \frac{(0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1}{\rho_c} - \arccos \frac{(0,5d_\delta + l_n) \sin \varphi_1}{\rho_{c0}} \quad (\text{Б.3})$$

## Додаток Б.6.4

Порядок перетворення та спрощення нерівностей (2.102), (2.103)

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{|d\Delta V_p|}{dt_n} = \left( \left[ \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{dV_{kx}}{dt_n} \right)^2 + g^2} \right]_0^{t_n} + \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta \right]_0^{t_n} + \left[ \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) \right]_0^{t_n} \right) \frac{\sin \varepsilon}{dt_n} \leq [P_{c.max}]; \quad (2.100)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{|d\Delta V_\sigma|}{dt_n} S_k = \left( \left[ \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{dV_{kx}}{dt_n} \right)^2 + g^2} \right]_0^{t_n} + \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta \right]_0^{t_n} + \left[ \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) \right]_0^{t_n} \right) \frac{S_k}{dt_n} \leq [\sigma_{n.max}]. \quad (2.101)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{|d\Delta V_p|}{dt_n} = \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{dV_k}{dt_n} \right)^2 + g^2} + \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) \right) NV_k \sin \varepsilon \leq [P_{c.max}]; \quad (2.102)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} m_i \frac{|d\Delta V_\sigma|}{dt_n} S_k = \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \sqrt{\left( \frac{dV_{kx}}{dt_n} \right)^2 + g^2} + \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta + \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2} \cos(\gamma - \varepsilon) \right) \frac{S_k NV_{kx}}{\cos \varepsilon} \leq [\sigma_{n.max}], \quad (2.103)$$



## Додаток Б.7.4

Порядок перетворення та спрощення нерівностей (2.104), (2.105)

$$\frac{dV_k}{dt_n} = a_p \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} m_i} \sqrt{\left\{ \frac{[P_{c.max}]}{NV_k \sin \varepsilon} \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right] \right\}^2 - \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 g^2 \sin^2 \varepsilon} ; \quad (2.104)$$

$$\frac{dV_{kx}}{dt_n} = a_\sigma \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} m_i} \sqrt{\left\{ \frac{[\sigma_{n.max}] \cos \varepsilon}{S_k NV_{kx}} \left[ \frac{Gd_n^4}{8D_n^3 z} \Delta x_c \sin \beta - \sum_{i=1}^{n_R} p_{0_i} l_n r_n \sqrt{4f^2 + 0,25\pi^2 \cos(\gamma - \varepsilon)} \right] \right\}^2 - \left( \sum_{i=1}^{n_k} m_i \right)^2 g^2 \cos^2 \varepsilon} , \quad (2.105)$$

## Додаток Б.8.4

Порядок перетворення та спрощення залежності (2.122)

$$T_n = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left( \frac{dx_o}{dt} \right)^2 + \frac{S_n R_n^3 \rho_n}{6} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{S_n R_n \rho_n}{2} \left[ \left( \frac{dx_o}{dt} \right)^2 + \frac{R_n^2}{3} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right]. \quad (2.118)$$

$$\frac{dx_o}{dt} = \sqrt{\left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + 2R_n \frac{dx}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \cos \varphi + R_n^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + R_n \frac{d\varphi}{dt} \left( 2 \frac{dx}{dt} \cos \varphi + R_n \frac{d\varphi}{dt} \right)}, \quad (2.121)$$

Тоді залежність, яка характеризує зміну кінетичної енергії ножа після підстановки (2.121) в (2.118) матиме вигляд

$$T_n = S_n R_n \rho_n \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + R_n \frac{d\varphi}{dt} \left( \frac{dx}{dt} \cos \varphi + \frac{2R_n}{3} \frac{d\varphi}{dt} \right) \right]. \quad (2.122)$$

## Додаток В.1.1



Загальний вигляд процесу роботи гичкозбирального модуля



Загальний вигляд гичкозбирального модуля

## Додаток В.2.1

## Технічна характеристика гичкозбирального модуля

Показники	Значення показників
Енергетичний засіб, тип агрегування	МТЗ-82, начіпна
Ширина міжряддя, м	0,45
Ширина захвату, м	1,35
Кількість рядків, шт.	3
Діаметр ротора гичкоріза, м	0,45
Частота обертання ротора гичкоріза, об/хв	400...800
Діаметр ділильного диска, м	0,5
Ширини зони між двома суміжними дисками, м	0,25...0,35
Висота розташування вхідної горловини відносно центра обертання роторного гичкоріза, ± см	0
Ширина захисної зони рядка, м	0,15

## Додаток В.3.1

## Технічна характеристика коренезбиральної машини

Найменування показника	Значення показника	
	Межі регулювання	При проведенні досліджень
Тип	причіпна	
Агрегування	МТЗ-82	
Конструктивна ширина захвату, м	1,35	
Кількість рядків	3	3
Ширина міжрядь, см	45	45
Робоча швидкість руху, м/с	1,0...1,6	1,6
Діаметр дисків, м	0,35...0,45	0,45
Кут атаки дисків, град	10...45	30
Глибина ходу викопувальних дисків, см	5...12	9
Частота обертання приводного вала, об/хв	400...700	500
Діаметр приводного вала, м	0,6	0,6
Глибина ходу лапи розрихлювача, см	5...20	16
Поступальна швидкість руху повздовжнього похилого транспортера, м/с	1,5	1,5
Поступальна швидкість руху поперечного транспортера, м/с	1,5	1,5
Поступальна швидкість руху вивантажувального транспортера, м/с	1,1	1,1

## Додаток В.4.1

## Коротка технічна характеристика установки

Найменування показників	Діапазон регулювання показника
Ширина захвату ГМ, м	1,35
Швидкість руху ГМ, м/с	1,4...2,2
Діаметр барабана ротора гичкоріза, м	0,2
Діаметр ротора гичкоріза, м	0,55...0,75
Частота обертання ротора гичкоріза, об/хв	400...800
Кут нахилу пера копіра обрізника до горизонту, град.	20...35
Кут відхилення леза ножа обрізника у горизонтальній площині, град.	0...35
Горизонтальний зазор між ріжучою кромкою ножа та задньою торцевою частиною полозків копіра, м	0,02...0,08
Вертикальний зазор між ріжучою кромкою ножа і нижньою торцевою частиною копіра, м	0,01...0,05

## Додаток В.5.1



Загальний вигляд МБП-6

## Додаток В.6.1

Таблиця 1.В.6.1

Технічна характеристика порівняльних гичкозбиральних машин

Найменування показників	Значення показника	
	Удосконалена	Базова
Ширина захвату ГМ, м	1,35	2,7
Швидкість руху ГМ, м/с	1,8	1,8
Діаметр барабана ротора гичкоріза, м	0,2	0,2
Діаметр ротора гичкоріза, м	0,6	0,6
Частота обертання ротора гичкоріза, об/хв	600	600
Кут нахилу пера копіра дообрізчика до горизонту,	25	25
Кут відхилення леза ножа дообрізчика у горизонтальній площині, град.	0...35	-
Горизонтальний зазор між ріжучою кромкою ножа та задньою торцевою частиною полозків копіра, м	0,03	0,03
Вертикальний зазор між ріжучою кромкою ножа і нижньою торцевою частиною копіра, м	0,015	0,015

## Додаток В.7.2

Характеристика плантації та коренеплодів цикорію

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення показників
Сорт цикорію	«Софіївський 7»	
Ширина міжрядь:		
- середня	см	45
- середньоквадратичне відхилення	± см	0,86
Врожайність коренеплодів	ц/га	210...270
Густота насаджень рослин	шт./м <sup>2</sup>	5...12
Врожайність гички	кг/м <sup>2</sup>	1,35...1,85
Відстань між коренеплодами в рядку	см	15...20
Діаметр коренеплодів	см	6...10
Співвідношення між групами коренеплодів за масою	%	31,3/54,2/13,5
Відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка	±см	до 2,8
Висота розташування головок коренеплодів	± см	0...1,3
Кількість бур'янів на 1 м <sup>2</sup>	шт./кг/м <sup>2</sup>	до 8/0,9

## Продовження додатку В.7.2

Умови проведення експериментальних досліджень гичкозбирального модуля

Найменування показників	Значення показників
Тип ґрунту і назва за механічним складом	Чорнозем опідзолений, легкосуглинковий
Рельєф поля	Рівнинний
Мікрорельєф ділянки	Рівний
Вологість ґрунту, % у шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	20,2 21,5 22,1
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	0,9 1,3 1,5

## Додаток В.8.2

План-матриця проведення експерименту типу ПФЕ  $3^3$ 

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, У			Середні значення У
									Повторюваність			
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	1	2	3	$U_{\text{сер.}}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{1c}$
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$Y_{2c}$
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	$Y_{3c}$
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$Y_{41}$	$Y_{42}$	$Y_{43}$	$Y_{4c}$
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{53}$	$Y_{5c}$
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	$Y_{61}$	$Y_{62}$	$Y_{63}$	$Y_{6c}$
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	$Y_{71}$	$Y_{72}$	$Y_{73}$	$Y_{7c}$
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	$Y_{81}$	$Y_{82}$	$Y_{83}$	$Y_{8c}$
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	$Y_{91}$	$Y_{92}$	$Y_{93}$	$Y_{9c}$
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$Y_{101}$	$Y_{102}$	$Y_{103}$	$Y_{10c}$
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	$Y_{111}$	$Y_{112}$	$Y_{113}$	$Y_{11c}$
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	$Y_{121}$	$Y_{122}$	$Y_{123}$	$Y_{12c}$
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	$Y_{131}$	$Y_{132}$	$Y_{133}$	$Y_{13c}$
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$Y_{141}$	$Y_{142}$	$Y_{143}$	$Y_{14c}$
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	$Y_{151}$	$Y_{152}$	$Y_{153}$	$Y_{15c}$
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	$Y_{161}$	$Y_{162}$	$Y_{163}$	$Y_{16c}$
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	$Y_{171}$	$Y_{172}$	$Y_{173}$	$Y_{17c}$
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	$Y_{181}$	$Y_{182}$	$Y_{183}$	$Y_{18c}$
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	$Y_{191}$	$Y_{192}$	$Y_{193}$	$Y_{19c}$
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	$Y_{201}$	$Y_{202}$	$Y_{203}$	$Y_{20c}$
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	$Y_{211}$	$Y_{212}$	$Y_{213}$	$Y_{21c}$
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	$Y_{221}$	$Y_{222}$	$Y_{123}$	$Y_{22c}$
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	$Y_{231}$	$Y_{232}$	$Y_{233}$	$Y_{23c}$
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	$Y_{241}$	$Y_{242}$	$Y_{243}$	$Y_{24c}$
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	$Y_{251}$	$Y_{252}$	$Y_{253}$	$Y_{25c}$
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	$Y_{261}$	$Y_{262}$	$Y_{263}$	$Y_{26c}$
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	$Y_{271}$	$Y_{272}$	$Y_{273}$	$Y_{27c}$

## Додаток В.9.2

Рандомізована план-матриця експерименту типу ПФЕ  $3^3$ 

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів			Параметр оптимізації			Середні значення
								Повторюваність			
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	1	2	3	
1	+1	0	+1	-1	0	0	-1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{1c}$
2	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$Y_{2c}$
3	+1	0	-1	+1	0	0	-1	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	$Y_{3c}$
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$Y_{41}$	$Y_{42}$	$Y_{43}$	$Y_{4c}$
5	+1	0	0	-1	0	0	0	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{53}$	$Y_{5c}$
6	+1	+1	+1	0	+1	0	0	$Y_{61}$	$Y_{62}$	$Y_{63}$	$Y_{6c}$
7	+1	0	+1	0	0	0	0	$Y_{71}$	$Y_{72}$	$Y_{73}$	$Y_{7c}$
8	+1	+1	0	+1	0	+1	0	$Y_{81}$	$Y_{82}$	$Y_{83}$	$Y_{8c}$
9	+1	0	0	+1	0	0	0	$Y_{91}$	$Y_{92}$	$Y_{93}$	$Y_{9c}$
10	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	$Y_{101}$	$Y_{102}$	$Y_{103}$	$Y_{10c}$
11	+1	+1	-1	0	-1	0	0	$Y_{111}$	$Y_{112}$	$Y_{113}$	$Y_{11c}$
12	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	$Y_{121}$	$Y_{122}$	$Y_{123}$	$Y_{12c}$
13	+1	-1	+1	0	-1	0	0	$Y_{131}$	$Y_{132}$	$Y_{133}$	$Y_{13c}$
14	+1	0	0	0	0	0	0	$Y_{141}$	$Y_{142}$	$Y_{143}$	$Y_{14c}$
15	+1	0	-1	-1	0	0	+1	$Y_{151}$	$Y_{152}$	$Y_{153}$	$Y_{15c}$
16	+1	0	-1	0	0	0	0	$Y_{161}$	$Y_{162}$	$Y_{163}$	$Y_{16c}$
17	+1	0	+1	-1	0	0	-1	$Y_{171}$	$Y_{172}$	$Y_{173}$	$Y_{17c}$
18	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$Y_{181}$	$Y_{182}$	$Y_{183}$	$Y_{18c}$
19	+1	-1	+1	0	-1	0	0	$Y_{191}$	$Y_{192}$	$Y_{193}$	$Y_{19c}$
20	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	$Y_{201}$	$Y_{202}$	$Y_{203}$	$Y_{20c}$
21	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	$Y_{211}$	$Y_{212}$	$Y_{213}$	$Y_{21c}$
22	+1	+1	0	0	0	0	0	$Y_{221}$	$Y_{222}$	$Y_{123}$	$Y_{22c}$
23	+1	+1	0	-1	0	-1	0	$Y_{231}$	$Y_{232}$	$Y_{233}$	$Y_{23c}$
24	+1	-1	-1	0	+1	0	0	$Y_{241}$	$Y_{242}$	$Y_{243}$	$Y_{24c}$
25	+1	0	+1	+1	0	0	+1	$Y_{251}$	$Y_{252}$	$Y_{253}$	$Y_{25c}$
26	+1	-1	0	+1	0	-1	0	$Y_{261}$	$Y_{262}$	$Y_{263}$	$Y_{26c}$
27	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	$Y_{271}$	$Y_{272}$	$Y_{273}$	$Y_{27c}$



## Додаток В.10.3

## Умови проведення порівняльних випробувань

Найменування показників	Значення показників за даними вимірювань
Тип ґрунту і назва за механічним складом	Чорнозем опідзолений, легкосуглинковий
Рельєф поля	Рівнинний
Мікрорельєф ділянки	Рівний
Вологість ґрунту, % у шарі, см: від 0 до 5 більше 5 до 10 більше 10 до 20	18,4 21,3 22,1
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см: від 0 до 5 більше 5 до 10 більше 10 до 20	1,5 2,3 2,9
Кількість бур'янів на 1 м <sup>2</sup> , шт.; кг/м <sup>2</sup>	до 15; 1,5

## Характеристика плантації та коренеплодів цукрових буряків

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення показників
Сорт цукрових буряків	«Ялтушківський однонасінний»	
Ширина міжрядь: - середня - середньоквадратичне відхилення	см ± см	45 0,84
Врожайність коренеплодів	ц/га	315,5
Густота насаджень рослин	тис.шт./га	82,0
Врожайність гички	ц/га	93,5
Відстань між коренеплодами в рядку	м	0,20...0,25
Діаметр коренеплодів	м	0,06...0,15
Співвідношення між групами коренеплодів за масою	%	51,1/40,0/9,9
Відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка	±см	до 1,8
Висота розташування головок коренеплодів	± см	0,5...1,2
Кількість бур'янів на 1 м <sup>2</sup>	шт./кг/м <sup>2</sup>	до 12/1,3

## Додаток Г.1.1

## Експериментальні дані секундної подачі зрізаної гички

№ екс.	$\Pi_p^+$ , кг/с				$\Pi_p^-$ , кг/с			
	$\Pi_{1p}^+$	$\Pi_{2p}^+$	$\Pi_{3p}^+$	$\Pi_{cp}^+$	$\Pi_{1p}^-$	$\Pi_{2p}^-$	$\Pi_{3p}^-$	$\Pi_{cp}^-$
1	18,1	18,0	17,6	17,9	7,9	7,8	8,5	8,1
2	23,2	23,3	23,7	23,4	10,2	10,0	10,6	10,2
3	26,3	26,2	25,8	26,1	11,5	11,1	11,3	11,3
4	21,4	22,2	21,2	21,6	10,4	10,7	10,1	10,4
5	25,6	25,0	25,4	25,2	12,1	12,8	12,0	12,3
6	30,0	29,6	30,0	29,8	13,3	13,4	13,1	13,1
7	22,8	23,5	23,2	23,1	12,0	12,0	11,7	11,9
8	26,9	31,4	27,9	27,7	12,6	12,8	12,3	12,5
9	31,1	31,1	31,8	31,5	16,0	15,2	15,4	15,6
10	23,7	23,5	23,8	23,4	11,6	11,9	11,9	11,8
11	27,0	27,7	27,4	27,3	14,0	13,8	13,6	13,8
12	31,4	31,0	32,0	31,5	15,2	15,4	15,9	15,5
13	26,0	25,6	25,9	25,7	13,6	13,7	14,1	13,8
14	29,1	29,8	29,3	29,4	16,2	16,5	16,5	16,4
15	32,1	32,5	32,0	32,2	18,0	17,8	17,4	17,7
16	30,0	30,1	28,6	28,9	15,4	16,0	16,0	15,8
17	28,8	30,1	30,4	30,1	18,1	17,8	17,9	17,9
18	33,5	33,7	33,6	33,6	19,9	20,1	20,3	20,1
19	33,3	25,7	25,4	25,8	16,5	16,9	17,0	16,8
20	30,1	29,6	30,1	29,9	20,0	19,5	19,6	19,7
21	33,5	33,0	33,7	33,4	23,5	23,4	22,7	23,1
2222	28,0	27,8	27,9	27,9	20,5	20,1	20,9	20,5
23	31,9	32,0	31,5	31,8	22,7	22,8	22,3	22,6
24	35,5	35,0	35,6	35,2	26,6	26,6	26,3	26,5
25	34,9	34,4	34,8	34,7	22,7	22,8	22,6	22,7
26	40,1	39,6	40,6	40,1	25,8	25,7	25,0	25,5
27	42,7	42,4	42,7	42,6	29,3	29,5	29,0	29,2

## Експериментальні дані питомої маси зрізаної гички

№ екс.	$M_{np}^+$ , кг/м <sup>2</sup>				$M_{np}^-$ , кг/м <sup>2</sup>			
	$M_{1np}^+$	$M_{2np}^+$	$M_{3np}^+$	$M_{сnp}^+$	$M_{1np}^-$	$M_{2np}^-$	$M_{3np}^-$	$M_{сnp}^-$
1	16,7	16,8	16,3	16,6	7,7	7,3	7,7	7,5
2	18,5	19,0	18,9	18,6	8,2	8,1	8,0	8,1
3	18,0	18,0	18,3	18,1	8,0	8,0	7,7	7,9
4	20,3	20,1	19,6	20,0	9,6	9,7	9,5	9,6
5	20,3	20,0	19,7	20,0	9,9	9,3	9,4	9,8
6	20,8	20,5	20,6	20,7	9,2	8,9	9,2	9,1
7	21,4	21,4	21,6	21,4	10,7	11,1	11,2	11,0
8	22,3	19,8	19,9	22,0	9,7	10,3	10,1	9,9
9	21,8	21,6	22,1	21,9	11,0	10,7	10,7	10,8
10	21,9	21,9	21,3	21,7	11,0	11,2	10,6	10,9
11	21,8	21,9	21,4	21,7	10,8	11,3	10,9	11,0
12	21,6	22,0	22,1	21,9	10,8	10,7	10,9	10,8
13	23,7	24,0	23,7	23,8	12,7	13,1	12,6	12,8
14	23,3	23,6	23,0	23,3	12,9	12,7	13,3	13,0
15	22,2	22,5	22,5	22,4	12,3	12,0	12,6	12,3
16	26,6	26,9	26,7	26,8	14,5	14,6	14,7	14,6
17	24,1	24,0	29,6	23,9	14,0	14,5	14,1	14,2
18	23,6	23,1	23,0	23,3	14,1	14,1	13,8	14,0
19	30,1	30,0	23,6	23,9	16,1	15,4	15,3	15,6
20	23,8	23,9	23,6	23,7	15,7	15,7	15,3	15,6
21	23,5	23,1	23,1	23,2	16,3	16,0	16,0	16,1
22	26,1	25,7	25,6	25,8	19,2	18,7	19,1	19,0
23	25,5	25,0	25,3	25,2	18,0	17,8	17,9	17,9
24	24,0	24,6	24,6	24,4	18,2	18,5	18,5	18,4
25	32,3	32,0	29,9	32,1	21,3	21,0	20,7	21,0
26	31,6	32,0	32,1	31,9	20,1	20,3	20,0	20,2
27	29,6	29,7	30,0	29,6	20,1	20,5	20,0	20,3

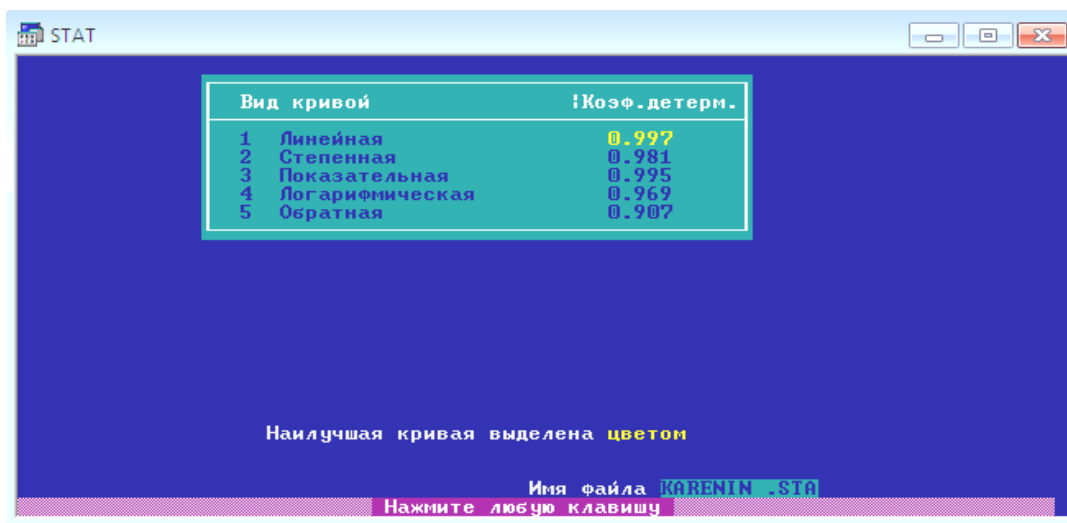
## Додаток Г.2.1

Експериментальний масив даних технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію

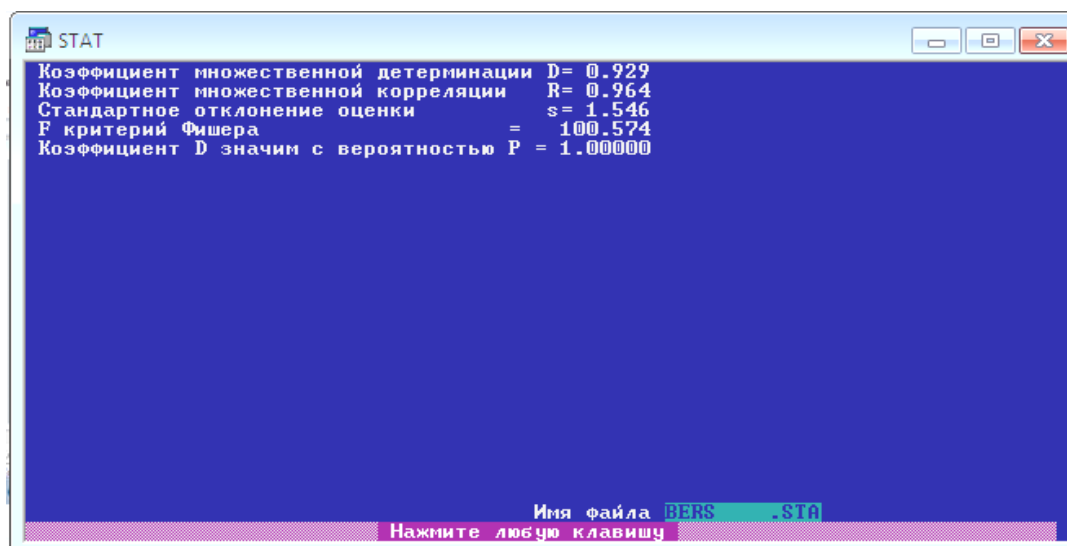
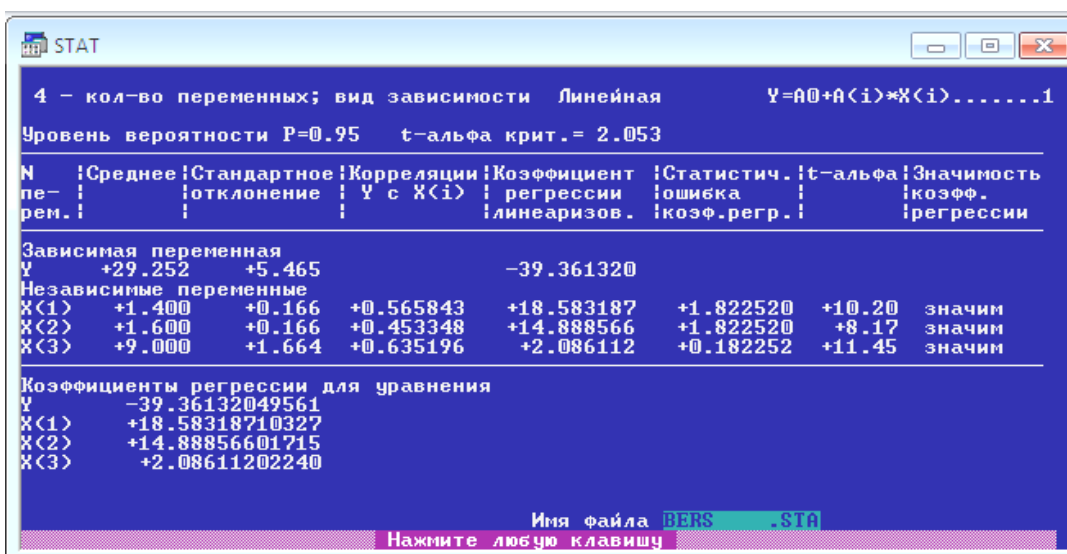
№ екс.	$\mathcal{G}_M, \text{м/с}$	$U_p + \Delta U_p,$ $\text{кг/м}^2$	$\Gamma_k + \Delta \Gamma_k,$ $\text{шт./м}^2$	$\Pi_p^+,$ $\text{кг/с}$	$\Pi_p^-,$ $\text{кг/с}$	$M_{np}^+,$ $\text{кг/м}^2$	$M_{np}^-,$ $\text{кг/м}^2$
1	1,2	1,4	7	17,9	8,1	16,6	7,5
2	1,4	1,4	7	23,4	10,2	18,6	8,1
3	1,6	1,4	7	26,1	11,3	18,1	7,9
4	1,2	1,6	7	21,6	10,4	20	9,6
5	1,4	1,6	7	25,2	12,3	20	9,8
6	1,6	1,6	7	29,8	13,1	20,7	9,1
7	1,2	1,8	7	23,1	11,9	21,4	11
8	1,4	1,8	7	27,7	12,5	22	9,9
9	1,6	1,8	7	31,5	15,6	21,9	10,8
10	1,2	1,4	9	23,4	11,8	21,7	10,9
11	1,4	1,4	9	27,3	13,8	21,7	11
12	1,6	1,4	9	31,5	15,5	21,9	10,8
13	1,2	1,6	9	25,7	13,8	23,8	12,8
14	1,4	1,6	9	29,4	16,4	23,3	13
15	1,6	1,6	9	32,2	17,7	22,4	12,3
16	1,2	1,8	9	28,9	15,8	26,8	14,6
17	1,4	1,8	9	30,1	17,9	23,9	14,2
18	1,6	1,8	9	33,6	20,1	23,3	14
19	1,2	1,4	11	25,8	16,8	23,9	15,6
20	1,4	1,4	11	29,9	19,7	23,7	15,6
21	1,6	1,4	11	33,4	23,1	23,2	16,1
22	1,2	1,6	11	27,9	20,5	25,8	19
23	1,4	1,6	11	31,8	22,6	25,2	17,9
24	1,6	1,6	11	35,2	26,5	24,4	18,4
25	1,2	1,8	11	34,7	22,7	32,1	21
26	1,4	1,8	11	40,1	25,5	31,9	20,2
27	1,6	1,8	11	42,6	29,2	29,6	20,3

## Додаток Г.3.1

Статистичні показники обробки експериментального масиву даних технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів:



- секундна подача  $\Pi_p^+$ ;



## Продовження додатку Г.3.1

- секундна подача  $\Pi_p^-$ ;

STAT							
4 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная				Y=A0+A(i)*X(i).....1			
Уровень вероятности P=0.95				t-альфа крит.= 2.053			
пe-рем.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная							
Y	+16.844	+5.480		-42.304871			
Независимые переменные							
X(1)	+1.400	+0.166	+0.339930	+11.194279	+1.316509	+8.50	значим
X(2)	+1.600	+0.166	+0.344988	+11.360813	+1.316509	+8.63	значим
X(3)	+9.000	+1.664	+0.853624	+2.811114	+0.131651	+21.35	значим
Коэффициенты регрессии для уравнения							
Y	-42.30487060547						
X(1)	+11.19427871704						
X(2)	+11.36081314087						
X(3)	+2.81111431122						
Имя файла BERS .STA							
Нажмите любую клавишу							

STAT	
Коэффициент множественной детерминации	D= 0.963
Коэффициент множественной корреляции	R= 0.981
Стандартное отклонение оценки	s= 1.117
F критерий Фишера	= 200.904
Коэффициент D значим с вероятностью	P = 1.00000
Имя файла BERS .STA	
Нажмите любую клавишу	

- питома маса гички  $M_{np}^+$  ;

STAT

4 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная  $Y=A0+A(i)*X(i).....1$   
 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053

пе-рем.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии линейаризов.	Статистич. ошибка коэф.регр.	t-альфа	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная Y	+16.844	+5.480		-42.304871			
Независимые переменные							
X(1)	+1.400	+0.166	+0.339930	+11.194279	+1.316509	+8.50	значим
X(2)	+1.600	+0.166	+0.344988	+11.360813	+1.316509	+8.63	значим
X(3)	+9.000	+1.664	+0.853624	+2.811114	+0.131651	+21.35	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения  
 Y -42.30487060547  
 X(1) +11.19427871704  
 X(2) +11.36081314087  
 X(3) +2.81111431122

Имя файла BERS .STA  
 Нажмите любую клавишу

STAT

Коэффициент множественной детерминации D= 0.963  
 Коэффициент множественной корреляции R= 0.981  
 Стандартное отклонение оценки s= 1.117  
 F критерий Фишера = 200.904  
 Коэффициент D значим с вероятностью P = 1.00000

Имя файла BERS .STA  
 Нажмите любую клавишу

- питома маса гички  $M_{np}^-$ .

```

STAT
4 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная      Y=A0+A(i)*X(i).....1
Уровень вероятности P=0.95   t-альфа крит. = 2.053

N   |Среднее |Стандартное |Корреляции |Кoeffициент |Статистич. |t-альфа |Значимость
пe- |отклонение |отклонение | Y с X(i) | регрессии |ошибка | |коэфф.
рем. | | | |линеаризов. |коэф.регр. | |регрессии

Зависимая переменная
Y      +13.385   +4.076           -20.264458
Независимые переменные
X(1)   +1.400   +0.166   -0.026087   -0.639057   +0.914260   -0.70   незначим
X(2)   +1.600   +0.166   +0.368582   +9.027730   +0.914260   +9.87   значим
X(3)   +9.000   +1.664   +0.911822   +2.233329   +0.091426   +24.43   значим

Кoeffициенты регрессии для уравнения
Y      -20.26445770264
X(1)   -0.63905733824
X(2)   +9.02772998810
X(3)   +2.23332881927

Имя файла BERS .STA
Нажмите любую клавишу

```

```

STAT
Кoeffициент множественной детерминации D= 0.968
Кoeffициент множественной корреляции R= 0.984
Стандартное отклонение оценки s= 0.776
F критерий Фишера = 231.568
Кoeffициент D значим с вероятностью P = 1.00000

Имя файла BERS .STA
Нажмите любую клавишу

```



## Додаток Г.4.1

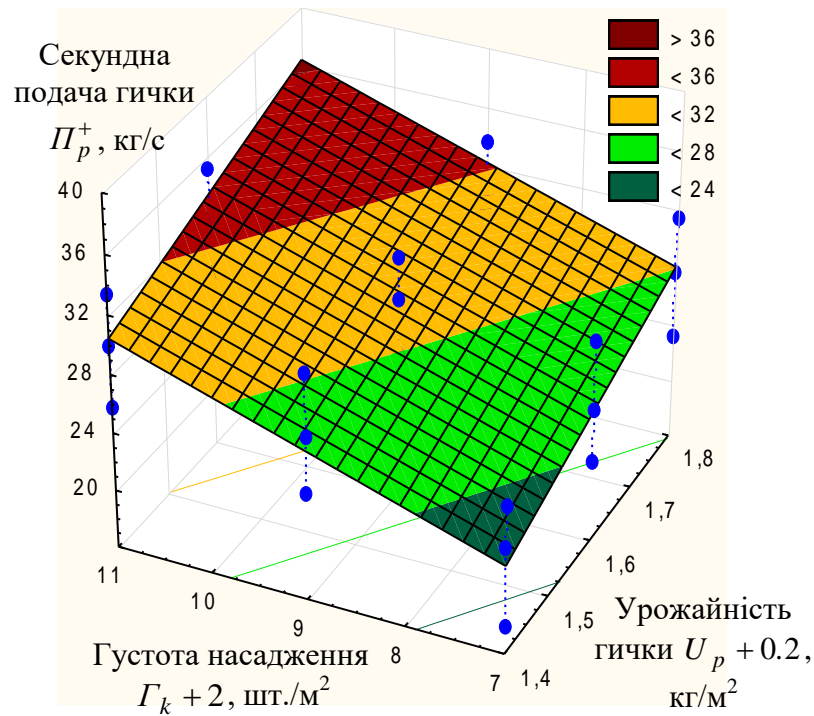


Рисунок 1.Г.4.1 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички

як функція  $P_p^+ = f_{P^+}((U_p + 0,2);(\Gamma_k + 2))$

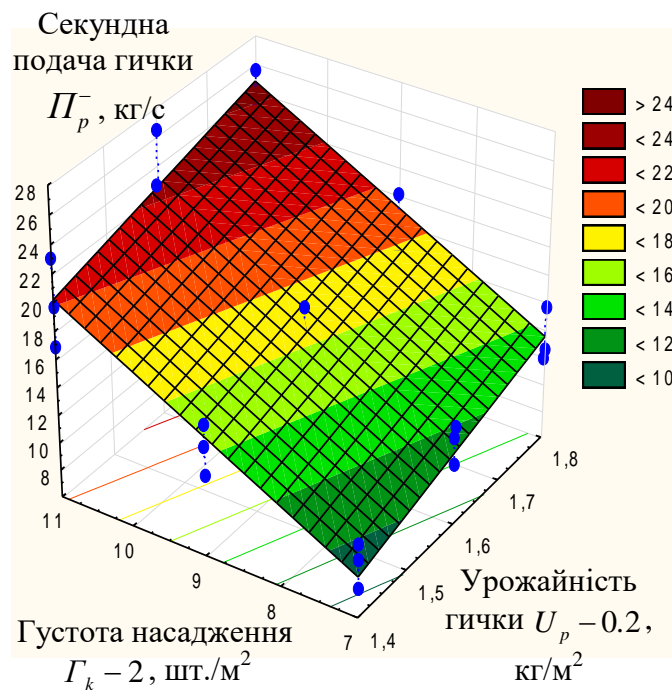


Рисунок 2.Г.4.1 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички

як функція  $P_p^- = f_{P^-}((U_p - 0,2);(\Gamma_k - 2))$

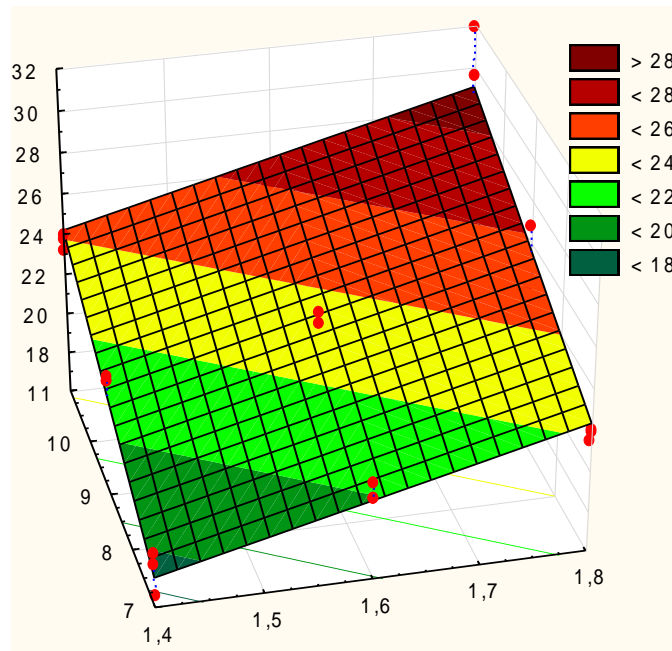


Рисунок 3.Г.4.1 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички

як функція  $M_{np}^+ = f_{M^+}((U_p + 0,2);(\Gamma_k + 2))$

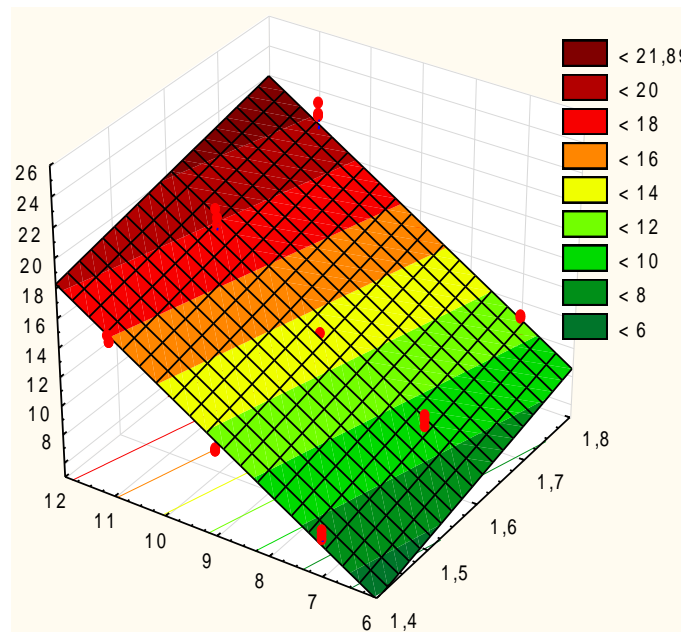


Рисунок 4.Г.4.1 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички

як функція  $M_{np}^- = f_{M^-}((U_p - 0,2);(\Gamma_k - 2))$

## Додаток Г.5.2

Таблиця 1.Г.5.2

Дані експериментального масиву генеральної вибірки  $X_k^{(e)}$  (Var1)

Var1, см																			
1	8,5	11	8	21	7,5	31	6,5	41	7	51	5,5	61	6,5	71	7	81	7,5	91	7
2	10,5	12	4,5	22	9	32	8	42	10	52	9,5	62	8,5	72	9	82	10	92	9,5
3	3,5	13	7	23	12	33	4,5	43	9,5	53	7,5	63	7	73	5,5	83	9	93	5,5
4	7,5	14	11,5	24	5,5	34	7	44	8	54	8	64	9,5	74	8	84	7	94	6
5	9	15	5	25	7,5	35	9	45	6,5	55	5	65	4,5	75	7,5	85	8,5	95	7,5
6	4	16	9	26	6	36	11	46	9,5	56	6	66	6	76	6	86	6	96	11
7	11,5	17	13,5	27	8,5	37	5,5	47	11	57	4	67	12,5	77	4,5	87	5,5	97	8
8	5,5	18	6,5	28	10	38	4	48	3	58	7,5	68	10	78	6	88	7	98	6,5
9	3	19	8,5	29	11,5	39	6,6	49	4,5	59	12,5	69	8,5	79	8	89	8,5	99	5
10	6,5	20	3	30	3,5	40	8,5	50	6	60	13	70	6,5	80	9,5	90	5	100	4

Таблиця 2.Г.5.2

Дані експериментального масиву генеральної вибірки  $Y_k^{(e)}$  (Var2)

Var2, см																			
1	5	11	10,5	21	9,5	31	9,5	41	7,5	51	9,5	61	12	71	11	81	8	91	7
2	7	12	15	22	12	32	7,5	42	6	52	10	62	8,5	72	8	82	11	92	9
3	10	13	9,5	23	5,5	33	11	43	11	53	8,5	63	8,5	73	7	83	10	93	11
4	6	14	7	24	8,8	34	8,5	44	8,5	54	6,5	64	13	74	9	84	13,5	94	14
5	11	15	8,5	25	6	35	13	45	7	55	11,5	65	11	75	10	85	7,5	95	8
6	5	16	10	26	7	36	5,5	46	9	56	7,5	66	6	76	7,5	86	12	96	9,5
7	9,5	17	6,5	27	9,5	37	10	47	6	57	9	67	8	77	6,5	87	9,5	97	10,5
8	7	18	8	28	11,5	38	11,5	48	5,5	58	8	68	10	78	8,5	88	8	98	7
9	12,5	19	11	29	8,5	39	8,5	49	14	59	5	69	7,5	79	9	89	5	99	8,5
10	6	20	13	30	10	40	9,5	50	11	60	9,5	70	9,5	80	7,5	90	8,5	100	9

## Додаток Г.6.2

## Показники статистичної обробки

експериментального масиву генеральної вибірки  $X_k^{(e)}$  (Var1)

STATISTICA - Workbook1\* - [Переменная: Var1, Распространение: Нормальный (Spreadsheet 6 Roz1)]

Файл Редактирование Просмотр Вставка Формат Статистика Графы Инструменты Данные Рабочая книга Окно Справка

Arial 10 B I U

Данные: Spreadsheet 6 Roz1.sta (10v by 101c)

Workbook1\* - Переменная: Var1, Распространение: Нормальный (Spreadsheet 6 Roz1)

Workbook1\*  
 Подбор распр  
 Distribution f  
 Переменн

Переменная: Var1, Распространение: Нормальный (Spreadsheet 6 Roz1)  
 Хи-квадрат = 3,50483, df = 6 (adjusted) , p = 0,74333

Верхний Граница	Измеренный Частота	Совокупный Измеренный	Процент Измеренный	Сumul. % Измеренный	Ожидаемый Частота	Совокупный Ожидаемый	Процент Ожидаемый	Сumul. % Ожидаемый	Измеренный- Ожидаемый
<= 2,00000	0	0	0,00000	0,0000	1,14806	1,1481	1,14806	1,1481	-1,14806
3,00000	3	3	3,00000	3,0000	2,01554	3,1636	2,01554	3,1636	0,98446
4,00000	6	9	6,00000	9,0000	4,32310	7,4867	4,32310	7,4867	1,67690
5,00000	9	18	9,00000	18,0000	7,81289	15,2996	7,81289	15,2996	1,18711
6,00000	15	33	15,00000	33,0000	11,89742	27,1970	11,89742	27,1970	3,10258
7,00000	16	49	16,00000	49,0000	15,26601	42,4630	15,26601	42,4630	0,73399
8,00000	15	64	15,00000	64,0000	16,50572	58,9687	16,50572	58,9687	-1,50572
9,00000	14	78	14,00000	78,0000	15,03771	74,0064	15,03771	74,0064	-1,03771
10,00000	10	88	10,00000	88,0000	11,54422	85,5507	11,54422	85,5507	-1,54422
11,00000	4	92	4,00000	92,0000	7,46757	93,0182	7,46757	93,0182	-3,46757
12,00000	4	96	4,00000	96,0000	4,07021	97,0884	4,07021	97,0884	-0,07021
13,00000	3	99	3,00000	99,0000	1,86924	98,9577	1,86924	98,9577	1,13076
14,00000	1	100	1,00000	100,0000	0,72329	99,6810	0,72329	99,6810	0,27671
< Infinity	0	100	0,00000	100,0000	0,31902	100,0000	0,31902	100,0000	-0,31902

Переменная: Var1, Распространение: Нормальный (Spreadsheet 6 ...)

Нажмите F1 для помощи

C14.V2 100 CAPS NUM REC

пуск STATISTICA - W... Смаль EN 6:39

## Додаток Г.7.2

## Показники статистичної обробки

експериментального масиву генеральної вибірки  $Y_k^{(e)}$  (Var2)

STATISTICA - Workbook Розподлення\* - [Перемінна: Var2, Розповсюдження: Нормальний (Spreadsheet 6 Роз1)]

Файл Редактирование Просмотр Вставка Формат Статистика Графы Инструменты Данные Рабочая книга Окно Справка

Arial 10 B I U

Workbook Розподлення\* - Перемінна: Var2, Розповсюдження: Нормальний (Spreadsheet 6 Роз1)

Перемінна: Var2, Розповсюдження: Нормальний (Spreadsheet 6 Роз1)  
 Kolmogorov-Smirnov d = 0,06858,  
 Хи-квадрат = 3,64945, df = 5 (adjusted) , p = 0,60090

Верхний Граница	Измеренный Частота	Совокупный Измеренный	Процент Измеренный	Сumul. % Измеренный	Ожидаемый Частота	Совокупный Ожидаемый	Процент Ожидаемый	Сumul. % Ожидаемый	Измеренный- Ожидаемый
<= 4,00000	0	0	0,00000	0,0000	1,25227	1,2523	1,25227	1,2523	-1,25227
5,00000	4	4	4,00000	4,0000	2,39416	3,6464	2,39416	3,6464	1,60584
6,00000	9	13	9,00000	13,0000	5,27107	8,9175	5,27107	8,9175	3,72893
7,00000	10	23	10,00000	23,0000	9,53036	18,4479	9,53036	18,4479	0,46964
8,00000	14	37	14,00000	37,0000	14,15148	32,5993	14,15148	32,5993	-0,15148
9,00000	18	55	18,00000	55,0000	17,25786	49,8572	17,25786	49,8572	0,74214
10,00000	19	74	19,00000	74,0000	17,28507	67,1423	17,28507	67,1423	1,71493
11,00000	11	85	11,00000	85,0000	14,21850	81,3608	14,21850	81,3608	-3,21850
12,00000	7	92	7,00000	92,0000	9,60571	90,9665	9,60571	90,9665	-2,60571
13,00000	4	96	4,00000	96,0000	5,32951	96,2960	5,32951	96,2960	-1,32951
14,00000	3	99	3,00000	99,0000	2,42835	98,7243	2,42835	98,7243	0,57165
15,00000	1	100	1,00000	100,0000	0,90861	99,6330	0,90861	99,6330	0,09139
< Infinity	0	100	0,00000	100,0000	0,36705	100,0000	0,36705	100,0000	-0,36705

2D гистограммы Подбор непрерывн... Описательная Статисти...

Нажмите F1 для помощи

C1.V1 Ропод1 - Microsoft Word CAPS NUM REC

пуск Смаль ДОДАТКИ - Миср... STATISTICA - W... Risunki Ропод1 - Мисрос... UK 8:33

## Додаток Г.8.2

Таблиця 1.Г.8.2

Експериментальні дані розмірних значень  
 частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  під час проведення ПФЕ 3<sup>3</sup> (Var9)  
 (зрізування основного масиву гички робочими органами ГМ)

	Var1	Var2	Var3	Var9
1	1,4	500	0,55	6
2	1,8	500	0,55	8
3	2,2	500	0,55	10
4	1,4	700	0,55	9
5	1,8	700	0,55	11
6	2,2	700	0,55	12
7	1,4	900	0,55	8
8	1,8	900	0,55	8,5
9	2,2	900	0,55	9
10	1,4	500	0,65	11,5
11	1,8	500	0,65	12,5
12	2,2	500	0,65	13
13	1,4	700	0,65	10,5
14	1,8	700	0,65	11
15	2,2	700	0,65	11,5
16	1,4	900	0,65	8,5
17	1,8	900	0,65	9
18	2,2	900	0,65	10
19	1,4	500	0,75	12
20	1,8	500	0,75	12,5
21	2,2	500	0,75	13
22	1,4	700	0,75	9
23	1,8	700	0,75	9,5
24	2,2	700	0,75	10
25	1,4	900	0,75	7
26	1,8	900	0,75	7,5
27	2,2	900	0,75	8

Var1 – швидкість руху ГМ,  $V_k$ , м/с;

Var2 – частота обертання ротора гичкоріза,  $n_x$ , об/хв;

Var3 – діаметр ротора гичкоріза,  $D_p$ , м;

## Експериментальні дані розмірних значень

частин подрібнених стебел гички  $X_k^{(e)}$  під час проведення ПФЕ з<sup>3</sup>(зрізування основного масиву гички робочими органами ГМ) (**Var10**)

	Var1	Var2	Var3	Var10
1	1,4	500	0,55	8
2	1,8	500	0,55	9,5
3	2,2	500	0,55	10
4	1,4	700	0,55	9,5
5	1,8	700	0,55	10
6	2,2	700	0,55	10,5
7	1,4	900	0,55	12
8	1,8	900	0,55	12,5
9	2,2	900	0,55	13
10	1,4	500	0,65	9,5
11	1,8	500	0,65	10
12	2,2	500	0,65	10,5
13	1,4	700	0,65	11
14	1,8	700	0,65	11,5
15	2,2	700	0,65	11
16	1,4	900	0,65	12,5
17	1,8	900	0,65	13
18	2,2	900	0,65	13,5
19	1,4	500	0,75	11
20	1,8	500	0,75	11,5
21	2,2	500	0,75	12
22	1,4	700	0,75	13
23	1,8	700	0,75	13,5
24	2,2	700	0,75	14
25	1,4	900	0,75	15
26	1,8	900	0,75	15,5
27	2,2	900	0,75	16

Var1 – швидкість руху ГМ,  $V_k$ , м/с;Var2 – частота обертання ротора гичкоріза,  $n_x$ , об/хв;Var3 – діаметр ротора гичкоріза,  $D_p$ , м;

## Додаток Г.9.2

Показники статистичної обробки експериментальних даних  $X_k^{(e)}$  (Var9)

під час зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза

STAT

4 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6  
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053

N	Корреляция	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Коэфф. эпасти-	Значимость
регрессии	Y с X	линеаризов.	коэф. регр.		чности	коэф. регрессии
Зависимая переменная						
Y		-81.055282592773				
Независимые переменные						
1	-0.113	+5.742316246033	+10.94281	+0.52	+1.42	незначим
2	-0.281	+0.079840272665	+0.03600	+2.22	+5.76	значим
3	+0.105	+182.642532348633	+108.91708	+1.68	+12.16	незначим
1*1	-0.114	-0.097449079156	+0.15227	-0.64	-0.15	незначим
1*2	-0.138	+0.002751793480	+0.00738	+0.37	+0.51	незначим
1*3	-0.106	-11.556222915649	+15.48059	-0.75	-1.78	незначим
2*2	-0.303	-0.000028214476	+0.00002	-1.36	-1.50	незначим
2*3	-0.236	-0.075382955372	+0.03273	-2.30	-3.52	значим
3*3	+0.093	-81.150039672852	+82.82211	-0.98	-3.54	незначим

Имя файла SMAL .STA

Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	49.7763	9	5.531
Остаток	67.7222 0	### 17	3.984
Итого	117.4985	26	

Коэффициент множественной детерминации D= 0.424  
Коэффициент множественной корреляции R= 0.651  
Стандартное отклонение оценки s= 1.996  
F критерий Фишера = 1.388  
Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.72891

Имя файла SMAL .STA

Нажмите любую клавишу



## Додаток Г.10.2

Показники статистичної обробки експериментальних даних  $Y_k^{(e)}$  (Var10)  
під час зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза

STAT						
4 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6						
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053						
N	Корре-	Коэффициент	Статистич.	t-	Коэфф.	Значимость
ре-	ляции	регрессии	ошибка	альфа	эласти-	коэфф.
рен.	Y с X	линеаризов.	коэф. регр.		чности	регрессии
Зависимая переменная						
Y	+13.434309959412					
Независимые переменные						
1	+0.093	+3.152697801590	+2.60973	+1.21	+0.64	незначим
2	+0.723	-0.008768847212	+0.00858	-1.02	-0.52	незначим
3	+0.655	-32.080791473389	+25.97545	-1.24	-1.75	незначим
1×1	+0.073	-0.101377770305	+0.03632	-2.79	-0.13	значим
1×2	+0.159	+0.000955263036	+0.00176	+0.54	+0.15	незначим
1×3	+0.154	-3.600933074951	+3.69194	-0.98	-0.45	незначим
2×2	+0.725	+0.000008395899	+0.00000	+1.69	+0.37	незначим
2×3	+0.922	+0.004795329645	+0.00781	+0.61	+0.18	незначим
3×3	+0.662	+38.682025909424	+19.75211	+1.96	+1.39	незначим
Имя файла SMAL .STA						
Нажмите любую клавишу						

STAT			
Таблица анализа дисперсии			
Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	95.1482	9	10.572
Остаток	3.8518 0	#### 17	0.227
Итого	99.0000	26	
Коэффициент множественной детерминации D= 0.961			
Коэффициент множественной корреляции R= 0.980			
Стандартное отклонение оценки s= 0.476			
F критерий Фишера = 46.660			
Коэффициент D значим с вероятностью P = 1.00000			
Имя файла SMAL .STA			
Нажмите любую клавишу			

## Додаток Г.10.2

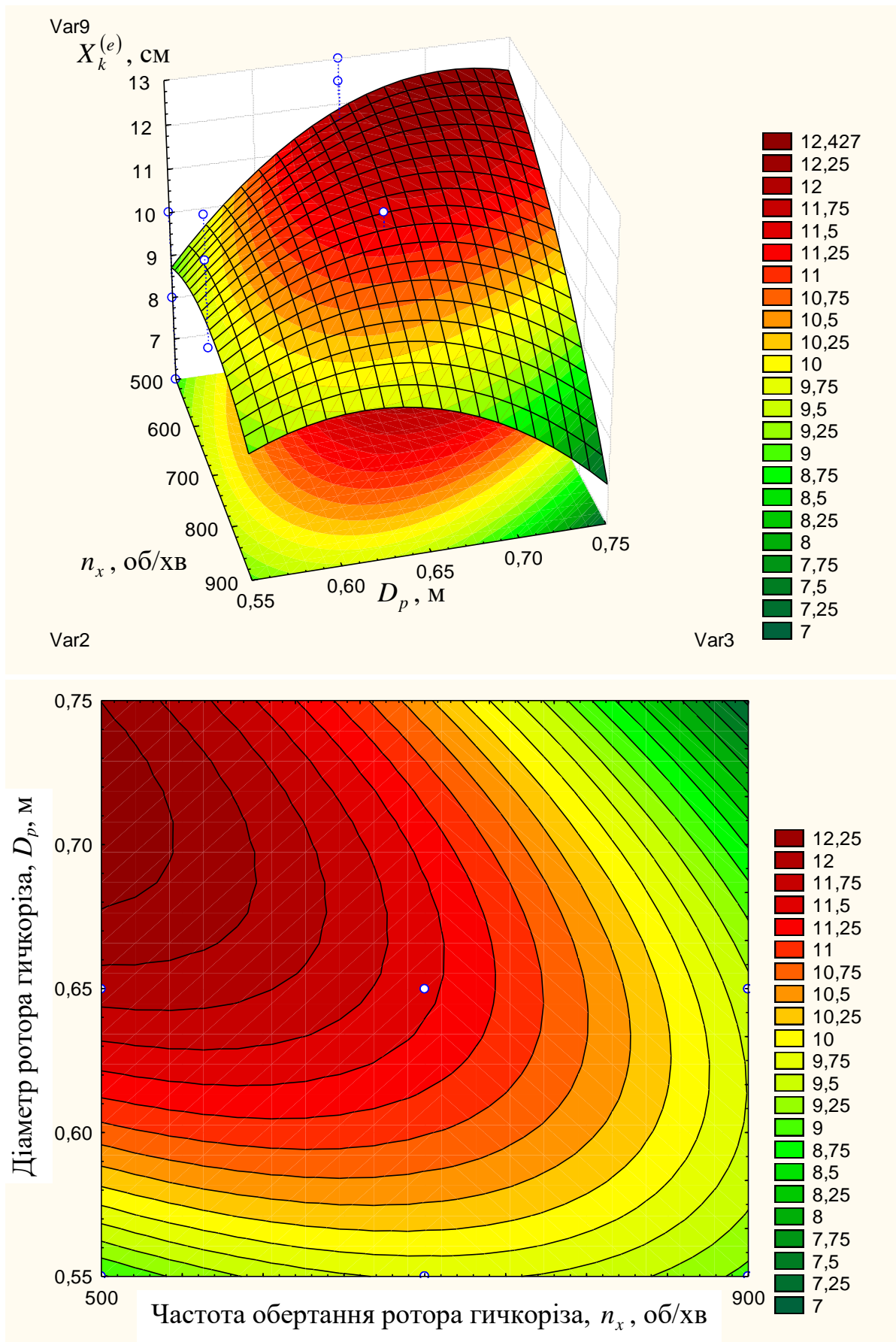


Рис. 1.Г.10.2. Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності

$$X_k^{(e)} = f(n_x; D_p)$$

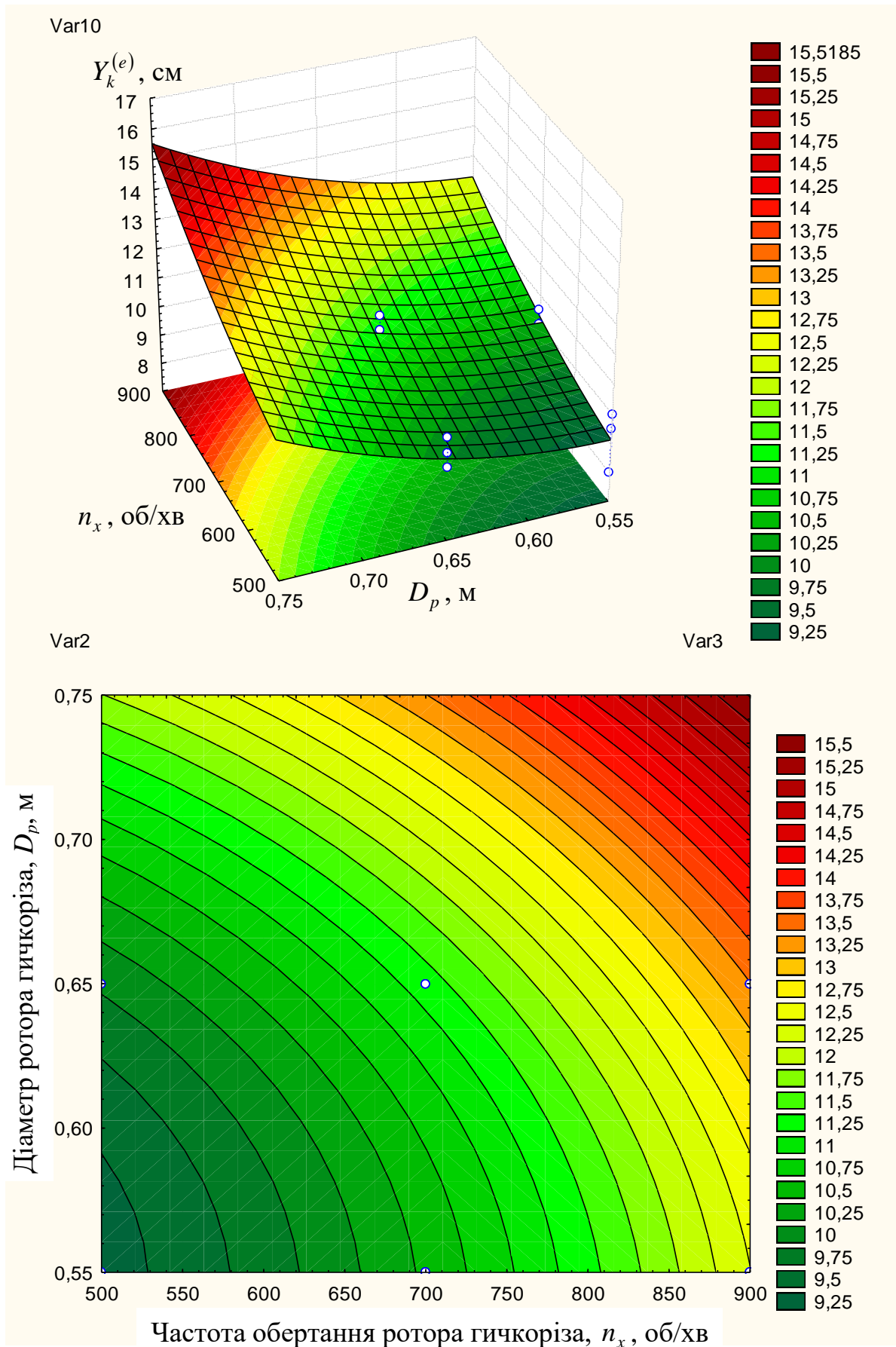


Рис. 2.Г.10.2. Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності

$$Y_k^{(e)} = f(n_x; D_p)$$

## Додаток Г.11.2

Експериментальні дані зрізування основного масиву гички  
робочими органами ГМ під час проведення ПФЕ 3<sup>3</sup>

	1 Var1	2 Var2	3 Var3	4 Var4	5 Var5	6 Var6	7 Var7	8 Var8	9 Var9	10 Var10
1	1,4	500	0,55	0,4	0,4	3	3	0		
2	1,8	500	0,55	0,6	0,7	4	3,5	0		
3	2,2	500	0,55	0,8	1	5	6	0		
4	1,4	700	0,55	0,5	0,5	4	4	0		
5	1,8	700	0,55	0,7	0,8	5	5,5	1		
6	2,2	700	0,55	1	1,2	6	7	1,5		
7	1,4	900	0,55	0,7	0,7	5	5	1		
8	1,8	900	0,55	1	1,1	6	6,5	2,3		
9	2,2	900	0,55	1,3	1,5	7	8	3,1		
10	1,4	500	0,65	0,5	0,5	6	6	0,5		
11	1,8	500	0,65	0,7	0,8	7	7,5	0,7		
12	2,2	500	0,65	0,9	1,1	8	9	0,9		
13	1,4	700	0,65	0,8	0,8	7	7	0,7		
14	1,8	700	0,65	1	1,1	8	8,5	1,1		
15	2,2	700	0,65	1,2	1,4	10	11	1,6		
16	1,4	900	0,65	1,1	1,1	8	8	2,9		
17	1,8	900	0,65	1,5	1,6	10	10,5	4		
18	2,2	900	0,65	1,7	1,9	14	15	6,8		
19	1,4	500	0,75	0,9	0,9	10	10	0,8		
20	1,8	500	0,75	1,1	1,2	11	11,5	1,1		
21	2,2	500	0,75	1,3	1,5	13	14	1,4		
22	1,4	700	0,75	1,2	1,2	12	12	1,2		
23	1,8	700	0,75	1,3	1,4	14	14,5	1,5		
24	2,2	700	0,75	1,5	1,7	16	17	1,8		
25	1,4	900	0,75	1,6	1,6	15	15	5		
26	1,8	900	0,75	1,8	1,9	17	17,5	7,7		
27	2,2	900	0,75	2	2,2	20	21	10,3		
28										

Var1 – швидкість руху ГМ,  $V_k$ , м/с;

Var2 – частота обертання ротора гичкоріза,  $n_x$ , об/хв;

Var3 – діаметр ротора гичкоріза,  $D_p$ , м;

Var4; Var5 – відповідно, кількість вибитих коренеплодів з ґрунту ротором гичкоріза,  $K_{Bp}$ ; кількість вибитих коренеплодів з ґрунту ГМ загалом,  $K_B$ , (%);

Var6, Var7, Var8 – відповідно, кількість пошкоджених коренеплодів ротором гичкоріза  $K_{Гр}$ , кількість пошкоджених коренеплодів ГМ загалом,  $K_{Г}$ ; кількість сильнопошкоджених коренеплодів ГМ загалом,  $K_{СП}$ , (%)

## Додаток Г.12.3

Показники статистичної обробки експериментальних даних кількості вибитих коренеплодів  $K_{Br}$  під час зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза

STAT

4 - кол-во переменных; вид зависимости Логарифмическая  $Y=A0+A(i)*ln(X(i))...4$   
 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053

N пе-рем.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляция Y с X(i)	Коэффициент регрессии линейаризов.	Статистич. ошибка коэф. регр.	t-альфа	Значимость коэф. регрессии
Зависимая переменная Y	+1.078	+0.415		-5.236341			
Независимые переменные X(1)	+0.571	+0.188	+0.431827	+0.952047	+0.117906	+8.07	значим
X(2)	+6.523	+0.245	+0.601961	+1.018997	+0.090538	+11.25	значим
X(3)	-0.439	+0.129	+0.620816	+1.996537	+0.172011	+11.61	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения  
 Y -5.23634099960  
 X(1) +0.95204675198  
 X(2) +1.01899659634  
 X(3) +1.99653685093

Имя файла SMALB .STA  
 Нажмите любую клавишу

STAT

Коэффициент множественной детерминации D= 0.934  
 Коэффициент множественной корреляции R= 0.967  
 Стандартное отклонение оценки s= 0.113  
 F критерий Фишера = 108.869  
 Коэффициент D значим с вероятностью P = 1.00000

Имя файла SMALB .STA  
 Нажмите любую клавишу

## Додаток Г.13.3

Показники статистичної обробки експериментальних даних  
кількості вибитих коренеплодів  $K_B$  під час збирання гички ГМ загалом

4 - кол-во переменных; вид зависимости Логарифмическая  $Y=A0+A(i)*\ln(X(i))...4$   
Уровень вероятности  $P=0.95$  t-альфа крит.= 2.053

Не- рем.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии линеаризов.	Статистич. ошибка коэф. регр.	t-альфа	Значимость коэф. регрессии
Зависимая переменная Y	+1.178	+0.463		-5.389087			
Независимые переменные							
X(1)	+0.571	+0.188	+0.578210	+1.419914	+0.117481	+12.09	значим
X(2)	+6.523	+0.245	+0.540423	+1.019014	+0.090212	+11.30	значим
X(3)	-0.439	+0.129	+0.566561	+2.029535	+0.171391	+11.84	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения  
Y -5.38908672333  
X(1) +1.41991388798  
X(2) +1.01901447773  
X(3) +2.02953481674

Имя файла SMALB .STA  
Нажмите любую клавишу

Коэффициент множественной детерминации  $D=0.947$   
Коэффициент множественной корреляции  $R=0.973$   
Стандартное отклонение оценки  $s=0.113$   
F критерий Фишера = 137.968  
Коэффициент D значим с вероятностью  $P=1.000000$

Имя файла SMALB .STA  
Нажмите любую клавишу

## Додаток Г.14.3

Показники статистичної обробки експериментальних даних  
кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{гр}$  під час зрізування основного масиву  
гички ножами роторного гичкоріза

STAT

4 - кол-во переменных; вид зависимости Логарифмическая  $Y=A0+A(i)*ln(X(i))...4$   
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053

Име- рем.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии линеаризов.	Статистич. ошибка коэф.регр.	t-альфа	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная Y	+9.296	+4.496		-24.340065			
Независимые переменные							
X(1)	+0.571	+0.188	+0.295602	+7.053866	+1.285601	+5.49	значим
X(2)	+6.523	+0.245	+0.356155	+6.525039	+0.987196	+6.61	значим
X(3)	-0.439	+0.129	+0.847965	+29.518093	+1.875544	+15.74	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения  
Y -24.34006500244  
X(1) +7.05386590958  
X(2) +6.52503919601  
X(3) +29.51809310913

Имя файла SMALB .STA  
Нажмите любую клавишу

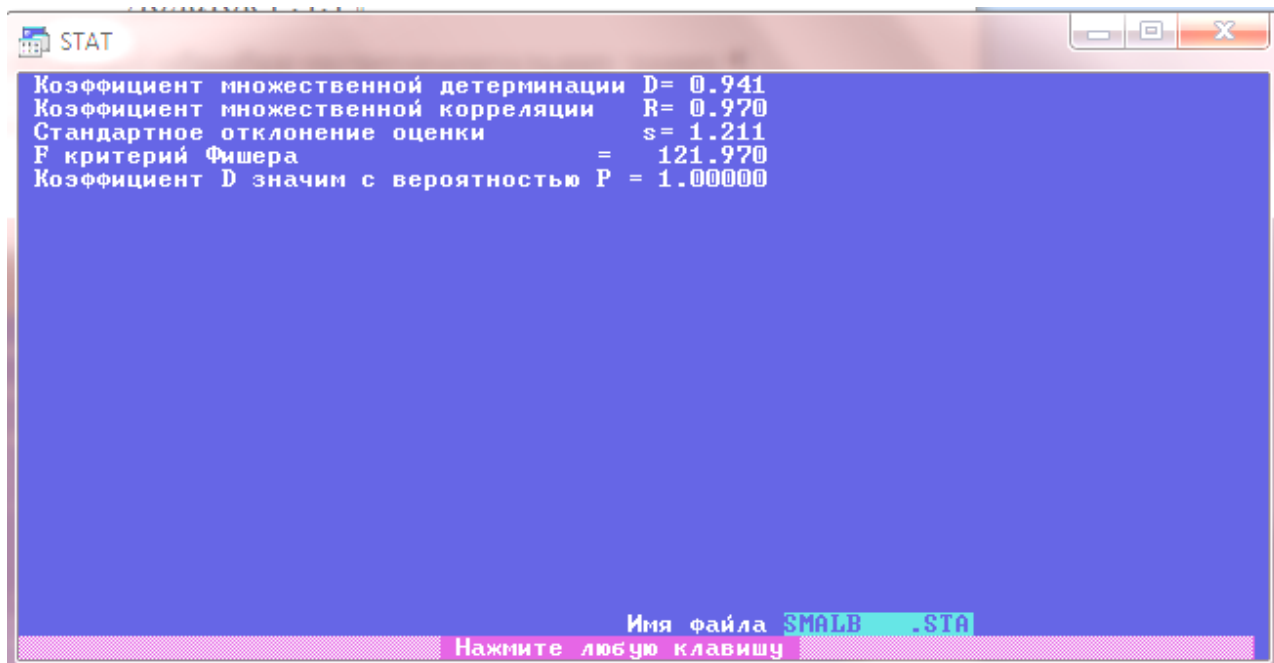
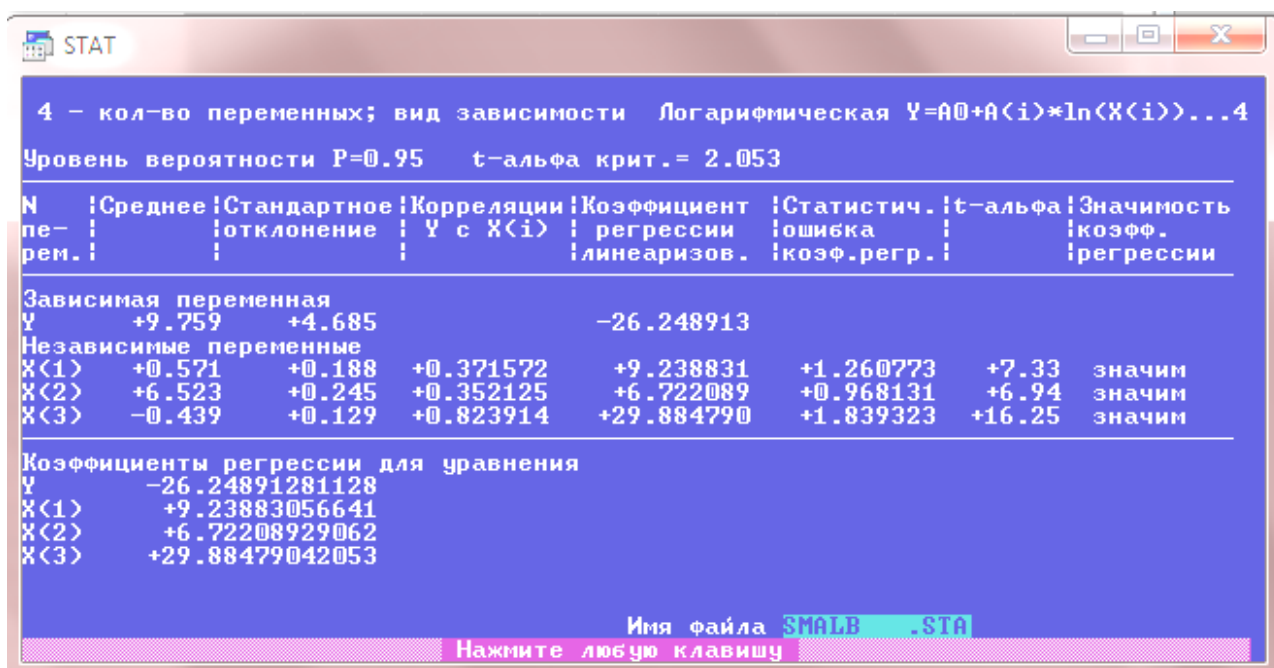
STAT

Коэффициент множественной детерминации D= 0.933  
Коэффициент множественной корреляции R= 0.966  
Стандартное отклонение оценки s= 1.235  
F критерий Фишера = 107.168  
Коэффициент D значим с вероятностью P = 1.000000

Имя файла SMALB .STA  
Нажмите любую клавишу

## Додаток Г.15.3

Показники статистичної обробки експериментальних даних  
кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{II}$  під час збирання гички ГМ загалом





## Додаток Г.16.3

Показники статистичної обробки експериментальних даних

кількості сильнопошкоджених коренеплодів  $K_{СП}$ 

під час збирання гички ГМ загалом

STAT

4 - кол-во переменных; вид зависимости Логарифмическая  $Y=A0+A(i)*ln(X(i))...4$   
 Уровень вероятности  $P=0.95$  t-альфа крит. = 2.053

N	Среднее	Стандартное	Корреляция	Коэффициент	Статистич.	t-альфа	Значимость
пере-		отклонение	Y с X(i)	регрессии	ошибка		коэфф.
мен.				линеаризов.	коэф.регр.		регрессии
Зависимая переменная							
Y	+2.156	+2.553		-40.934105			
Независимые переменные							
X(1)	+0.571	+0.188	+0.266957	+3.617990	+1.657337	+2.18	значим
X(2)	+6.523	+0.245	+0.654878	+6.814418	+1.272648	+5.35	значим
X(3)	-0.439	+0.129	+0.394802	+7.804240	+2.417864	+3.23	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения  
 Y -40.93410491943  
 X(1) +3.61798977852  
 X(2) +6.81441831589  
 X(3) +7.80424022675

Имя файла SMALB .STA  
 Нажмите любую клавишу

STAT

Коэффициент множественной детерминации  $D = 0.656$   
 Коэффициент множественной корреляции  $R = 0.810$   
 Стандартное отклонение оценки  $s = 1.592$   
 F критерий Фишера = 14.619  
 Коэффициент D значим с вероятностью  $P = 0.99993$

Имя файла SMALB .STA  
 Нажмите любую клавишу

## Додаток Г.17.3

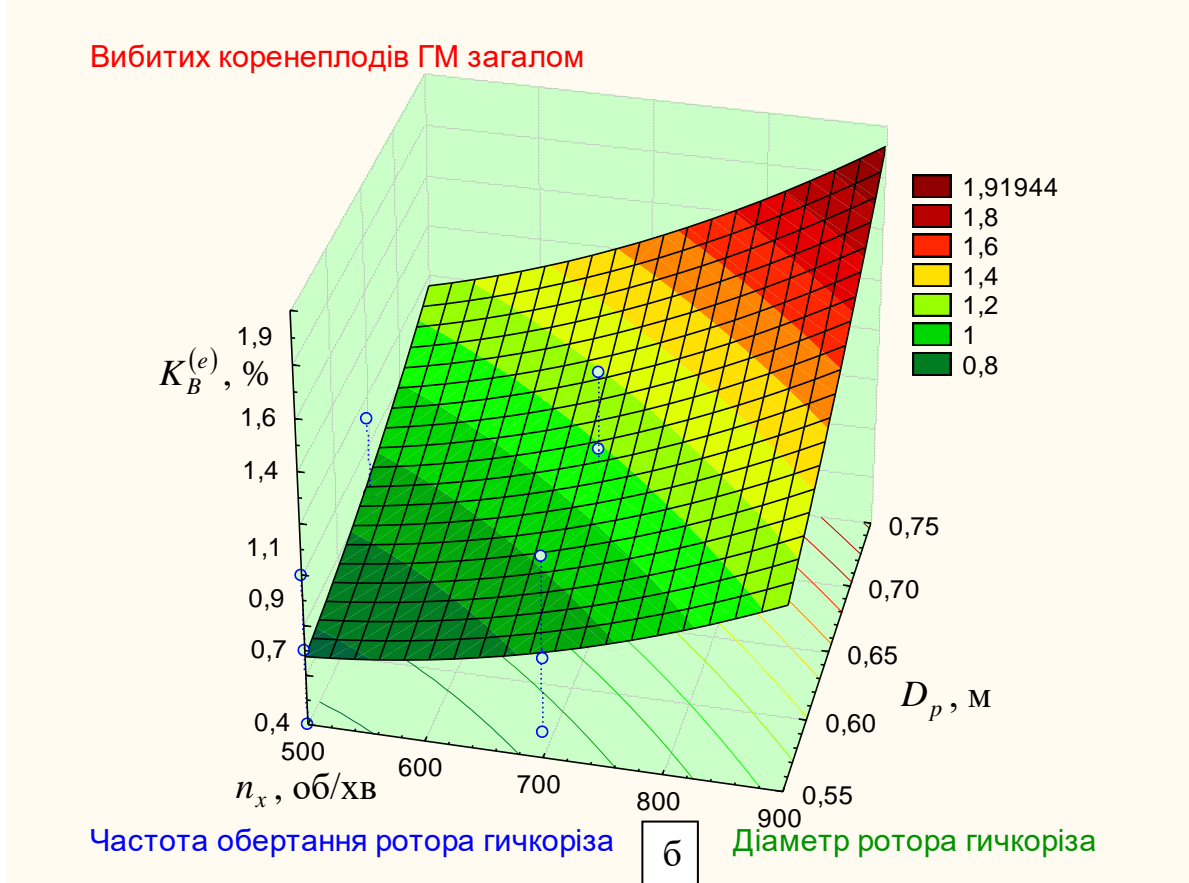
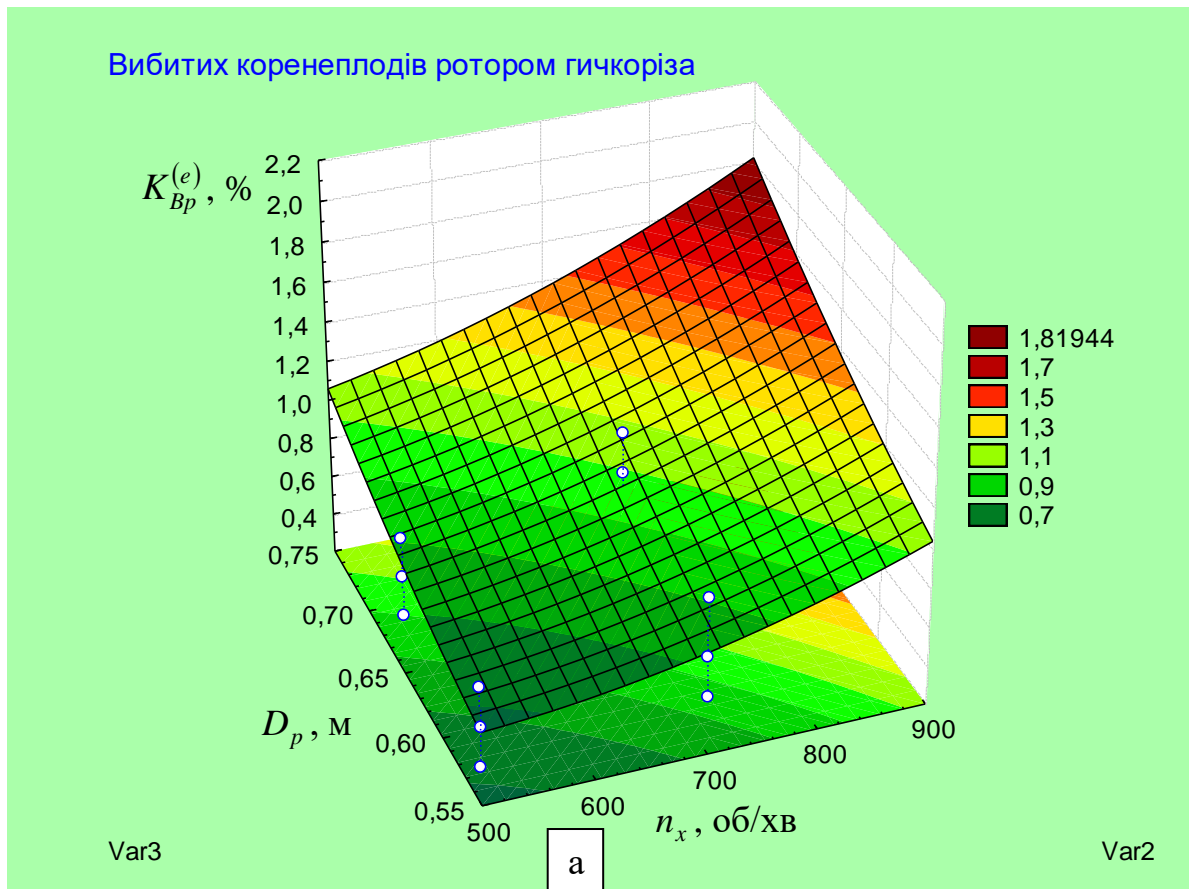


Рис. 1.Г.17.2. Поверхня відгуку: а –  $K_{Bp}^{(e)} = f(n_x; D_p)$ ; б –  $K_B^{(e)} = f(n_x; D_p)$

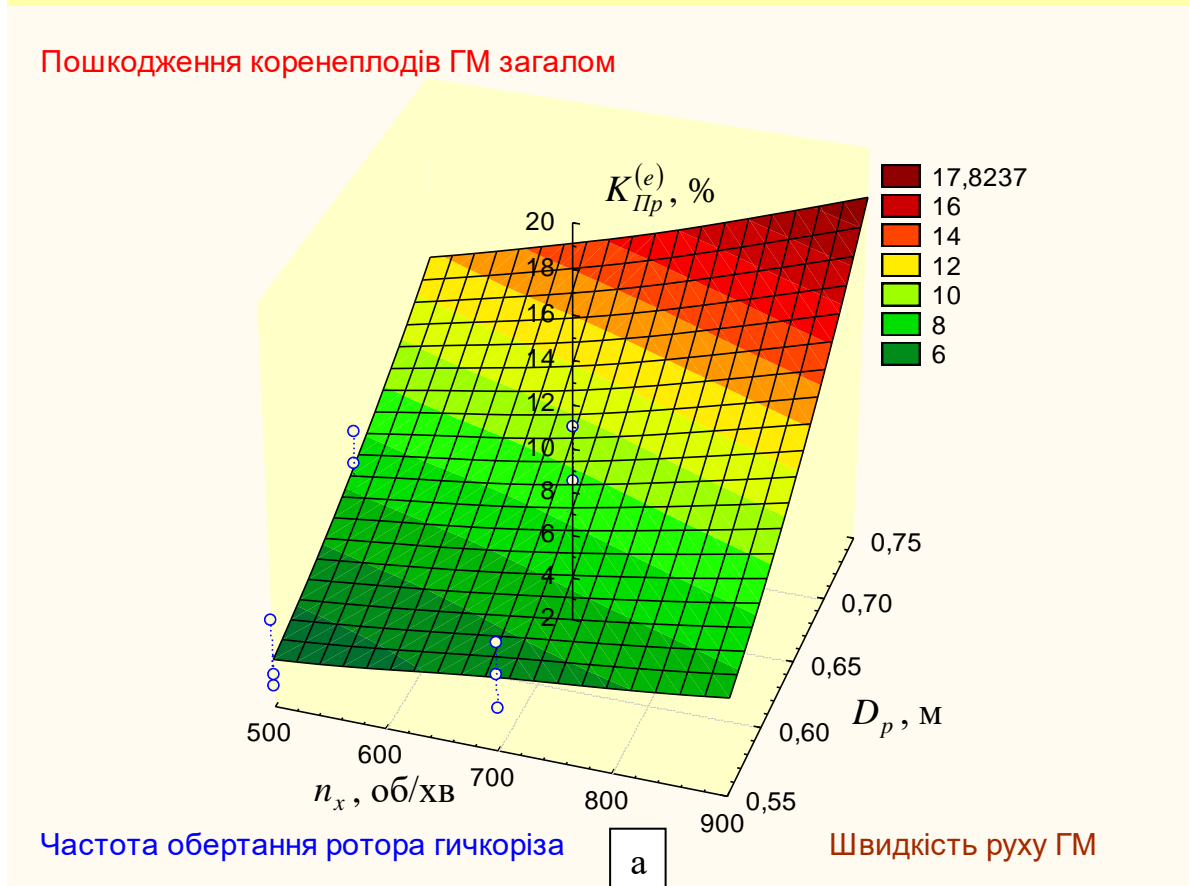
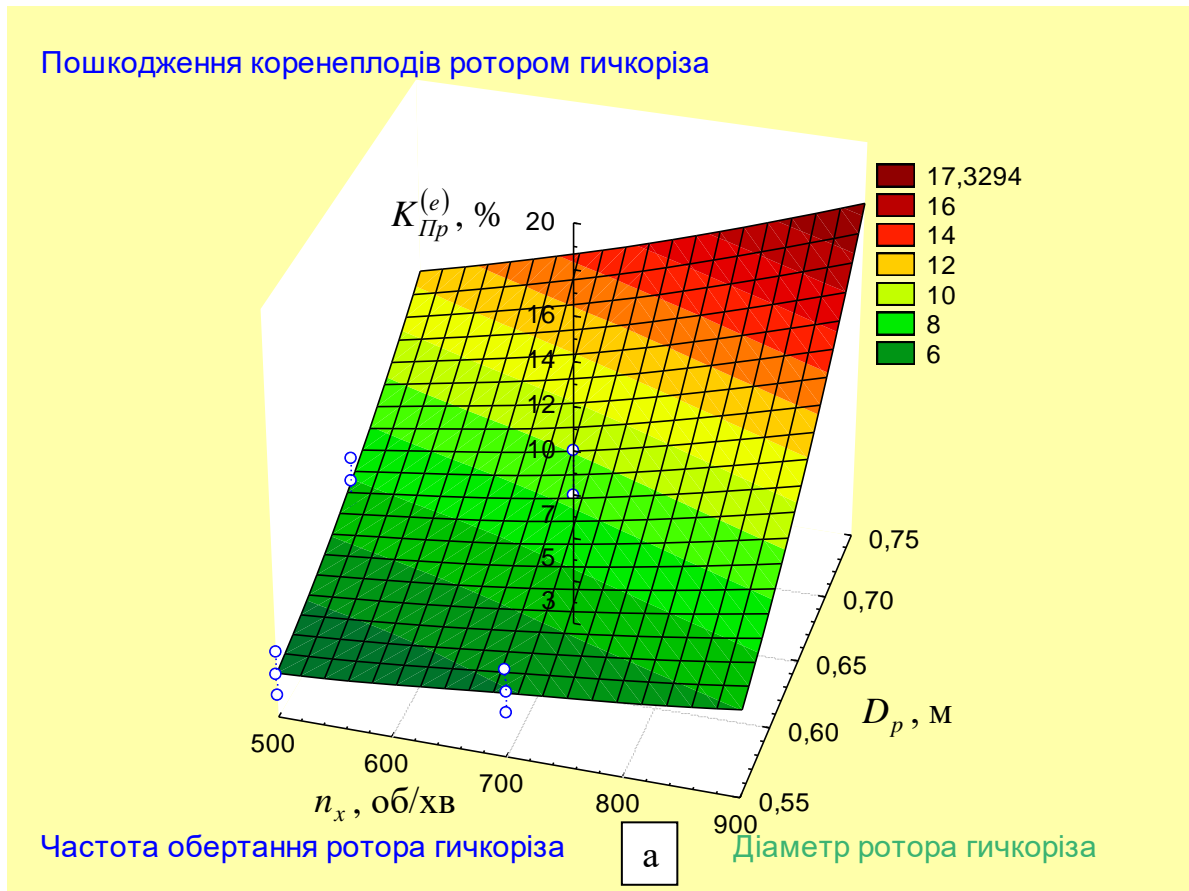


Рис. 2.Г.17.3. Поверхня відгуку: а –  $K_{Pr}^{(e)} = f(n_x; D_p)$ ; б –  $K_B^{(e)} = f(n_x; D_p)$

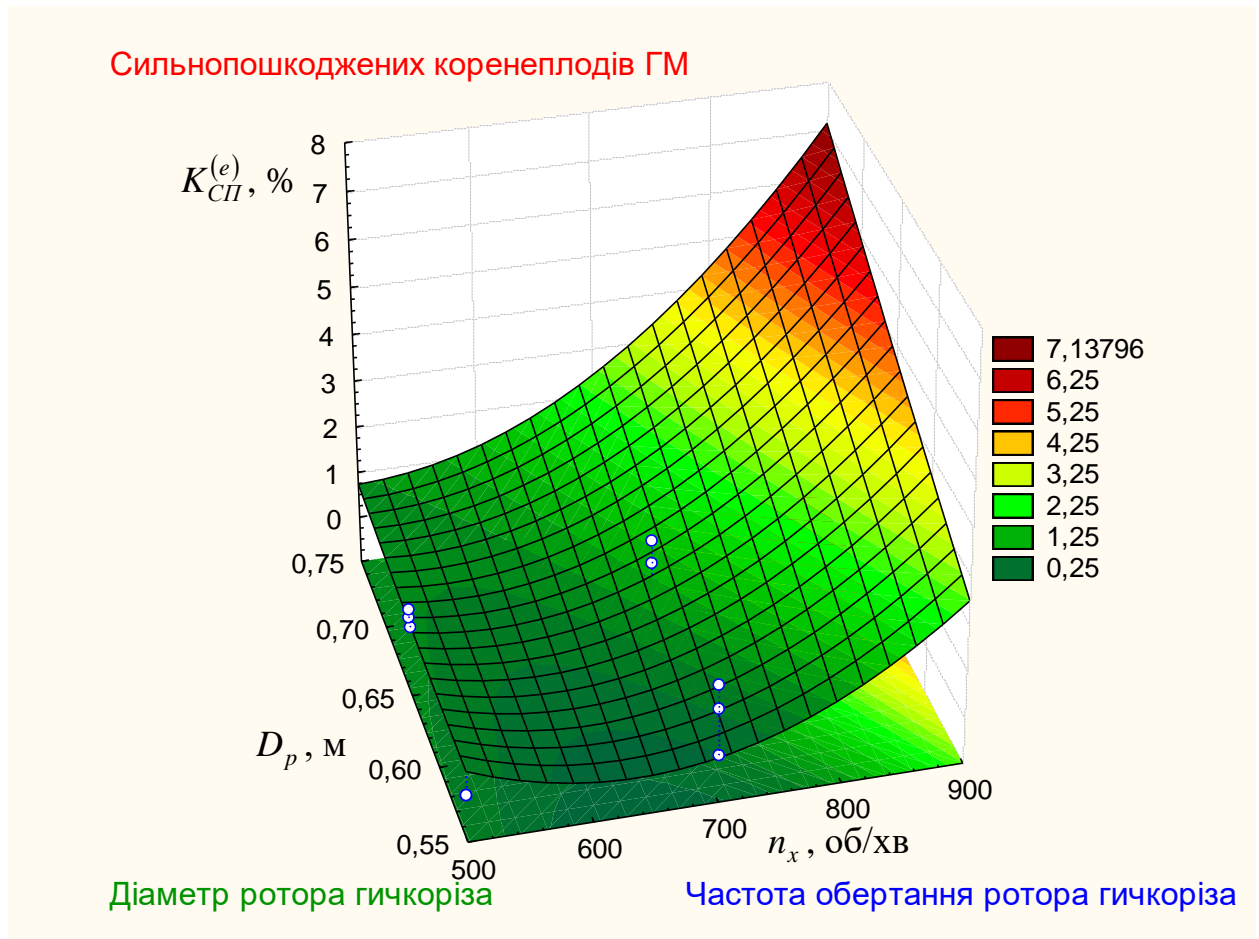


Рис. 3.Г.17.3. Поверхня відгуку  $K_{СП}^{(e)} = f(n_x; D_p)$



UA 144433 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, особливо до пристроїв для зрізування гички коренеплодів.

Відома гичкозрізувальна машина містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплені дугоподібним кожухом [деклараційний патент України № 30356 А, МПК А01D 23/02. Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6].

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткове розкидання зрізаної та подрібненої гички за задню частину ділильних дисків у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

Відома гичкозрізувальна машина, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплені дугоподібним кожухом, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташований між суміжними ділильними дисками (патент України на корисну модель № 108588, МПК А01D 23/02. Опубл. 25.07.216. Бюл. № 4).

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткові втрати зрізаної гички на етапі її переміщення до вхідного каналу у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

В основу корисної моделі поставлена задача усунення можливості розкидання зрізаної та подрібненої гички в межі рядка коренеплодів шляхом виконання гичкозрізувальної машини.

Поставлена задача вирішується тим, що гичкозрізувальна машина містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташований між суміжними ділильними дисками. На барабані вала між суміжними гичкозрізувальними ножами встановлені дугоподібні лопаті, які розміщені під кутом до поперечного перерізу барабана.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

Гичкозрізувальна машина зображена на фіг. 1 - вигляд збоку, на фіг. 2 - вигляд А на фіг. 1.

Гичкозрізувальна машина складається з рами 1, на якій послідовно встановлено опорні колеса 2, вал 3 з горизонтальною віссю обертання 4 та розташований спереду і над верхньою частиною вала дугоподібний кожух 5. Вал 3 встановлено в опорах 6, які змонтовано на рамі 1 та виконано у вигляді барабана 7, на якому закріплено гичкозрізувальні ножі 8 Г-подібної форми. Між гичкозрізувальними ножами 8 на барабані 7 та у міжрядді коренеплодів розташовано ділильні диски 9. На внутрішній частині дугоподібного кожуха 5 встановлено направляючі канали 10 для транспортування гички, які мають вхідний 11 та вихідний 12 отвори. За вихідним отвором 12 кожного направляючого каналу 10 встановлено фартух 13, причому вихідний отвір 12 кожного направляючого каналу 10 та фартуха 13 розташований між суміжними ділильними дисками 9. На барабані 7 між суміжними гичкозрізувальними ножами 8 встановлено дугоподібні лопаті 14, які розміщені під кутом до поперечного перерізу барабана 7. Вал 3 обертається з кутвою швидкістю, напрямком руху якої односторонній напрямку руху пристрою.

Гичкозрізувальна машина працює наступним чином.

Під час руху гичкозрізувальної машини вздовж рядків коренеплодів гичкозрізувальні ножі 8 за рахунок обертання вала 3 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії руху до вхідного отвору 11 направляючого каналу 10. За рахунок створеного обертанням вала 3 або гичкозрізувальних ножів 7 повітряного потоку та додаткового повітряного потоку, який створюється дугоподібними лопатями 14 зрізана та подрібнена гичка по направляючому каналу 10 транспортується до його вихідного отвору 12, а далі до фартуха 13, де гичка розкидається в міжрядді коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

Таким чином, обертання дугоподібних лопатей створює додатковий направлений повітряний потік, за рахунок якого знижуються втрати зрізаної гички або її розкидання у зону рядка коренеплодів, що підвищує технологічні можливості коренезбиральної машини.