

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**В.Б.Онищенко, В.М.Барановський, Г.Б.Цьонь,
І.М. Сторожук, В.Р.Паньків**

Методологічні основи розробки гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНИХ
МОДУЛІВ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН**

МОНОГРАФІЯ

Київ – 2021

УДК 631.356.22

Онищенко В.Б.

Методологічні основи розробки гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин: Монографія / В.Б.Онищенко, В.М.Барановський, Г.Б.Цьонь, В.Р.Паньків, І.М.Сторожук,. – Київ: Ред.-вид. відділ НУБіП України, 2021. – 267 с.

Рецензенти:

Мироненко В.Г., д.т.н., професор

Голуб Г.А., д.т.н., професор

Дідух В.Ф., д.т.н., професор

В монографії представлені відомості про технології та способи збирання гички коренеплодів, аналіз конструкцій і теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів. Представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень процесу роботи гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин.

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

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради

НУБіП України

(протокол №3 від 27жовтня 2021р.)

© В.Б.Онищенко, В.М.Барановський, Г.Б.Цьонь, В.Р.Паньків, І.М.Сторожук

2021

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РОБОЧОГО ОРГАНУ	8
1.1. Агробіологічні характеристики, технології та способи збирання гички коренеплодів	8
1.2. Аналіз конструкцій і теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів	26
1.3. Обґрунтування вибору схеми гичкозбирального модуля	51
РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ	60
2.1. Аналіз технологічної подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра	60
2.2. Обґрунтування теоретичної розрахункової продуктивності гичкозбирального модуля	70
2.3. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів шнекового конвеєра гичкозбирального модуля	92
2.4. Дослідження процесу розкидання гички шнековим конвеєром	101
2.5. Кінематичний аналіз переміщення ножа обрізника головок коренеплодів	116
2.6. Висновки до розділу.....	128
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	131
3.1. Програма, об'єкт і предмет дослідження робочих органів гичкозбирального модуля	131
3.2. Методика проведення експериментальних досліджень подачі рослинних компонентів, продуктивності гвинтового конвеєра та ширини утвореного валка гички	136
3.3. Методика проведення порівняльних експериментальних досліджень гичкозбирального модуля	152

3.4. Методика проведення експериментальних досліджень з визначення довжини різання головок коренеплодів	157
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ	
4.1. Експериментальні дослідження секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра	165
4.2. Результати експериментальних досліджень продуктивності роботи гвинтового конвеєра	175
4.3. Експериментальні дослідження ширини утвореного валка	181
4.4. Експериментальні дослідження процесу різання головок коренеплодів з використанням маятникового копра	188
4.5. Експериментальні дослідження вдосконаленого обрізника залишків гички та результати порівняльних досліджень гичкозбирального модуля	194
4.6. Висновки до розділу	210
РОЗДІЛ 5. ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ ГИЧКИ КОРЕНЕПЛОДІВ	
5.1. Перспективні напрямки вдосконалення робочих органів гичкозбиральних модулів	213
5.2. Аналіз технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів	218
5.3. Результати експериментальних досліджень технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів	224
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	232
ДОДАТКИ	248

ВСТУП

Сталий розвиток світового агропромислового комплексу та подолання кризової ситуації аграрного сектору України не можливе без розробки принципово нових прогресивних підходів до створення й використання ефективних технічних засобів механізованого збирання сільськогосподарської продукції, у тому числі коренеплодів цукрових, кормових буряків і цикорію кореневого, які є важливими технічними культурами сільськогосподарського виробництва.

Механізоване збирання коренеплодів, є однією з найбільш трудомістких і енерговитратних технологічних операцій в загальному контексті виробництва сільськогосподарських культур і переробки сировини не тільки в Україні, але й у високо розвинутих державах світової спільноти.

Цукрові буряки є першоджерелом для одержання сировини з якої виробляють стратегічний харчовий продукт цукор і інші важливі побічні продукти її переробки.

Кормові буряки в кормах осінньо-зимового періоду є основними соковитими кормами, які мають велику кількість поживних вуглеводистих речовин.

Цикорій використовують у фармацевтичній, кавовій, спиртовій та кондитерській галузях, а його цінність визначається вмістом у коренеплодах різних видів цукринців – інуліну, фруктози, глюкозиду інтибіну, корисних для організму та рідкісних в натуральних продуктах кислот, вітамінів, мікроелементів з включенням заліза, міді, цинку, хрому.

Крім того гичка коренеплодів є одним із джерел повернення поживних речовин після її розкидання на зібране поле та заробляння в ґрунт, а коренеплоди є продуктивними відновлювальними джерелами енергії у вигляді сировини для виробництва біоетанолу.

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

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. 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. Введення коренеплодів у раціон дійних корів збільшує молочну продуктивність на 10,3%, засвоєння органічних речовин – на 5...8%, використання азоту – на 3...5%. У цілому, кормові буряки сприяють збільшенню поїдання кормів на 8...11 %.

Втрати сировинної маси під час збирання обумовлені, як втратами коренеплодів (більше 1,5 %), так і незадовільними показниками якості роботи гичкозбиральних модулів, що не відповідають агротехнічним вимогам: забрудненість залишками гички становить 3...5 %; відходи в гичку маси обрізаних головок – 7...9 %; пошкодження коренеплодів за рахунок сколів – до 15 %, із них сильнопошкоджених – більше 6...8 %.

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

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу України для отримання в необхідному асортименті натуральних харчових продуктів зростає потреба у збільшенні рослинної сировини, що дасть змогу урізноманітнити асортимент продуктів харчування, а також підвищити захисні механізми та довголіття організму людини.

Цикорій коренеплідний – цінна продовольча і технічна культура, що має цілющі властивості.

Поряд з вирощуванням інших технічних високорентабельних сільськогосподарських культур цикорій є економічно вигідною культурою, сировина якої використовується в харчовій, фармакологічній промисловості та інших галузях виробництва.

Продукти його переробки входять до складу ряду харчових продуктів, у тому числі і для дієтичного харчування. У коренеплодах цикорію міститься 16–24 % інуліну, який сприяє виведенню з організму радіонуклідів та токсинів, 2,5 % фруктового цукру, 1,2 % білків, 0,6 % жирів, акролеїн, фурфурол, валеріанова кислота, інтибін, ефірна олія – цикоріоль, вітаміни А, В1, В2, В12, РР та більше 30 мінеральних елементів.

Інулін, що міститься в цикорію, насамперед, впливає позитивно на гастро-інтенстинальну активність, сприяє біфідо-бактеріальній активності, перешкоджає росту бактерій *Salmonella* і оптимізує вміст холестерину в крові. Тому він використовується у фармакології для виготовлення понад 40 лікарських препаратів, що застосовуються при лікуванні хвороб шлунка, печінки, нирок, серця, нервової системи.

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

У зв'язку з цим, розроблення удосконалених технологічних процесів і робочих органів для збирання гички коренеплодів і дослідження впливу їх конструктивно-кінематичних параметрів з метою поліпшення показників якості роботи гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин є актуальною народногосподарською задачею.

Монографію підготували: вступ, розділ 1 (п. 1.1, 1.3), розділ 2 (п. 2.1, 2.2, 2.3), розділ 3 (п. 3.1, 3.2, 3.3), розділ 4 (п. 4.1, 4.2, 4.3), розділ 5 (п. 5.2, 5.3) – к.т.н., доцент В.Б.Онищенко; вступ, розділ 1 (п. 1.1, 1.2, 1.3), розділ 2 (п. 2.1, 2.3), розділ 3 (п. 3.1, 3.2, 3.3), розділ 4 (п. 4.1, 4.2, 4.4), розділ 5 (п. 5.2,) – д.т.н., професор В.М.Барановський; розділ 1 (п. 1.2,1.3), розділ 2 (п. 2.1, 2.5), розділ 3 (п. 3.1, 3.3), розділ 4 (п. 4.5), розділ 5 (п. 5.2) – к.т.н., ст. викладач Г.Б.Цьонь; розділ 1(п. 1.1, 1.3), розділ 3 (п. 3.1, 3.2, 3.3), розділ 4 (п. 4.3, 4.5)– к.т.н., асист. В.Р.Паньків; розділ 1(п. 1.1, 1.2, 1.3), розділ 2 (п. 2.2, 2.4), розділ 3 (п. 3.1), розділ 4 (п. 4.5), розділ 5 (п. 5.1, 5.2) – І.М.Сторожук.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РОБОЧОГО ОРГАНУ

1.1. Агробіологічні характеристики, технології та способи збирання гички коренеплодів

Завдання підвищення технічного рівня коренезбиральних машин, основними критеріями оцінки якого є показники якості роботи є актуальним у плані подальшого розвитку вітчизняної техніки для збирання різнопланових культур і сортів коренеплодів.

Підвищення показників агротехнічної ефективності та технологічної надійності коренезбиральних машин при їх роботі за мінливості зміни фізико-механічних властивостей ґрунту, коренеплодів і гички, параметрів насаджень посівних площ, їх забрудненості тощо, у тому числі при роботі в екстремальних умовах (при вологості ґрунту 22...26 %, твердості ґрунту більше 3,5 МПа, врожайності коренеплодів у межах 600...800 ц/га, можливе за умови урахування реологічних характеристик середовища та властивостей гички, з якими безпосередньо взаємодіють робочі органи гичкозбирального модуля.

Агробіологічні характеристики коренеплодів, як безпосередньо самих коренів, так і гички, необхідно враховувати при розрахунку конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів робочих органів гичкозбиральних модулів.

Конструктивна та технологічна недосконалість робочих органів гичкозбиральних модулів, недостатня обґрунтованість вибору їх конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи робочих органів у значній мірі знижує техніко-економічні показники вітчизняних коренезбиральних машин, у той час як більшість зарубіжних самохідних бункерних машин не пристосована до складних умов збирання коренеплодів на полях України.

Технологічний процес збирання гички коренеплодів регламентується в основному агротехнічними властивостями врожаю, конструкцією робочих органів і компоновальних схем гичкозбиральних машин і пристроїв. Перший етап розробки техніки для збирання коренеплодів буряків повинен базуватися на систематизації агрофізичних характеристиках коренеплодів і гички, варіювання і мінливість яких має суттєвий вплив на конструктивні особливості робочих органів.

Вивченням фізико-механічних властивостей рослин кормових буряків займалися багато вчених, результати досліджень яких подані у численній літературі.

При виборі і проектуванні основних параметрів робочих органів для збирання гички коренеплодів вихідними даними є розмірно-масова характеристика коренеплодів і гички, які змінюються залежно від сорту та ґрунтово-кліматичних умов вирощування. Тому аналіз результатів досліджень з вивчення фізико-механічних властивостей коренеплодів і, особливо, гички проводили з врахуванням сортових якостей та ґрунтово-кліматичних умов їх вирощування.

Ефективність зрізування гички під час збирання її основної маси та обрізування залишків гички з головок коренеплодів багато в чому залежить і визначається довжиною і діаметром коренеплодів, масою коренеплодів, розташуванням коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту, формою розетки гички, розмірних параметрів стебленосної маси гички тощо. При цьому ці перелічені ознаки залежать від сорту коренеплодів, агротехніки вирощування, природно-кліматичних умов вирощування тощо.

У результаті обробки матеріалів досліджень основні показники районованих сортів кормових буряків наведені в додатку Б.1.1.

Фізико-механічні характеристики коренеплодів як елемента системи що розглядається, слід враховувати у вигляді сукупності різних механічних властивостей і параметрів, які визначають набір можливих механічних дій на коренеплід і гичку, їх допустимий рівень і діапазон геометричних та

кінематичних параметрів робочих органів. Важливими механічними характеристиками є їх фрикційні властивості, зв'язки коренеплодів з ґрунтом, а гички з головкою коренеплоду, їх пружні та міцнісні властивості особливо при динамічному навантаженні, момент інерції, координата центра ваги, власні частоти коливань при защемленні тощо.

Розмірно-масові характеристики тіла коренеплодів і гички, їх розташування на полі є випадковими і коливаються в певних межах.

У період агробіологічної стиглості коренеплоди кормових буряків мають конусоподібний, або циліндричний головний корінь (рис. 1.1) від якого в різні боки (на 20...25 см) відходять дрібні корінці. Нижня хвостова частина головного коренеплоду проникає глибоко в ґрунт (більше 1 м) і при викопуванні, як правило, ламається на діаметрі 5...10 мм та залишається в ґрунті. До основних агробіологічних характеристик коренеплодів відносять: діаметр d_k і довжину l_k коренеплоду; довжину головки коренеплоду h_2 та висоту розміщення верхньої частини головки коренеплоду над рівнем поверхні



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд коренеплоду кормових буряків сорту «Полтавський білий»

грунту h_k ; координату центра ваги коренеплоду c_o ; товщину зони коронки Δ_k та товщину зони «вічок» Δ_m головки коренеплоду; кут конусності росту коренеплоду $2\gamma_k$.

Важливими характеристиками для розробки робочих органів для збирання гички машин є встановлення статистичних залежностей між основними розмірно-масовими і фізико-механічними властивостями коренеплодів кормових буряків.

Тіло коренеплоду складається з трьох частин: головки, шийки та тіла коренеплоду. В поперечному перерізі тіло кормового буряка має центральний судинно-волокнистий пучок і шари, які концентрично чергуються. Коренеплоди потовщуються як за рахунок появи нових кілець, так і за рахунок розростання міжкільцевої паренхіми.

Матеріал тіла коренеплоду кормового буряка є крихким, анізотропним, неоднорідним як по довжині, так і у поперечному перерізі. Поблизу хвостової частини коренеплід менш крихкий і при навантаженні має ознаки пластичної деформації. При динамічних навантаженнях коренеплоди характеризуються значною крихкістю і меншим тимчасовим опором у порівнянні зі статичним навантаженням.

Механічні характеристики коренеплодів мінливі і розподіл їх значень, як і агрофізичних характеристик, задовільно описується нормальним законом розподілу випадкових величин.

Отримані середні значення, в результаті проведеного аналізу, маси коренеплодів, їх довжини і діаметра варіюють за сортами у значних межах. Так середня маса коренеплодів за сортами змінюється від 0,56 до 2,96 кг. Разом із тим, максимальна маса коренеплодів знаходиться ще у більших межах і становить 1,78...12,4 кг. Збільшення маси коренеплоду тісно пов'язане з його розмірними показниками. Регресійні залежності розмірно-масових характеристик (маси коренеплоду від його діаметра і довжини, діаметра коренеплоду від його довжини) показують, що мінливішою є залежність маси коренеплоду від його довжини залежно від сорту і врожайності коренів.

Коефіцієнти кореляції цих показників у сортів Урсус, Переможець, Екендорфська відповідно дорівнюють 0,737; 0,785; 0,768. Довжина кормових буряків за сортами змінюється у межах 8,3...54,4 см. А у сортів Київський, Полтавська біла спостерігається більш тісний кореляційний зв'язок між масою коренеплоду і його діаметром (0,763 і 0,780).

Встановлено, що існує стійкий прямий кореляційний зв'язок між зміною урожайності і основних показників розмірно-масових характеристик кормових буряків. Із збільшенням урожайності сорту Урсус з 600 до 1989 ц/га середній діаметр коренеплодів дорівнював відповідно 9,4 і 13,5 см; середня довжина знаходилася у межах 18,2 і 27,6 см, а середня маса – 0,78 і 2,86 кг.

З аналізу результатів експериментальних досліджень відомо, що на глибину пошкоджень коренеплодів при їх ударній взаємодії з робочим органом у першу чергу впливає швидкість ударного зближення тіл взаємодії, маса коренеплодів і форма поверхні робочого органу, яка характеризується його найменшим радіусом кривизни.

Отже при проведенні розрахунків удосконалених робочих органів для збирання гички необхідно враховувати розмірно-масові та механічні характеристики коренеплодів.

Згідно відомих досліджень розмірно-масові характеристики коренеплодів знаходяться у таких середніх межах: діаметр головки коренеплоду – 67...122 мм за дисперсії $D = 97...282$ мм; довжина коренеплоду – 135...250 мм, $D = 51,5...158,8$ мм; кут конусності – $9,0^\circ...20,0^\circ$, $D = 4,35^\circ...6,47^\circ$; маса коренеплоду – 0,311...9,548 кг, $D = 0,009...0,015$ кг; координата центра ваги – 94 мм, $D = 45$ мм [10, 30]. Механічні характеристики коренеплодів мають такі значення: модуль пружності – 18,4 МПа, σ (середнє квадратичне відхилення) = 12,4 МПа; момент інерції коренеплоду – $0,053 \text{ кг м}^2$, $\sigma = 0,032 \text{ кг м}^2$.

Темпи росту коренеплодів кормових буряків неоднакові та мають ряд агробіологічних відмінностей, які характеризуються наявністю ряду впливових зовнішніх і внутрішніх ознак, що дуже суттєво змінюються в процесі росту, формування та розвитку рослин.

Ці характерні зовнішні та внутрішні ознаки в основному залежать від сорту, застосованої технології та послідовності операцій догляду за посівами кормових буряків, типу ґрунту та кліматичних умов росту, зони вирощування тощо.

Наявні відмінності, у першу чергу, пов'язані з формуванням у першій місяць росту стеблової маси та розвитком розгалуженої та глибоко проникаючої в ґрунтове середовище кореневої системи, а врожайність кормових буряків визначається такими чинниками: родючістю ґрунту, культурою попередником, системою обробітку ґрунту, видом і нормою органічних і мінеральних добрив, технологією вирощування та системою машин для виконання її операцій, терміном, строками та якістю виконання технологічних операцій, густоти рослин і їх розподілу в рядках тощо. Максимальний урожай коренеплодів і гички кормових буряків досягається за оптимальної густоти та рівномірності розміщення рослин на площі поля.

Розсіювання бічних відхилень головок коренеплодів відносно умовної осьової лінії рядка коливаються в межах від 0 до 40 мм. Безпосередньо в межах осьової лінії рядка (0...20 мм) знаходиться до 78,2 % головок коренеплодів , рис. 1.2. Степінь бічного розсіювання головок коренеплодів пов'язана з відстанню між коренеплодами буряка в рядку на час збирання: зі зменшенням

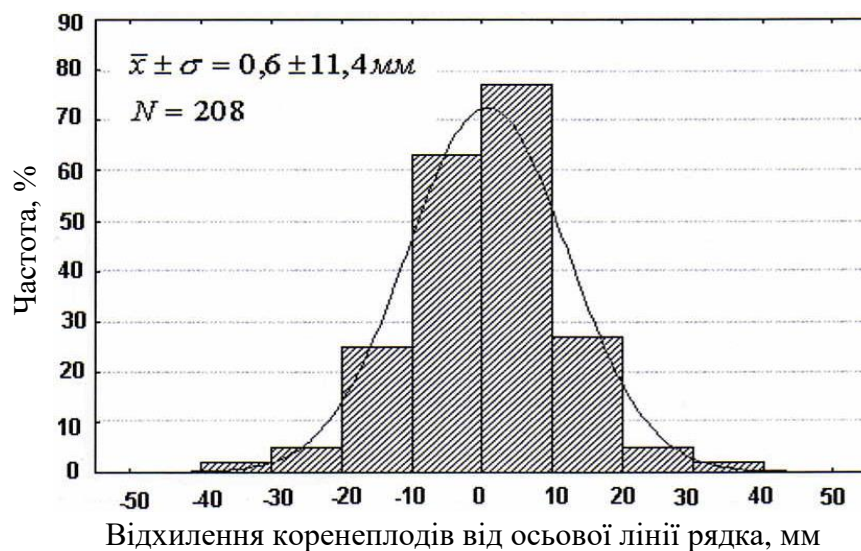


Рисунок 1.2 – Номограма закономірності розподілу відхилення коренеплодів кормових буряків від осьової лінії рядка

інтервалу між рослинами у 9 разів (від 45 до 5 см) зона бічного розсіювання головок коренеплодів відносно умовної осьової лінії рядка збільшується у 3,4 раза – з 12,8 до 43,4 мм.

З часу розробки та застосування перших технічних пристроїв і засобів для механізованого збирання коренеплодів у світовій практиці накопичено великий досвід з створення відповідних робочих органів і машин, у тому числі для збирання гички. Агробіологічні та механічні властивості коренеплодів і гички, їх розміщення відносно поверхні ґрунту в значній мірі впливають на умови роботи гичкозбиральних модулів і, відповідно, регламентують особливості конструкції робочих органів для збирання основного масиву гички та обрізування її залишків з головок коренеплодів.

Гичка, яка складається в середньому з 10...30 великих листків, у більшості сортів коренеплодів має форму розетки у вигляді конуса. Максимальна площа листкової поверхні формується в липні-серпні й досягає в середньому 50...60 тис.м²/га. Пріоритетним в даному напрямку є форма головки та гички коренеплоду, а також висота розміщення коренеплоду відносно поверхні ґрунту.

Зрізану гичку коренеплодів використовують на корм тваринам, але у теперішній час її розкидають на зібране поле. У ній на час збирання врожаю міститься 15...22 % сухих речовин, у тому числі протеїну 2...3 %, до 2 % клітковини, 2 % золи, 0,4 % жиру, водорозчинних вуглеводів 5...8 %.

Агробіологічні властивості та фізико-механічні характеристики гички коренеплодів у значній мірі впливають на роботу коренезбиральних машин, зокрема і на робочі органи для збирання гички та визначають конструкцію гичкозбиральних пристроїв і технологію її збирання.

У наукових роботах Погорілого Л.В., Барановського В.М., Шабельника Б.П., Фомічова А.М., Завгороднього А.Ф., Довжика М.Я., Шевцова І.Я, Гурченка О.П., Кобця А.С. та ін. наведено агробіологічні властивості та фізико-механічні характеристики гички коренеплодів і їх вплив на розвиток конструкцій робочих органів для збирання гички.

Визначено необхідні зусилля зрізування головок коренеплодів, на розтяг, згин, стискання, прогин тощо, коефіцієнти тертя спокою гички та коренеплодів, твердість гички при плюсовій і мінусовій температурі повітря, а також в розмороженому стані.

Основні механічні властивості гички коренеплодів наведено у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості гички кормових буряків

Показник	Стан гички		
	При (+t°C)	При (-t°C)	У розмороженому стані при (+t°C)
Розтяг (за силою), Н	1	1,39	1,01
Згин (за силою), Н	1	1,5	0
Стискання та зсув (за силою), Н	1	0,96	0,65
Прогин (за прогином)	1	0,5	∞
Твердість (за глибиною проникнення)	1	0,35	0,74

Комплексна оцінка агробіологічних і фізико-механічних характеристик коренеплодів є теоретичними передумовами розробки та проектування робочих органів для збирання гички. Існуюча сучасна однофазна технологія та технічні засоби, які застосовують під час збирання коренеплодів не забезпечують показників якості роботи: забрудненість коренеплодів залишками гички та рослинними домішками, яка становить від 8 до 15 %, відходи в гичку маси обрізаних головок до маси коренеплодів, які коливаються в межах 7...9 %, пошкодження коренеплодів за рахунок сколів (до 15 %).

Найбільш сприятливою зоною, яка за біологічними властивостями придатна для вирощування коренеплодів цикорію кореневого в Україні є зона лісостепу Хмельницької та Житомирської областей. Середня врожайність коренеплодів цикорію залежно від сорту та агротехніки їх вирощування становить від 130 до 250 ц/га.

Гичка коренеплодів цикорію 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

для виробництва біоетанолу. Крім того, коренеплоди цикорію є цінною харчовою та лікарською культурою. Цінність коренеплодів цикорію визначається вмістом у них різновидів 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.

Коренеплоди цикорію за технологією вирощування та зовнішніми ознаками схожі на коренеплоди цукрових буряків, а за фізіологічними й морфологічними властивостями – на кормову моркву.

Технологічний процес збирання коренеплодів цикорію регламентується в основному агротехнічними властивостями врожаю, конструкцією робочих органів і компоновальних схем коренезбиральних машин і пристроїв. Перший етап розробки техніки для збирання коренеплодів цикорію повинен базуватися на систематизації агрофізичних характеристиках коренеплодів і гички цикорію кореневого, варіювання і мінливість яких має суттєвий вплив на конструктивні особливості робочих органів.

В Україні в зоні вирощування цикорію кореневого діє два заводи для його переробки – Славутський і Чуднівський. Продукцію переробки цикорію закуповують Франція, Бельгія, Угорщина, Росія, Білорусія. Незважаючи на зростання попиту на цикорій і продукти його переробки, посівні площі під ним неухильно скорочуються через низьку механізацію технологічного процесу вирощування і особливо збирання урожаю.

Як культура, цикорій кореневий – дворічна рослина, у якої в першій рік формується прикоренева розетка листків (гички), а в ґрунті, одночасно з розвитком листків, потовщений у верхній частині коренеплід, рис. 1.3.

Важливим обмежуючим фактором збирання коренеплодів цикорію кореневого, порівняно з коренеплодами цукрових буряків, є їх крихкість і більша на 5...10 см загальна довжина коренеплодів. Викопаючі робочі органи існуючих коренезбиральних машин не в достатній мірі відповідають якості збирання коренеплодів цикорію.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд коренеплодів цикорію кореневого.

Темпи росту коренеплодів цикорію кореневого та інших коренеплодів (цукрових, кормових і столових буряків, моркви) неоднакові та мають ряд агробіологічних відмінностей, які характеризуються наявністю ряду впливових зовнішніх і внутрішніх ознак, що дуже суттєво змінюються в процесі росту, формування та розвитку рослин.

Ці характерні зовнішні та внутрішні ознаки в основному залежать від сорту, застосованої технології та послідовності операцій догляду за посівами цикорію кореневого, типу ґрунту та кліматичних умов росту, зони вирощування тощо.

Найважливіші відмінності, у першу чергу, пов'язані з формуванням у перший місяць росту стеблової маси та розвитком розгалуженої та глибоко проникаючої в ґрунтове середовище кореневої системи, а врожайність цикорію визначається такими чинниками: родючістю ґрунту, культурою попередником, системою обробки ґрунту, видом і нормою органічних і мінеральних добрив, технологією вирощування та системою машин для виконання її операцій, терміном, строками та якістю виконання технологічних операцій, густоти рослин і їх розподілу в рядках тощо. Максимальний урожай коренеплодів і гички цикорію досягається за оптимальної густоти та рівномірності розміщення рослин на площі поля.

Для коренеплодів цикорію найбільш важливим етапом росту є перший місяць зростання і розвитку. Це пояснюється тим, що при появі сходів цикорію на поверхні ґрунту рослини витрачають багато енергії на розвиток розгалуженої і глибоко проникної кореневої системи, довжина якої може досягати до 3-х метрів. У результаті такого зростання, листовий апарат протягом місяця виглядає дуже блідим і пригніченим, а темп росту безпосередньо самого коренеплоду цикорію в цей період дуже повільний. У другому місяці темпи зростання і розвитку значно підвищуються. Маса коренеплоду до кінця місяця досягає 20...30%, а листя – до 50% від своїх кінцевих мас.

Накопичення маси гички та сухої речовини в коренеплодах цикорію відбувається протягом усього періоду вегетації, але характер і інтенсивність накопичення, особливо стеблової маси та форми розетки гички, з початку і до кінця вегетації безперервно змінюється залежно від зовнішнього впливу погодних умов, площі живлення та густоти насадження рослин, сортових особливостей і елементів технології вирощування культури.

При цьому в перший і другий місяць вегетації рослин коренеплодів цикорію кореневого найбільше накопичується стеблова маса гички (більше 50% всієї маси), а в третій і четвертий місяць вегетації – маса сухої речовини тіла коренеплодів.

За морфологічними характеристиками, середня довжина стебел листя або гички знаходиться в межах від 25 до 40 см, а їх середня кількість у пучку стеблостою, який розміщується на верхній частині головки коренеплоду коливається в межах від 20 до 35 шт. Загальна довжина коренеплодів цикорію може досягати до 40 см, середній діаметр коренеплодів коливається в межах 8...10 см. Середня маса коренеплоду цикорію коливається в межах 150...450 г, довжина коренеплоду варіює від 10 до 40 см, а діаметр коренеплоду – від 3 до 12 см.

Головка коренеплоду здебільшого має циліндричну форму або форму півсфери та зрізаної півсфери з подальшим переходом тіла до форми правильного конуса та помірним зменшенням (спаданням) діаметра коренеплоду в напрямку до хвостової частини. Кут конуса росту або конусність форми коренеплодів цикорію кореневого коливається в межах 20...35 град.

Порівняно з коренеплодами цукрових і кормових буряків маса головки у коренеплодів цикорію значно менша. Згідно з дослідженнями, проведеними науковцями Борисюком В.О., Маковецьким К.А., Ткачем О.В., Кузьмичом В.М., середня маса головки коренеплоду цикорію складає 7,4% від загальної маси, а маса хвостової частини коренеплоду цикорію – у середньому 7%.

Маса основної частини, або тіла коренеплоду цикорію кореневого (верхньої та середньої частини) становить 85%. Агробіологічні характеристики коренеплодів цикорію, які посіяно з міжряддями 45 см наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Агробіологічні характеристики коренеплодів цикорію (міжряддя 45 см)

Середні показники	Відстань між коренеплодами, S_p , см				
	5...10	10...20	20...30	30...40	40...50
Маса коренеплоду m_k , г	300	363	408	449	503
Діаметр коренеплоду D_k , мм	54,0	60,1	62,6	64,3	85,0
Довжина коренеплоду L_k , мм	221	235	245	254	266
Урожайність коренеплодів U_k , ц/га	130	250	230	210	190
Середнє питоме навантаження на розрив коренеплоду P_p , кг/см ²	5,5...8,4				

Розподіл коренеплодів (рис. 1.4) за їх діаметром і технічною довжиною та бокове відхилення коренеплодів від лінії рядка (рис. 1.5) підкоряється закону нормального розподілу Лапласа-Гауса.

Відстань між рослинами в рядках і їх розміщення на площі також істотно впливають на агрофізичні параметри коренеплодів цикорію і відповідно на його врожайність. Нерівномірне розміщення рослин у рядках призводить до збільшення некондиційних коренеплодів цикорію (діаметром менше 3 см або масою менше 100 г), кількість яких за різної густоти рослин коливається від 5,3 до 12,7%. Зі збільшенням густоти рослин істотно збільшується кількість коренеплодів цикорію масою від 100 до 200 г.

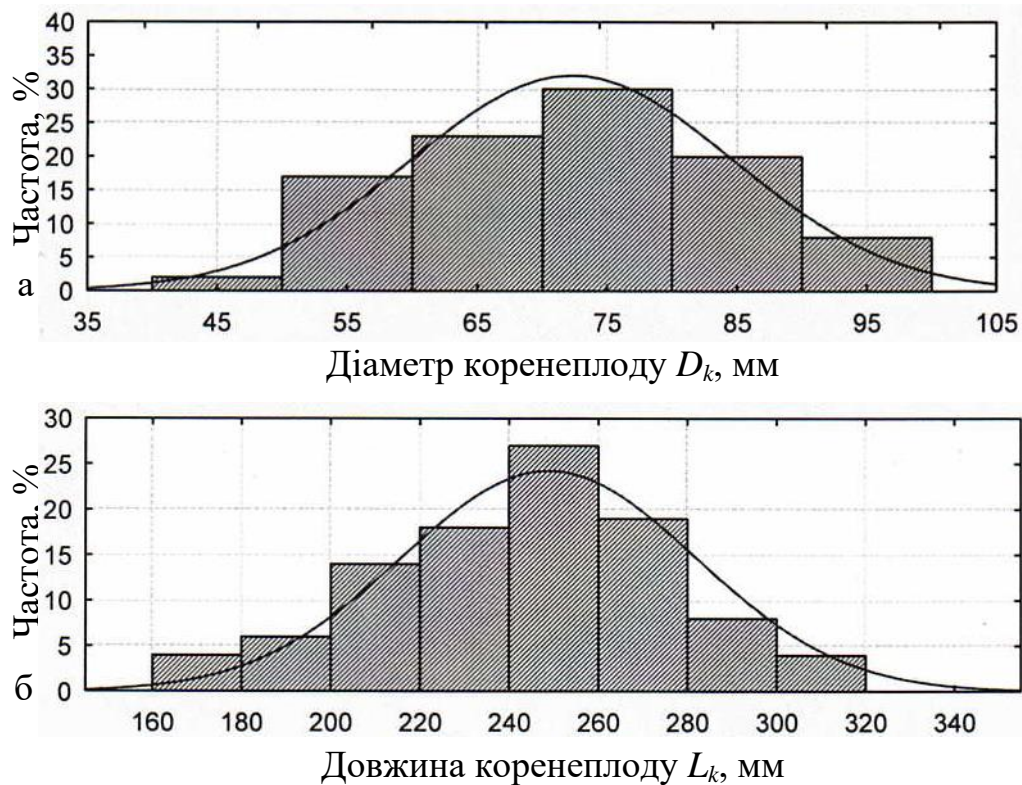


Рисунок 1.4 – Номограма розподілу коренеплодів залежно від:
а – діаметра коренеплоду D_k ; б – довжини коренеплоду L_k .

Так, при густоті рослин 88,9 тис. шт./га частка таких коренеплодів становить 10,5%, а при 227,7 тис. шт./га – 40%, що більше в 3,8 раза.

Встановлено, що середня висота розміщення головок коренеплодів цикорію над поверхнею ґрунту на початок збирання становила $x = 19,2$ мм, (середньоквадратичне відхиленням $\delta = 13,1$ мм, коефіцієнт варіації $V = 68,8\%$).

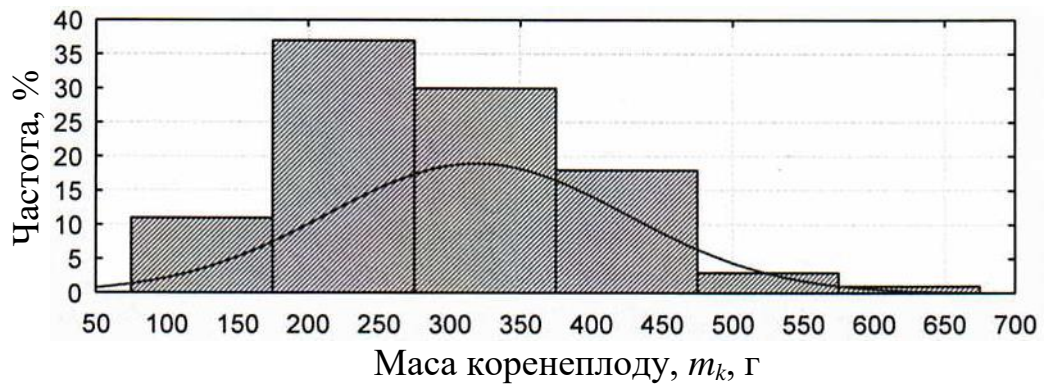


Рисунок 1.5 – Номограма розподілу коренеплодів залежно від маси коренеплодів m_k .

Встановлено, що середня висота розміщення головок коренеплодів цикорію над поверхнею ґрунту на початок збирання становила $x = 19,2$ мм, (середньоквадратичне відхиленням $\delta = 13,1$ мм, коефіцієнт варіації $V = 68,8\%$). На рівні поверхні ґрунту розміщується 52,4% головок коренеплодів, нижче поверхні ґрунту – 10,6% і вище – 37,0%.

Розсіювання бічних відхилень головок коренеплодів цикорію відносно умовної осьової лінії рядка коливаються в межах від 0 до 40 мм. Безпосередньо в межах осьової лінії рядка (0...20 мм) знаходиться до 92,8% головок коренеплодів.

Ступень бічного розсіювання головок коренеплодів пов'язана з відстанню між рослинами цикорію в рядку на час збирання: зі зменшенням інтервалу між рослинами у 9 разів (від 45 до 5 см) зона бічного розсіювання головок коренеплодів відносно умовної осьової лінії рядка збільшується у 3,4 раза – з 12,8 до 43,4 мм.

Результати досліджень агробіологічних властивостей і фізико-механічних характеристик коренеплодів і гички наведено у працях закордонних вчених, якими було встановлено, що відстань між коренеплодами в рядку та положення їх головок відносно рівня поверхні ґрунту вносять істотний вплив на процес збирання основного масиву гички та обрізування її залишків з головок коренеплодів – показники якості зрізування гички мають певні кореляційні залежності.



Рисунок 1.6 – Структурна схема основних операцій збирання коренеплодів

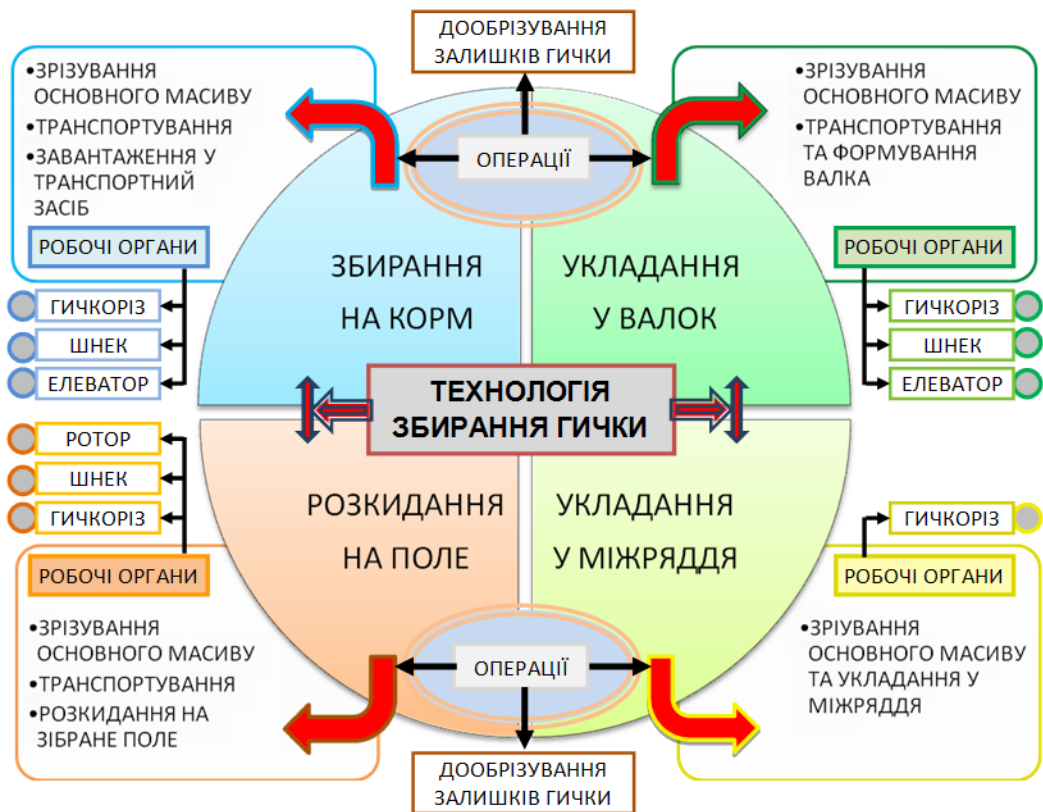


Рис. 1.7. Технології збирання гички та основні операції збирання гички коренеплодів

Розвиток технологій та способів збирання, як коренеплодів, так і гички є наслідками удосконалення технічних засобів, які реалізують основні операції збирання коренеплодів (рис. 1.6, рис. 1.7), особливо таких як збирання основного масиву гички та обрізування її залишків на головках коренеплодів, викопування коренеплодів і очищення викопаного вороху коренеплодів від домішок.

Першим етапом однофазного збирання великорозмірних коренеплодів (цукрових і кормових буряків, коренеплодів цикорію кореневого), яке переважно застосовують у теперішній час, є двостадійне збирання гички гичкозбиральним модулем у складі самохідного бункерного комбайна.

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.

Перша стадія технологічного процесу збирання гички коренеплодів, або зрізування основного масиву гички, як правило виконується без копіювання головок коренеплодів і реалізується шляхом суцільного зрізування рослинних компонентів різними типами гичкорізів по висоті максимально розміщених головок коренеплодів відносно рівня поверхні ґрунту. Гичкоріз являє собою систему робочих органів, які виконують операцію різання гички коренеплодів і відведення зрізаної гички за межі рядків коренеплодів. На сучасному етапі для зрізування основного масиву гички, як правило застосовують роторний гичкоріз, який являє собою горизонтальний вал, на барабані якого розміщено ріжучі ножі, що встановлені шарнірно на своїй осі. Для відведення зрізаної гички застосовують шнековий конвеєр, який являє собою барабан, на якому по гвинтовій лінії розміщено спіральні витки.

Друга стадія технологічного процесу збирання гички коренеплодів, або обрізування залишків гички з головок коренеплодів, як правило виконується з копіюванням головок коренеплодів і реалізується шляхом обрізування з головок коренеплодів залишків гички різними типами обрізників.

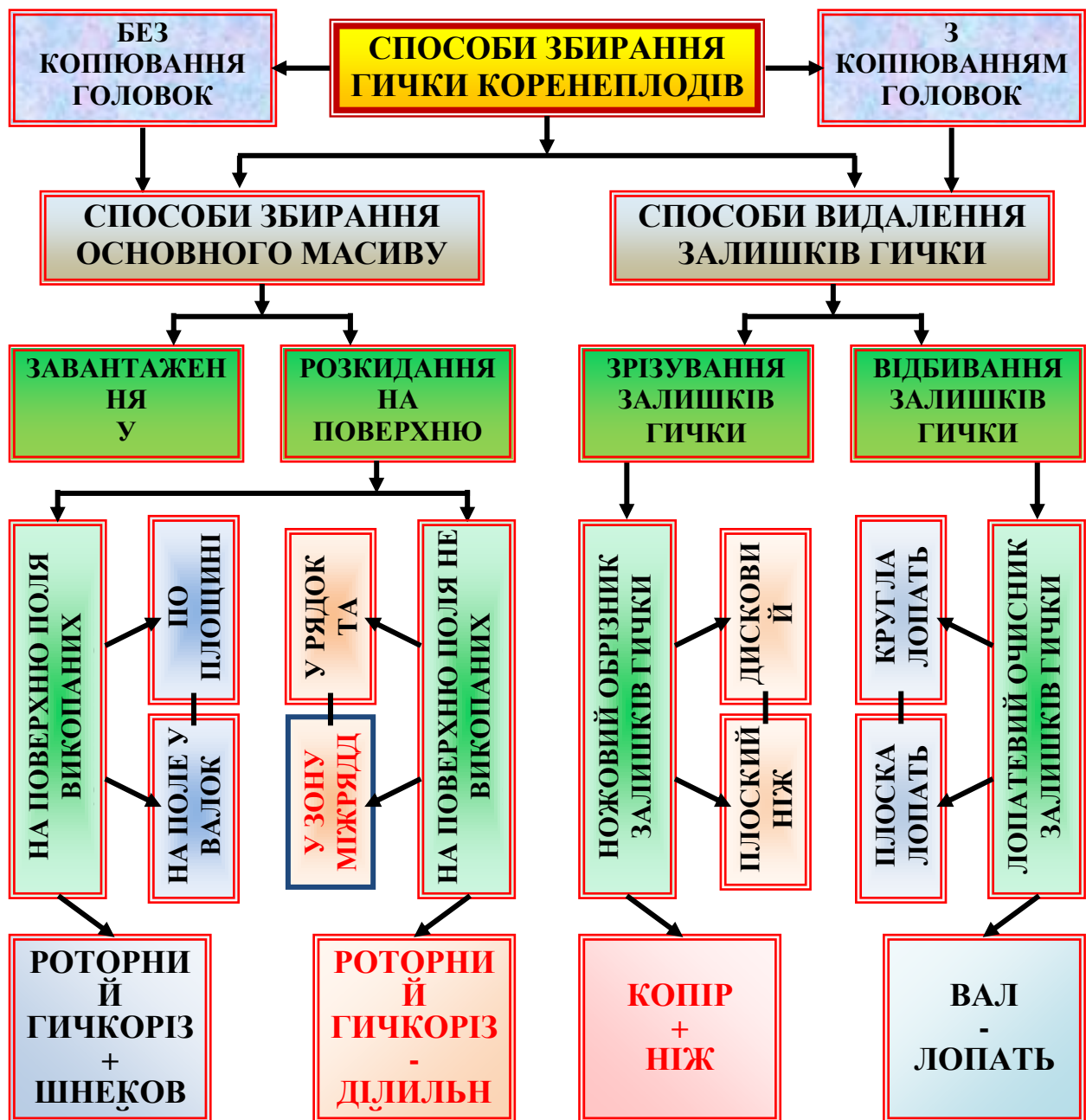


Рисунок 1.8 – Класифікація способів збирання гички коренеплодів

Обрізник залишків гички являє собою систему робочих органів, які копіюють розміщення головки коренеплоду відносно рівня поверхні ґрунту, а далі обрізують головку коренеплоду разом з залишками гички на встановленій (заданій) висоті зрізу. На сучасному етапі для обрізування залишків гички з коренеплодів, як правило застосовують обрізник, який виконано у вигляді послідовно розташованого копіра та конструктивно зв'язаного з ним ножа.

Залежно від призначення (використання) зрізаної гички розрізняють два основні способи збирання основного масиву гички: завантаження зрізаної

гички у транспортні засоби (рис. 1.8) або на корм для згодовування тваринам; розкидання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички на поверхню поля в якості сидератів або добрив.

У зв'язку з значним подорожчанням енергоресурсів, а в більшості випадків хімічним забрудненням біологічної структури листя гички коренеплодів збирання гички для згодовування тваринам на корм не застосовують.

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 не викопаних коренеплодів. Перший критерій передбачає 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. Другий критерій передбачає розкидання зрізаної гички на поверхню незібраного поля у рядок та міжряддя не викопаних коренеплодів.

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 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.

Розкидання зрізаної гички на поверхню незібраного поля у рядок та міжряддя не викопаних 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 не викопаних коренеплодів.

Спосіб, за якого зрізану та подрібнену гичку розкидають на поверхню поля не зібраних 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 гички коренеплодів цикорію є розкидання зрізаної гички в межі рядка коренеплодів – у першому випадку це втрати гички під час її зрізування ножами роторного гичкоріза, а в другому – втрати та технологічне переміщення гички у рядки не зібраних коренеплодів. Наявність гички на поверхні поля не зібраних коренеплодів значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини у контексті дотримання агротехнічних вимог до показників якості їх роботи.

1.2. Аналіз конструкцій і теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів

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

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

За різноманітності способів механічного збирання гички (зрізування, відбивання, відривання, зминання тощо найбільш поширеними є двостадійний спосіб збирання гички робочими органами гичкозбирального модуля – зрізування основного масиву гички ножами 1 роторного гичкоріза 2 (рис. 1.9а, в) з наступним видаленням залишків гички з головок коренеплодів методом її

обрізування обрізником 3 (рис. 1.9а, г) головок коренеплодів, або відбивання залишків гички пружними очисними елементами 4 (рис. 1.9д), які розміщено на секціях 5 горизонтального вала 6.

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

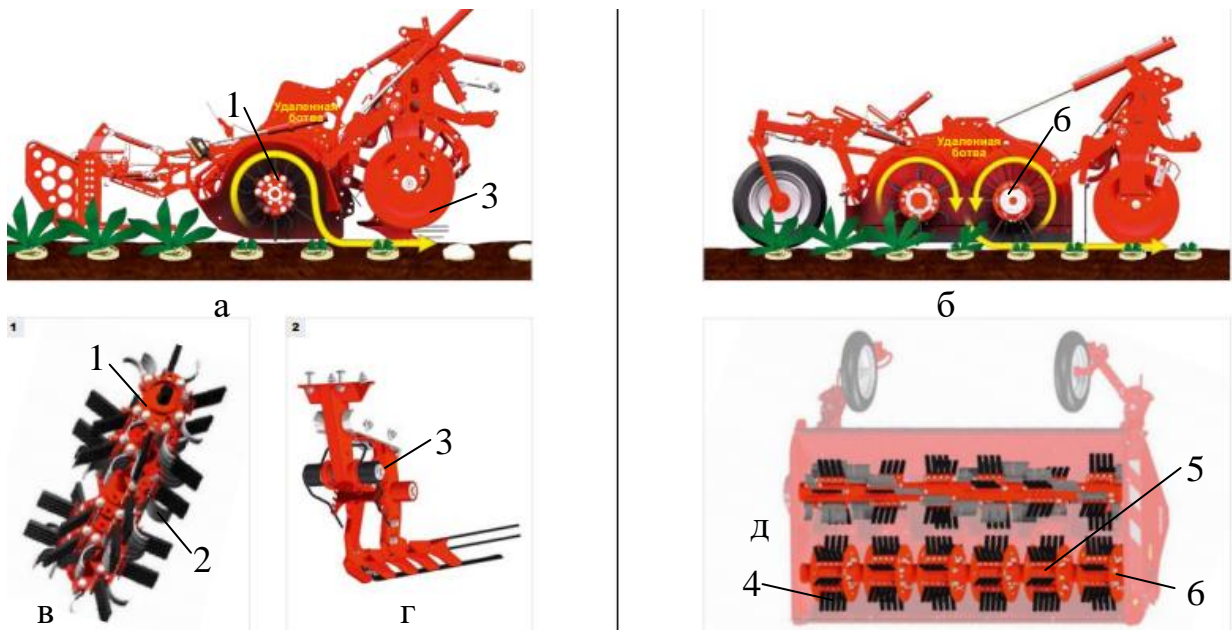


Рисунок 1.9 – Схеми робочих органів гичкозбирального модуля коренезбиральної машини Rexor 620/630 Grimme, Німеччина: а – схема модуля з обрізником залишків гички; б – схема модуля з очисником головок від залишків гички; в – схема роторного гичкоріза; г – схема обрізника головок коренеплодів; д – схема очисного вала з пружними елементами;

1 – ніж; 2 – роторний гичкоріз; 3 – обрізник головок коренеплодів;

4 – пружні очисні елементи; 5 – секція; 6 – приводний вал

Зрізування, за якого збирання гички відбувається в результаті різання лезом ножа роторного гичкоріза 1 (рис. 1.10), застосовується, як для видалення основної маси гички, так і її залишків під час обрізування головок коренеплодів. Причому, ножі (активні чи пасивні) виконують, як правило, різання гички (чи головок коренеплодів) без підпору, тобто без протирізальних елементів, чи зустрічного руху ножів.

Це зумовлено, в першу чергу, фізико-механічними властивостями коренеплодів та технологією збирання (використання) гички – збирання гички на корм шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.10 а) та переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром і завантаження її через дефлектор 3 у причіп 4 транспортного засобу, або у якості органічних добрив шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.10б, в) і переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром 2 до горизонтального роторного розкидача 5 та наступного розкидання подрібненої гички 6 ротором 5 на поле.

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

Тому класифікований підхід з врахуванням особливостей робочих органів і схем компоновок, способів їх функціонування забезпечить можливість

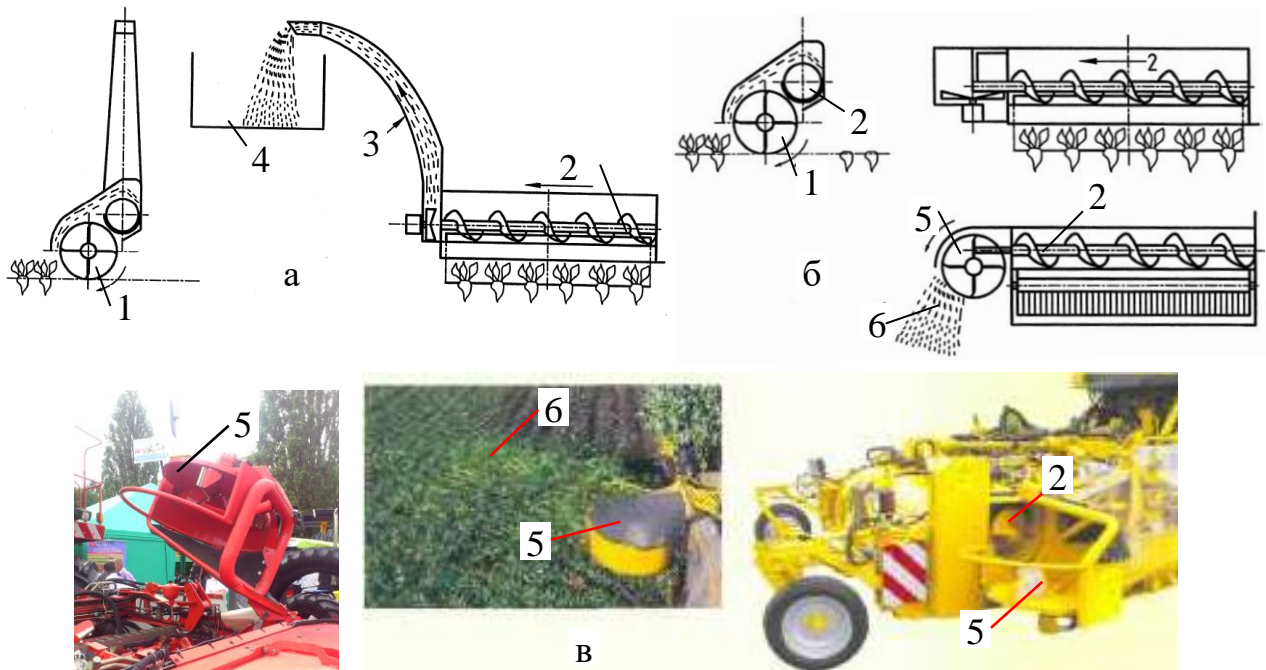


Рисунок 1.10 – Схеми та загальний вигляд використання зібраної гички:

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

проведення аналізу і вибору необхідної конструктивно-технологічної схеми гичкозбиральної машини для конкретних умов експлуатації.

Гичкозбиральні машини класифікують залежно від способу використання та технології збирання гички. За основу побудови класифікаційної схеми гичкозбиральних машин (рис. 1.11) прийнято чотири критерії систематизації – спосіб агрегування, функціональне призначення, спосіб збирання та форма гичкоріза.



Рисунок 1.11 – Класифікація гичкозбиральних машин

За способом агрегування з енергетичним засобом гичкозбиральні машини бувають причіпні, начіпні та самохідні. За функціональним призначенням розрізняють наступні типи гичкозбиральних машин: які збирають гичку на корм для подальшого згодовування худобі або силосування (машини, які завантажують зібрану гичку у транспортні засоби, що рухаються поруч з нею); які укладають (вивантажують) зрізану гичку на зібране поле у суцільний валок; які розкидають зрізану та подрібнену гичку на зібране поле.

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

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

За технологічною схемою машин, гичкозрізувальні апарати можна розділяти на дві групи: апарати, виконуючі зрізання всередині машини; апарати, які здійснюють зрізання на корені. При цьому апарати, які здійснюють зрізання на корені, за способом виконання процесу зрізування поділяються на: апарати для однофазного зрізання; апарати для виконання двофазного зрізання.

Гичкозрізувальні апарати, виконуючі як однофазне, так і двофазне зрізання, поділяють за типом робочих органів. За принципом дії ріжучих елементів гичкозрізувальні пристрої можна поділити на три основних типи: гичкозрізувальні пристрої, ріжучі елементи яких здійснюють поступальний (рис. 1.12а) та зворотно-поступальний рух (рис. 1.2б); гичкозрізувальні пристрої, ріжучі елементи яких здійснюють обертовий рух (рис. 1.13). Гичкозрізувальні апарати з пасивним ножом (рис. 1.12а) використовуються в якості обрізника головок коренеплодів на машинах відомих закордонних фірм (Kleine, Herriau, Stoll, Moro, Tim та ін.).

Гичкозрізувальний пристрій (рис. 1.12а) відрізняються простотою конструктивного виконання, але у вітчизняних машинах не набув широкого застосування за низької надійності виконання процесу зрізування гички на забур'яненних полях, що призводить до забивання апарату рослинними рештками і неякісного зрізування, пошкодження та вибивання коренеплодів з ґрунту.

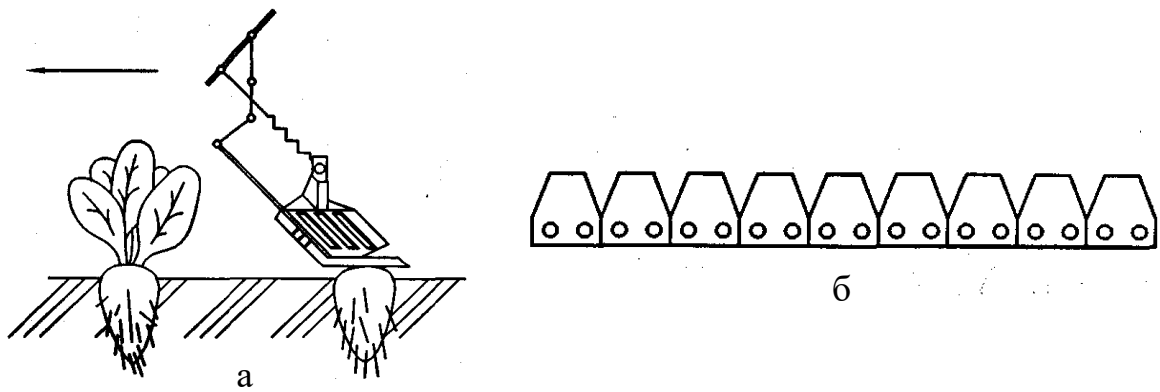


Рис. 1.12. Гичкозрізувальний пристрій: а – ріжучий елемент виконує поступальний рух; б – ріжучий елемент виконує зворотно-поступальний рух

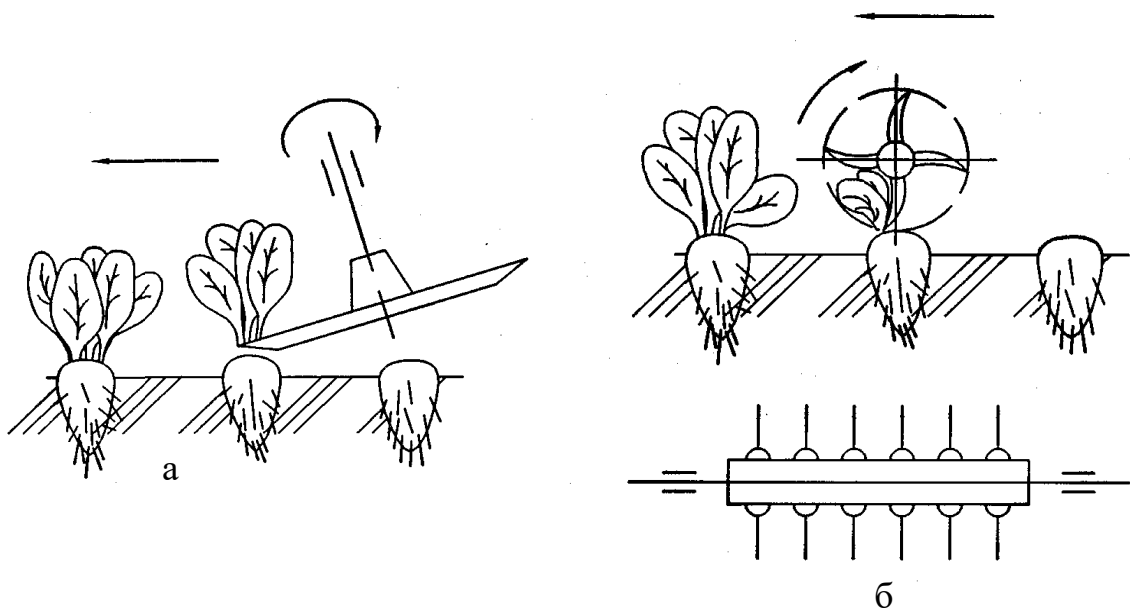


Рис. 1.13. Гичкозрізувальний пристрій: а – з активним дисковим ножом; б – роторний гичкозрізувальний пристрій

Гичкозрізувальний пристрій (рис. 1.12б), в якому ріжучий елемент виконаний у вигляді одного або двох сегментних ножів виконує, відповідно, зворотно-поступальний (гичкозбиральна машина „Volvo”), або зустрічний зворотно-поступальний рух, зрізує тільки черешки гички на певній висоті відносно поверхні ґрунту сегментними ножами, внаслідок чого відбувається розсипання черешків під час зрізування та їх значні втрати. Це призводить до наступного забруднення зібраного вороху коренеплодів, порушення технологічності роботи викопувальних робочих органів і, як наслідок підвищення втрат коренеплодів під час збирання, які можуть досягати більше 30%.

Роторні гичкозрізувальні пристрої (рис. 1.13) за конструктивним виконанням поділяються залежно від розташування осі обертання ріжучих елементів і бувають з нахилоною (рис. 1.13а), горизонтальною (рис. 1.13б) та вертикальною (рис. 1.14) віссю обертання.

Активні дискові гичкозрізувальні пристрої (рис. 1.13а) набули широкого розповсюдження в поєднанні з пасивним гребінчастим копиром на початку 60-х років 20 століття. Ними були обладнані в основному вітчизняні гичкозбиральні машини СКН-2А, БМ-6, БМ-4, БМ-6А, БМ-6Б, МБС-6, зарубіжний бурякозбиральний комбайн John Deere 223 (США) та ін.

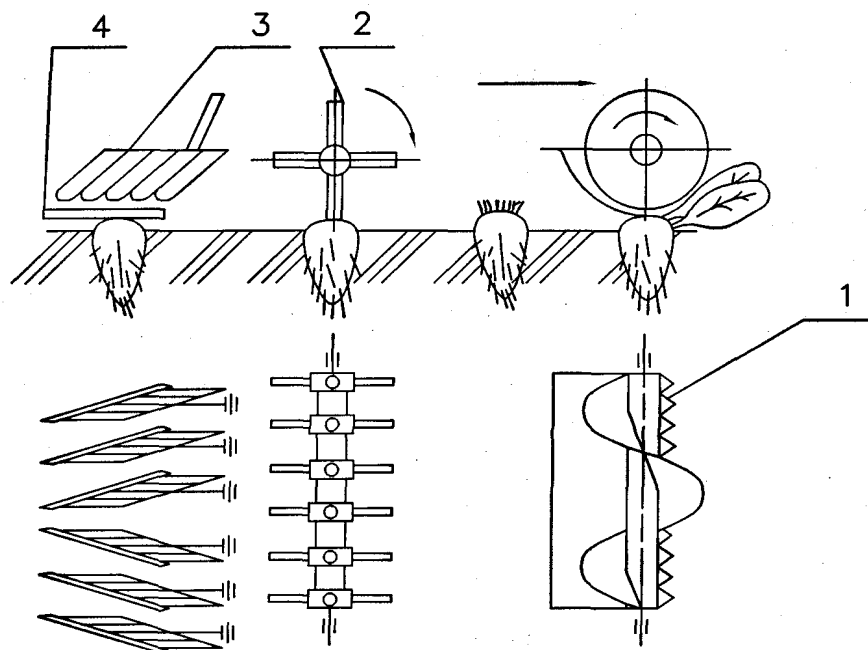


Рис. 1.14. Функціональна схема видалення гички комбайна К-500

“Volvo”: 1 – сегментний ніж; 2 – очисник головок коренеплодів;

3 – копір; 4 – пасивний ніж

Ріжучі ножі (рис. 1.13а), які приводяться в обертовий рух жорстко з’єднанні з пасивним копиром через паралелограмну підвіску. Конструктивно ріжуча поверхня дискового ножа виконується суцільною, сегментною або зубчастою. Вони забезпечують відносно задовільну якість зрізування гички при швидкості руху машини до 1,9 м/с, урожайності гички до 30 т/га, рівномірному розміщенні рослин в рядках і відносно поверхні поля. За результатами випробувань машини БМ-6А, відсоток нормально обрізаних коренеплодів при

швидкості руху 1,4 м/с складає 97,7%, а гладкої поверхні зрізу – 99,1%. Необхідно зазначити, що на засмічених рослинністю полях ефективніше працюють ножі з сегментною і зубчастою ріжучою поверхнею, а на чистих – із суцільною.

Проте дискові ріжучі пристрої мають наступні недоліки: відносно малий діапазон переміщення ножа за висотою (0...100 мм) та доволі складна конструкція механізму приводу, підвіски ножа та копіра; значні вибивання високостоячих відносно поверхні ґрунту коренеплодів пасивним копиром, або пошкодження та втрати коренеплодів; незадовільне копіювання головок коренеплодів із високою врожайністю гички або незадовільні показники якості зрізування гички.

Роторні гичкорізи складаються з вала, на барабані якого шарнірно закріплені ріжучі ножі 1 (рис. 1.14, рис.1.15), які виконані сегментними (рис. 1.14) або S-подібними (рис. 1.15). S-подібні ножі отримали широке застосування в машинах провідних фірм країн Західної Європи (“Matrot”, “Herriau”, “Stoll”, “Fahse”, “Kleine”, “Tim” та ін.) та США.

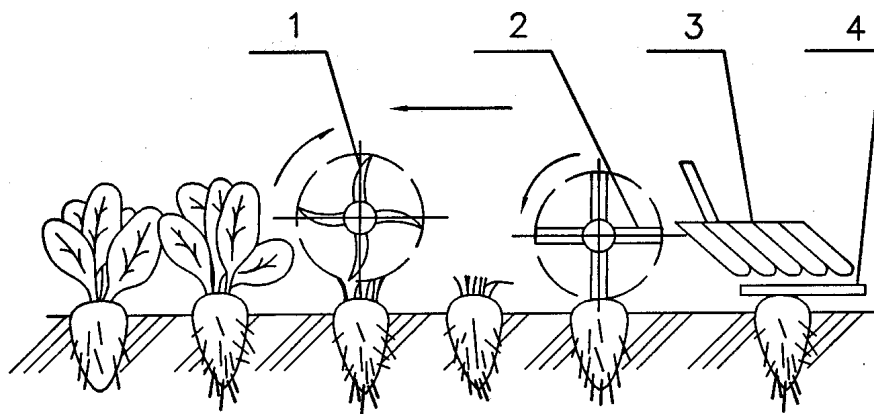


Рис. 1.15. Функціональна схема видалення гички

бурякозбирального комбайна “Herriau”: 1 – вал з S-подібними ножами;

2 – очисник головок коренеплодів; 3 – копір; 4 – пасивний ніж

Під час роботи роторних гичкозрізувальних пристроїв, гичка зрізується на рівні основного масиву розташування головок відносно поверхні ґрунту, при цьому нерівномірність їх розташування в рядку не впливає на якість роботи пристрою. Залишки гички на головках коренеплодів очищаються очисником

головок коренеплодів 2, які обрізуються обрізувачем головок, який виконано в вигляді «пасивний копір-пасивний ніж». Різні моделі гичкозрізувальних пристроїв з роторними гичкорізами відрізняються один від одного тільки конструкцією очисника головок коренеплодів 2.

Гичкозрізувальний роторний пристрій має важливу перевагу в тому, що забезпечує високу продуктивність роботи машини в процесі збирання високоврожайної гички і доволі значної наявності бур'янів на плантації рослин. У свій час у вітчизняній практиці даний тип апарату для збирання гички цукрових буряків широкого використання не одержав внаслідок того, що гичка дуже подрібнюється і після цього стає непридатною для згодовування худобі.

У сучасних гичкозбиральних машинах для зрізування основної гички найбільше розповсюдження одержали гичкозрізувальні пристрої трьох типів, які розрізняють за конструкцією і компоновкою основних робочих органів гичковидальючого пристрою – формою копіра та конструкцією ріжучого ножа.

Пристрої, в яких пасивний копір поєднується з активним дисковим ножом (рис. 1.16, а) застосовуються в районах з середньою врожайністю гички, низьким розташуванням і значним закріпленням коренеплодів в ґрунтовому середовищі. Копір може бути виготовлений у вигляді гребінки, або полозка. Такі апарати працюють задовільно при швидкості машини до 1,5...1,7 м/с в широкому діапазоні погодних умов і забезпечують достатній збір гички.

Але при збільшенні робочої швидкості руху значно погіршується технологічний процес зрізування гички, що приводить до значного підвищення втрат цукроносної маси за рахунок випадкової нерівномірності заданої висоти зрізування головок коренеплодів.

Апарати даної конструкції широке застосування знайшли у вітчизняному виробництві. Вони застосовувались у бурякозбиральних комбайнах СКД-2, а в даний час – на гичкозбиральних машинах БМ-6А, БМ-6Б.

Поєднання активного каткового копіра, який обертається з пасивним ножом (рис. 1.16б) є типовим для апаратів таких машин як Е-732, Е-734, (Німеччина), ЗОСХ (Чехія). Вони застосовуються полях коренеплодів із

високою врожайністю гички (до 70 т/га), яка збирається для використання у якості соковитих кормів.

У вітчизняному машинобудуванні даний вид гичкозрізувальних апаратів розповсюдження не отримав за основною причиною – недостатній ресурс роботи ножа внаслідок його швидкого затуплення та зношення, що призводить до значного зниження показників якості збирання гички в агресивних ґрунтово-кліматичних умовах, які характеризуються тим, що основна частина головок коренеплодів районованих сортів цукрових буряків знаходиться на рівні або нижче поверхні ґрунту.

Апарати з пасивним копіром і пасивним ножем (рис. 1.16в) застосовуються для до обрізування залишків гички з головок коренеплодів, з яких гичка попередньо видалена (машини фірм „Kleine”, „Herriau”, „Stoll”, „Moreau” та ін.).

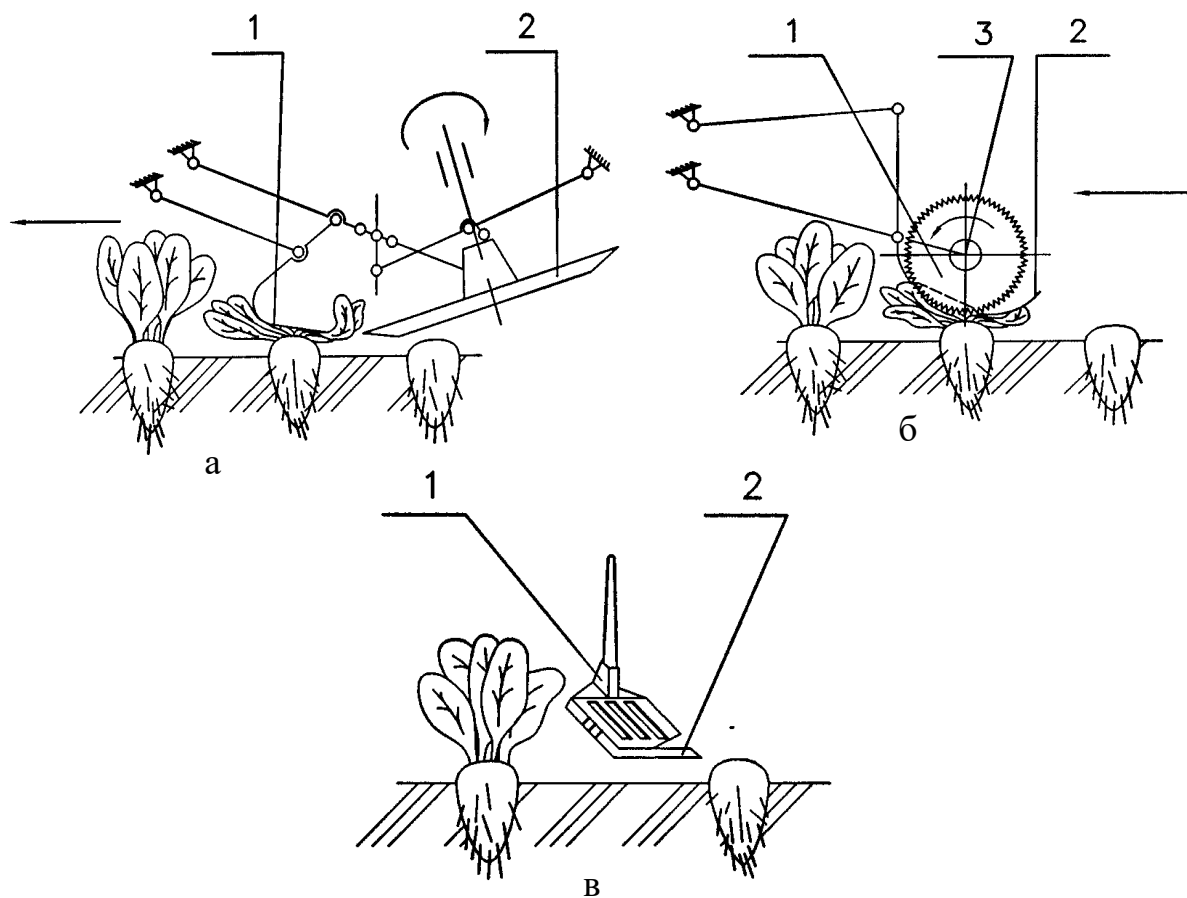


Рис. 1.16. Схема гичкозрізувального апарата: а – пасивний копір-активний дисковий ніж; б – активний катковий копір-пасивний ніж; в – пасивний копір-пасивний ніж

За кордоном широко застосовуються гичкозбиральні пристрої, в яких збирання гички розділене на декілька послідовних операцій. Так навісна шестирядна коренезбиральна машина KR-6 виробництва фірми „Kleine” має гичкоріз 1 (рис. 1.17) роторного типу, який зрізує на встановленій висоті відносно поверхні ґрунту основну масу гички та подає її на шнек 2. Очисник головок коренеплодів 3 за рахунок обертання очисних елементів, які розташовані на барабані горизонтального вала видаляє залишки гички з головок коренеплодів, а обрізувач головок 4, який виконаний в вигляді пасивного копіра та пасивного ножа обрізує головки коренеплодів на заданому рівні згідно з агротехнічними вимогами до процесу роботи гичкозбиральних модулів.

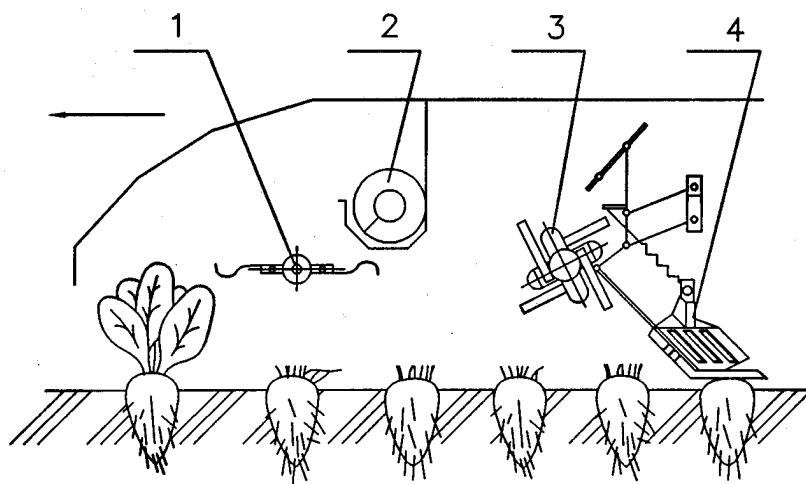


Рис. 1.17. Функціональна схема збирання гички коренезбиральною машиною KR-6 фірми „Kleine”: 1 – гичкоріз роторний; 2 – шнек; 3, 4 – відповідно, очисник і дообрізник головок коренеплодів

Даний тип гичкозбирального пристрою також встановлено на самохідній бункерній коренезбиральній машині SF-10 (20) цієї ж фірми.

Завдяки безступінчастому регулюванню робочої висоти роторного гичкоріза 1 досягається оптимальна висота зрізування основного масиву гички з головок середньо- та високостоячих коренеплодів і задовільна якість роботи на забур'яненних полях та значній робочій швидкості руху машини.

У більшості французьких бурякозбиральних комплексів („Herriau”, „Moreau”), а також у німецькому збиральному комплексі „Stoll” застосовується

гичкозбиральний пристрій, в якому перша операція – попереднє обрізування гички, здійснюється горизонтальним роторним гичкорізом 1 (рис. 1.18) з шарнірно підвішеними ножами, як і в бурякозбиральній машині KR-6. Але на відміну від коренезбиральної машини KR-6 у більшості цих бурякозбиральних комплексів відсутній очисник головок коренеплодів, а видалення залишків гички з головок коренеплодів, які залишилися після зрізування основного масиву гички роторним гичкорізом 1 відбувається тільки обрізувачем головок коренеплодів 2, будова якого аналогічна будові обрізувача машини KR-6.

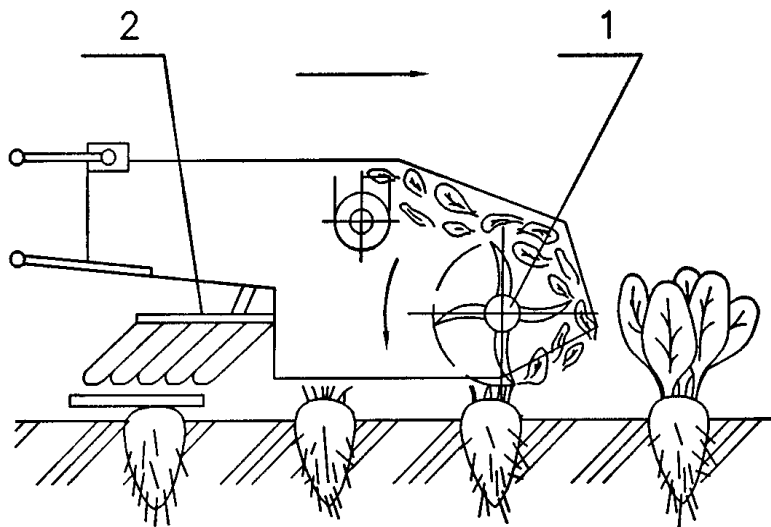


Рис. 1.18. Функціональна схема видалення гички коренезбиральною машиною фірм “Herriau”, “Moreau”, “Stoll”: 1 – гичкоріз роторний; 2 – дообрізник залишків гички

У коренезбиральних машинах італійських фірм (“Barigelli”, “Rimesco”, “Guaresi” та ін.) збирання гички відбувається за три стадії: на першій стадії основний масив гички зрізується шарнірними ножами горизонтального роторного гичкоріза 1 (рис. 1.19); дві наступні стадії призначені для видалення залишків гички з головок коренеплодів – спочатку зрізуються залишки гички дообрізником, який виконаний у вигляді активного копіра 2 та пасивного ножа 3, а потім відбувається остаточне очищення поверхні коренеплодів від черешків гички плоскими лопатями 5, які розміщені на горизонтальному валу очисника головок коренеплодів 4.

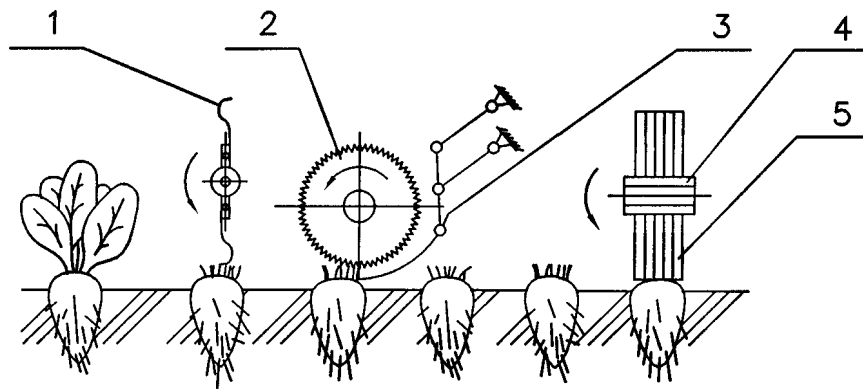


Рис. 1.19. Функціональна схема видалення гички коренезбиральними машинами фірм “Barigelli”, “Rimeco”, “Guaresi”:

1 – гичкоріз роторний; 2 – активний копір; 3 – пасивний ніж; 4 – очисник головок коренеплодів; 5 – очисний елемент

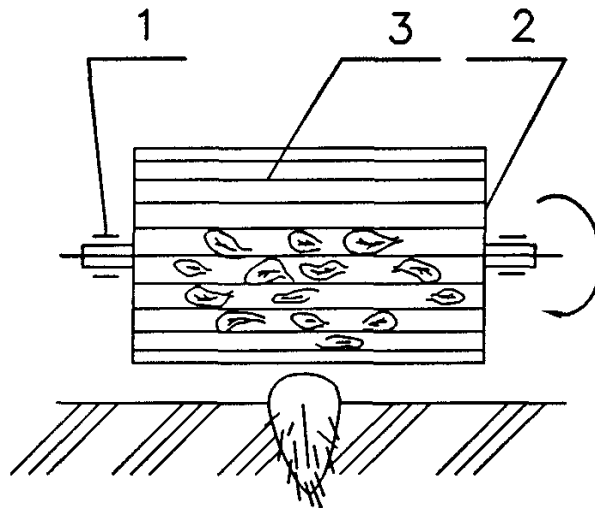


Рис. 1.20. Гичкозрізувальний пристрій, який суміщає процес копіювання головок і зрізування залишків гички: 1 – вал; 2 – диск; 3 – дріт

Таке виконання обрізника дає змогу більш точно проводити зрізання залишків гички та мінімізувати її залишкову кількість. Але поруч з позитивними елементами збирання гички в декілька операцій, конструкція таких гичкозрізувальних агрегатів має і недоліки, які характеризуються складністю механічного приводу, підвищеною металоємкістю та енергоємністю процесу збирання.

Заслужують уваги гичкозрізувальні пристрої в яких процеси копіювання головок коренеплодів і зрізування залишків гички суміщені в часі.

Відомі гичкозрізувальні пристрої, які мають горизонтальний вал 1 (рис. 1.20), на якому встановлено два диски 2 на певній відстані відносно один від одного. По периметру обидва диски з'єднані між собою сталевими дротами 3, або нитками з високоміцного матеріалу. Барабан, утворений з двох дисків і сталевих дротів, має можливість вільно рухатися в вертикальній площині. Під час роботи барабан обертається і перекочується по головках коренеплодів. Листя гички, що попадає в міждротовий простір, порційно зрізується і подрібнена гичка надходить у внутрішню частину барабана. Через вікна, які утворено в дисках, подрібнена гичка просівається на ґрунт.

На основі дослідження технологічних процесів зрізування гички коренеплодів і конструктивно-технологічних схем гичкозбиральних машин, можна констатувати, що на сучасному етапі збирання гички коренеплодів кормових буряків відбувається у складі коренезбиральної машини у два етапи:

- на першому етапі зрізують основний масив гички гичкозрізувальними пристроями;
- на другому етапі видаляють залишки гички з головок коренеплодів видаляючими пристроями, рис. 1.21.

При цьому гичкозрізувальні пристрої зрізують основний масив гички тільки за принципом «на корені», яке відбувається без копіювання головок коренеплодів (безкопінний зріз), а видалення залишків гички з головок коренеплодів може відбуватися за одну або дві фази:

- однофазне видалення – видалення залишків гички з головок коренеплодів обрізником (рис. 1.21а);
- двофазне видалення – попереднє видалення залишків гички шляхом очищення головок коренеплодів пружними елементами та кінцеве – обрізником (рис. 1.21б, в).

Гичкозрізувальні пристрої, які збирають основний масив гички без копіювання головок коренеплодів виконуються, як правило, у вигляді роторного гичкоріза 1, рис. 1.21. Він простий за конструктивним виконанням і надійні в роботі у технологічному плані.

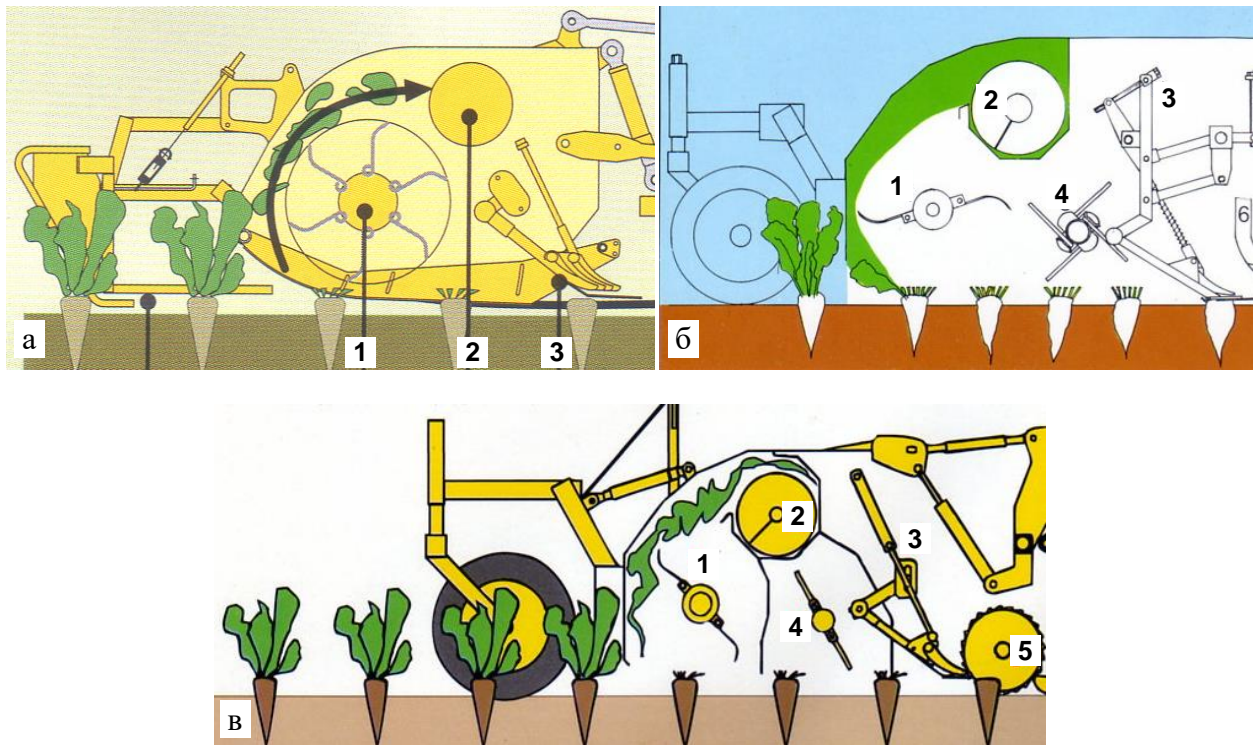


Рисунок 1.21 – Функціональна схема збирання гички гичкозбиральним модулем коренезбиральної машини KR-6 фірми "Kleine": а – однофазне видалення залишків гички з головок коренеплодів; б, в – двофазне видалення залишків гички з головок коренеплодів; 1 – роторний гичкоріз; 2 – шнековий конвеєр; 3 – обрізник головок коренеплодів з пасивним ножем; 4 – очисник головок; 5 – обрізник головок коренеплодів з активним дисковим ножем

Роторний гичкоріз складається з вала 1, на барабані 2 якого шарнірно закріплені ріжучі ножі 3 (рис. 1.22), які виконані S-подібними. S-подібні ножі отримали широке застосування в машинах провідних фірм країн Західної Європи ("Matrot", "Herriau", "Stoll", "Fahse", "Kleine", "Tim" та ін.) та США (додаток Б.2.2).

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

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

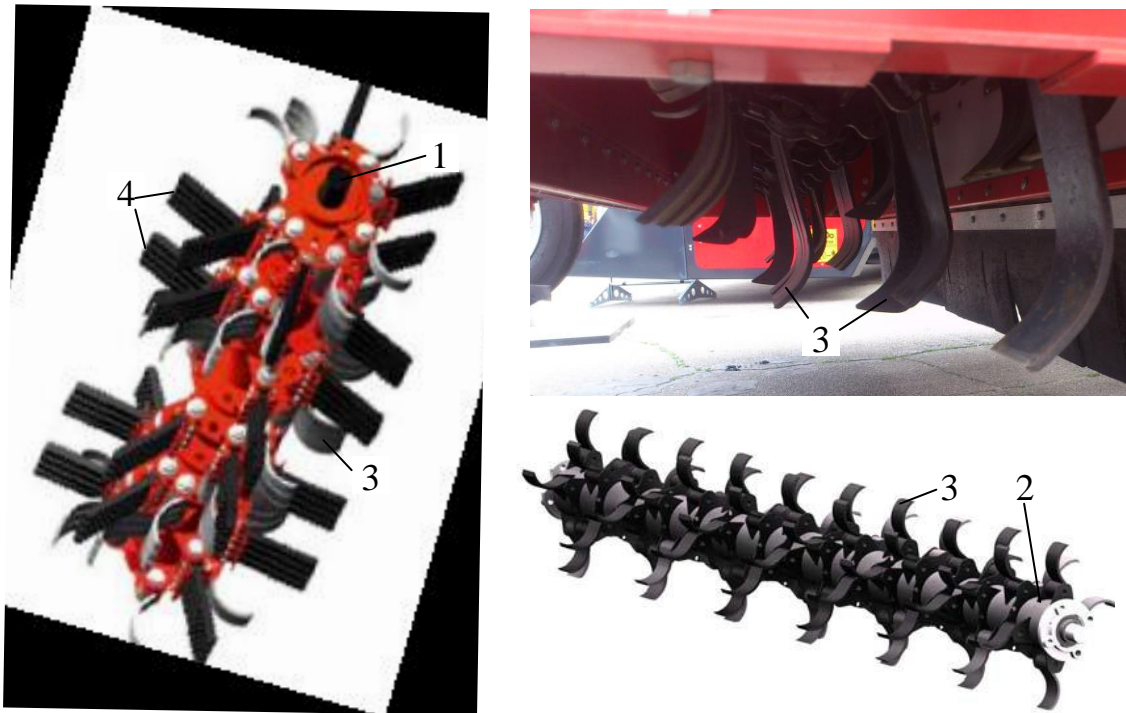


Рисунок 1.22 – Загальний вигляд роторного гичкоріза: 1 – вал; 2 – барабан;
3 – S-подібні ножі; 4 – пружні елементи

За кордоном широко застосовуються гичкозбиральні модулі, в яких збирання гички виконується за дві або за три послідовні фази.

Наприклад, шестирядна коренезбиральна машина KR-6 виробництва фірми „Kleine” може збирати гичку за двофазним або трифазним способом залежно від стану поля та умов збирання.

За двофазного способу роторний гичкоріз 1 (рис. 1.21а) зрізує на встановленій висоті відносно поверхні ґрунту основний масив гички та подає її на шнековий конвеєр 2. Далі залишки гички на головках коренеплодів видаляються обрізником 3.

За трифазного способу роторний гичкоріз 1 (рис. 1.21б) зрізує на встановленій висоті відносно поверхні ґрунту основний масив гички та подає її на шнековий конвеєр 2. Далі залишки гички на головках коренеплодів видаляються очисником головок 4 та обрізником 3 з пасивним плоским ножем або обрізником 5 (рис. 1.21в) з активним дисковим ножем.

Крім того, за наявності на барабані 2 (рис. 1.22) роторного гичкоріза пружних елементів 4, видалення залишків гички з головок коренеплодів

відбувається у два етапи – одночасно зі зрізуванням основного масиву гички S-подібними ножами 3 відбувається попереднє очищення головок коренеплодів від залишків гички пружними елементами 4 з наступним обрізуванням обрізником.

При цьому очисник головок коренеплодів 4 (рис. 1.21) за рахунок обертання пружних очисних елементів, які розташовані на барабані горизонтального вала видаляє залишки гички з головок коренеплодів, а обрізувач головок 3 або 5, який виконаний, відповідно, у вигляді пасивного копіра та пасивного ножа або пасивного копіра та активного ножа обрізує головки коренеплодів на заданому рівні згідно з агротехнічними вимогами.

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

Роторний гичкоріз забезпечує високу продуктивність роботи машини в процесі збирання високоврожайної гички і доволі значної наявності бур'янів на плантації рослин. У свій час у вітчизняній практиці машинобудування даний тип апарату для збирання основного масиву гички коренеплодів широкого використання не одержав внаслідок того, що гичка дуже подрібнювалася і після цього ставала непридатною для згодовування худобі.

Для транспортування зрізаного основного масиву гички застосовують шнековий конвеєр, який виконується у вигляді жолоба 1 (рис. 1.23) та встановленого в ньому шнека 2, який вивантажує гичку у валок на зібране поле.

У сучасних гичкозбиральних машинах для обрізування залишків гички з головок коренеплодів найбільше розповсюдження одержали обрізники головок коренеплодів трьох типів, які розрізняють за конструкцією і компоновкою основних робочих органів – формою копіра та конструкцією ріжучого ножа:

пасивний копір-пасивний ніж (рис. 1.24а); пасивний копір-активний ніж (рис. 1.24б); активний копір-пасивний ніж (рис. 1.24в).

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

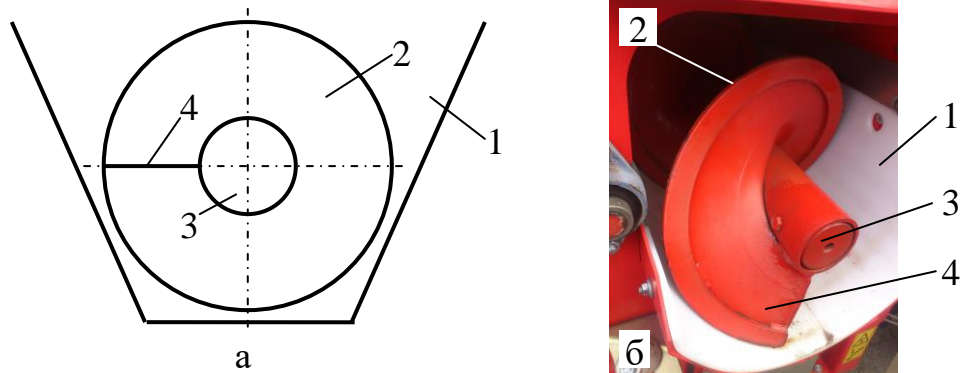


Рисунок 1. 23 – Схема (а) та загальний вигляд (б) шнекового конвеєра гичкозбирального модуля: 1 – жолоб; 2 – шнек; 3 – барабан; 4 – спіральний виток

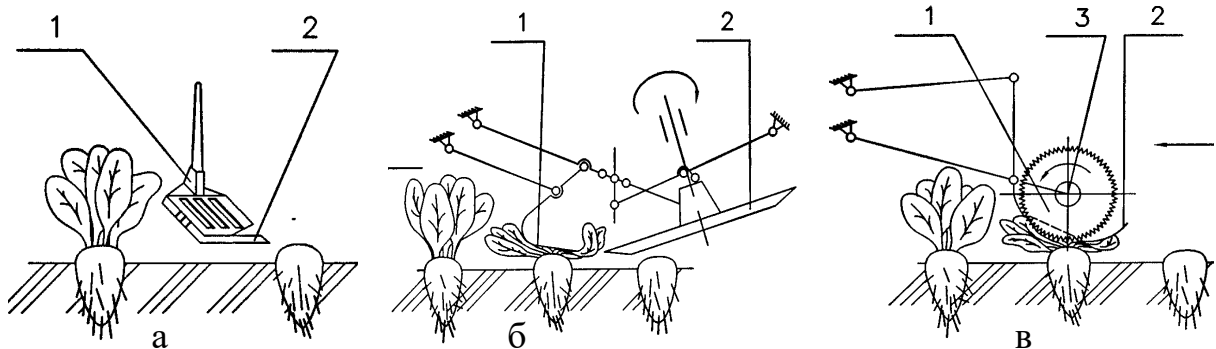


Рисунок 1.24 – Схема обрізника залишків гички з головок коренеплодів: а – пасивний копір-пасивний ніж; б – пасивний копір-активний дисковий ніж; в – активний дисковий копір-пасивний ніж

Обрізник, в якому пасивний копір 1 (рис. 1.24б) поєднується з активним дисковим ножом 2 застосовуються на полях з середньою врожайністю гички, низьким розташуванням головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту та значним закріпленням коренеплодів в ґрунтовому середовищі.

Пасивний копір може бути виготовлений у вигляді гребінки, або полозка. Такі обрізники працюють задовільно при швидкості руху гичкозбиральної машини до 1,3...1,6 м/с в широкому діапазоні погодних умов і забезпечують достатній збір гички.

Але при збільшенні робочої швидкості руху значно погіршується технологічний процес зрізування гички, що приводить до значного підвищення втрат маси головки коренеплодів і їх вивалювання з ґрунту за рахунок випадкової нерівномірності заданої висоти зрізування головок коренеплодів.

Поєднання активного коткового копіра 1 (рис. 1.24б), який обертається на осі 3 та пасивним ножем 2 є типовим для обрізників машин Е-732, Е-734, (Німеччина), 30СХ (Чехія). Вони застосовуються на полях коренеплодів із високою врожайністю гички (до 40...50 т/га), яка збирається для використання у якості соковитих кормів.

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

Обрізники з пасивним копиром 1 (рис. 1.23а) і пасивним ножем 2 застосовуються для обрізування залишків гички з головок коренеплодів, з яких гичка попередньо видалена (машини фірм „Kleine”, „Herriau”, „Stoll”, „Moreau” та ін.).

Теоретичному та експериментальному дослідженню технологічних процесів збирання гички коренеплодів з визначення конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбиральних машин присвячені праці багатьох вчених. За результатами наукових досліджень у них описано основи теорії взаємодії головок коренеплодів з робочими органами роторних гичкорізів і обрізників залишків гички з головок коренеплодів, викладено методики проведення експериментальних досліджень.

У працях Босого Є.С. наведено результати досліджень гичкозрізувальних апаратів, де було встановлено горизонтальну ϑ_s та колову ϑ_k швидкість копіра

у момент його контакту з головкою коренеплоду та горизонтальну складову R_s рівнодіючої сили нормального тиску копіра на головку коренеплоду з умови його не вивалювання з ґрунту

$$\mathcal{G}_s = \mathcal{G}_M - \mathcal{G}_k \cos \alpha_o = 0; \mathcal{G}_k = \mathcal{G}_M / [1 - (h/d_k)]; \quad (1.1)$$

$$R_s = N \sin(\alpha_k + \varphi) / \cos \varphi \leq [P_s], \quad (1.2)$$

де \mathcal{G}_M – поступальна швидкість руху машини; α_o – кут зустрічі щупа-копіра з коренеплодом; h – висота головки коренеплоду над рівнем ґрунту; d_k – діаметр щупа-копіра; N – сила нормального тиску та коренеплоду з ґрунту;

$[P_s]$ – допустиме значення сили вивалювання; α_k – кут нахилу робочої поверхні щупа-копіра до горизонту; φ – кут тертя.

У працях Василенка А.А. та Герасимчика В.Г. розроблено динамічну модель процесу копіювання головок коренеплодів дисковим копіром та зрізування гички з окремого коренеплоду, що дозволило обґрунтувати параметри робочого органу залежно від відстані між коренеплодами в рядку:

- динамічну модель процесу копіювання та зрізування гички з окремого коренеплоду, на основі якої встановлено залежність зміни діаметра активного дискового копіра від відстані між коренеплодами в рядку та їх діаметра (рис. 1.25а), а також визначено оптимальну відстань між коренеплодами у рядку;

- умову стійкості коренеплоду в вертикальній площині у момент контакту з ним дискового копіра:

$$\frac{P'_n + F_n}{m} + g \frac{\sin(90^\circ \pm \theta)}{\sin(90^\circ - \beta \mp \theta)} - \frac{(r + 0,5D)^2 \mathcal{G}_n^2 \sin^2 \varphi_n}{\cos(\beta \pm \theta) \sqrt{[(r + 0,5D)^2] - \mathcal{G}_n^2 t^2 \sin^2 \varphi_n}} \geq 0, \quad (1.3)$$

де P'_n , F_n – відповідно, сила стиснення пружини підвіски копіра і ножа та її нормальна складова; m – маса рухомих частин апарату; θ – кут між повідком копіра та горизонталлю; β – кут між горизонтальною площиною и дотичною у

точці контакту; φ_n – кут відхилення повідка від вертикалі; r – середній радіус головки коренеплоду; D – діаметр дисків копіра; \mathcal{Q}_n – поступальна швидкість руху машини; t – час підйому копіра на головку коренеплоду;

- встановлено залежність для визначення зазору S між ножем і копіром у горизонтальній площині, рис. 1.25б

$$S = \sqrt{2rz - z^2}, \quad (1.4)$$

де z – висота зрізування головки коренеплоду.

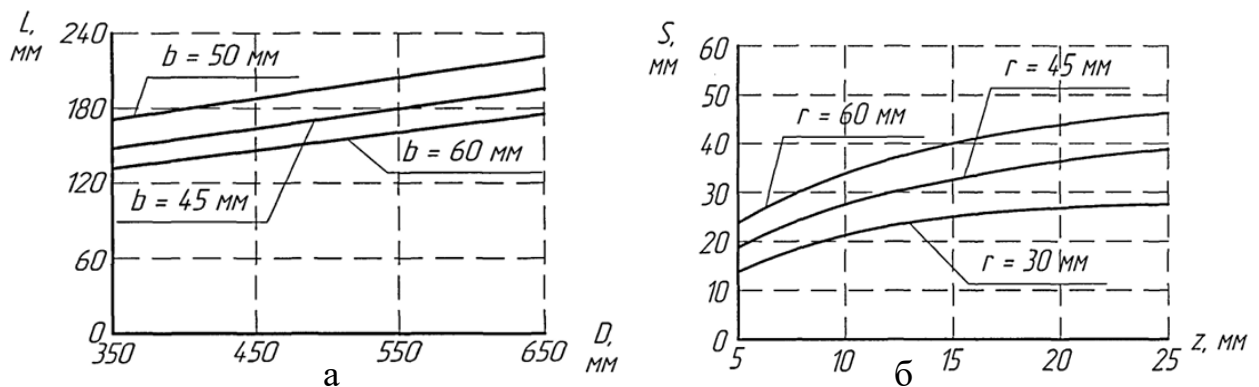


Рисунок 1.25 – Залежність: а – зміни відстані L між коренеплодами у рядку від діаметра диска копіра ($D_c = 30$ мм; $S=10$ мм; $r=45$ мм); б – зміна висоти зрізування головки від відстані між лезом ножа і вертикальною віссю обертання диска копіра

На основі обґрунтованих параметрів процесу було розроблено експериментальний гичкозрізувальний апарат. За поступальної швидкості руху гичкозбиральної машини 1,1...2,2 м/с було отримано наступні показники якості зрізування головок коренеплодів: коренеплодів з нормальним зрізом – 96,4...98,3 %, коренеплодів з високим зрізом – 1,7...3,6 %, коренеплодів з низьким зрізом – 1,2...2,8 м/с.

Дослідження показали, що оптимальна відстань між коренеплодами у рядку повинна становити $L \geq 170$ мм.

За менших інтервалів L необхідна якість обрізування досягається в тому випадку, коли різниця рівнів положень головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту не перевищує 3,0...3,5 см.

Л.В. Погорілий визначив умову нормального зрізування гички з головок коренеплодів на основі врахування їх основних характеристик і вертикального зазору b_e між копіром і ножом гичкозрізувального апарату (рис. 1.26а), а також наявних відхилень різального апарату під час процесу копіювання головок коренеплодів (рис. 1.26б).

Було отримано графічні залежності, які характеризують якість обрізування головок коренеплодів від їх висоти розташування відносно рівня поверхні ґрунту, висоти коронки, відстані між коренеплодами у рядку, відхилення коренеплодів від осової лінії рядка тощо.

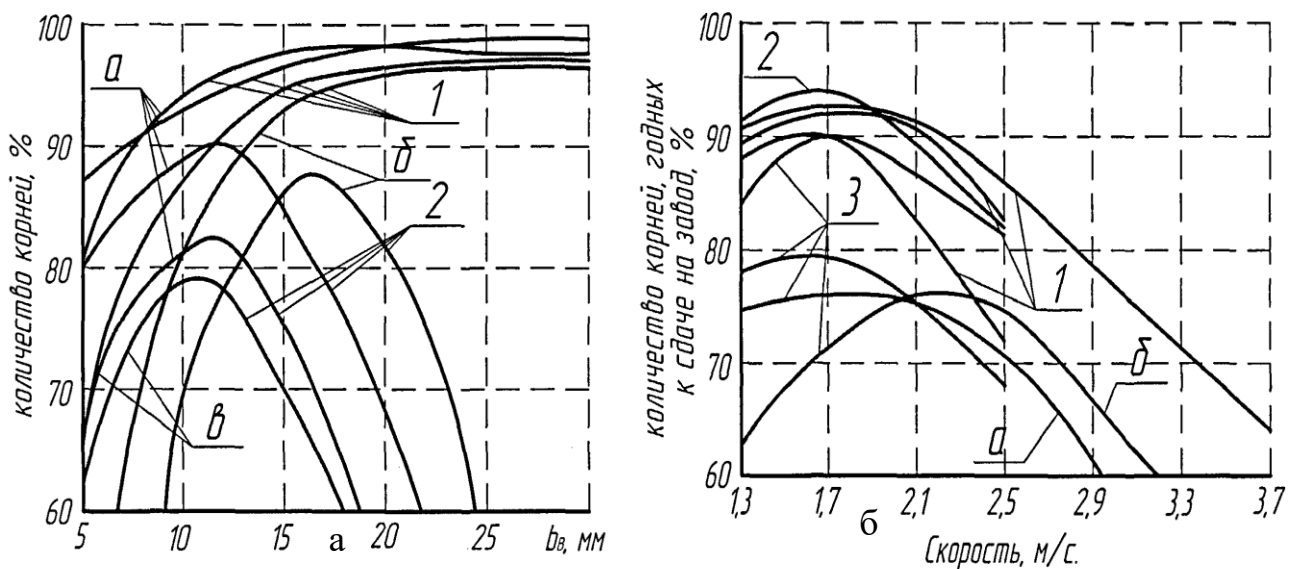


Рисунок 1.26 – Залежність якості обрізування залишків гички з головок коренеплодів: а – від величини зазору b_e ; б – від швидкості руху гичкозрізувального апарату

У роботах Погорілого Л.В. і Татянка М.В. було проведено аналіз динаміки та кінематики копіювання і обрізування ізольованого коренеплоду.

Для цього цикл робочого процесу обрізування розбивали на три фази: перша – з моменту дотику копіра з головкою до початку його руху відносно рами машини (піднімання); друга – рух копіра і ножа (піднімання) відносно несучої рамки; третя – зрізування верхівки головки. Було розроблено динамічну модель або динамічну умову яка обмежує робочу швидкість руху гичкозбиральної машини:

$$V_M \leq \sqrt{\frac{Q_{Hi} \cos \psi_n}{2M_n \delta} [L - d_k + (\delta/i) \operatorname{tg} \psi]}, \quad (1.5)$$

де Q_{Hi} – сума приведених до ножа статичних сил; ψ_n – кут нахилу осі обертання ножа до вертикалі; M_n – маса рухомих частин апарату приведених до ножа; δ – перевищення коренеплодів один над одним; L – відстань між сусідніми коренеплодами у рядку; d_k – діаметр коренеплоду; i – вертикальна похибка, яка дорівнює відношенню вертикального переміщення копіра до відповідної вертикальної складової переміщення ножа.

Було встановлено що оптимальна маса рухомих частин обрізника повинна складати $M_n \leq 12$ кг.

В.М. Булгаков досліджував процес взаємодії пасивного копіра з коренеплодом. У результаті проведених досліджень отримано аналітичний вираз для визначення робочої швидкості V_p , при якій буде здійснюватись ефективна робота гичкозрізувального апарату

$$V_p = \sqrt{\frac{10 - P_n \cdot \sin \alpha - F \cdot \sin \alpha}{6m \cdot (1 + \varepsilon) \cdot \sin^2 \alpha}}, \quad (1.6)$$

де P_n – сила, що примусово притискає копір до головок коренеплоду; α – кут між напрямком удару і площиною копіра; F – сила, яка враховує сили тертя в шарнірах механізму навіски; ε – коефіцієнт відновлення при ударі копіра об головку коренеплоду; m – приведена до точки А маса гичкозрізувального апарату.

У результаті експериментальних досліджень процесу безкопірного зрізу головок коренеплодів цукрових буряків проведеного Зуєвим М.М. визначено кількість відходів цукроносної маси та залишків гички на коренеплоді при встановленні ножа ріжучого апарату відносно поверхні ґрунту на висоті 10...50 мм з інтервалом 10 мм. Ним же встановлено розподіл висот розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту.

Методика вибору граничних значень основних параметрів дискового ножа, що використовується для зрізування гички цукрових буряків була розроблена Аніловичом В.Я. та Сичовим І.П. Побудована номограма дозволяє визначати значення товщини кромки та кута заточування ножа. Встановлено, що нижнє розташування фаски підвищує якість обрізування коренеплодів.

Величину, що характеризує процес різання з ковзанням обґрунтовано Горячкіним В.П. Згідно його досліджень коефіцієнт різання з ковзанням дорівнює $\varepsilon = V_t / V_n$, де V_t – тангенціальна швидкість ножа; V_n – нормальна швидкість ножа.

У роботах Желіговського В.А. на основі експериментів встановлено залежність між нормальним тиском леза на матеріал P_n , тангенціальною силою P_t , яка необхідна для створення нормального S_n і тангенціального S_t переміщень леза відносно матеріалу. Проведені дослідження показали, що за умови зменшення сили нормального тиску P_n , необхідна різання сила P_t зростає, за яких рівнодіюча R є постійною величиною

$$R = \sqrt{P_n^2 + P_t^2} \approx const. \quad (1.7)$$

Резнік М.Є. розглядав різання рослинних однорідних пружно в'язких матеріалів одностороннім клином. Розділенню матеріалу на частини під дією леза передуює процес попереднього стиснення ним матеріалу до виникнення на його кромці руйнуючого контактного напруження δ_p . Момент виникнення контактних напружень визначається значенням зусилля $P_{кр}$, прикладеним до ножа і сил опору різного походження, що виникають у матеріалі. Критична сила різання $P_{кр}$, прикладена до ножа дорівнює

$$P_{кр} = P_{рез} + P_{сж} + T_1 + T_2', \quad (1.8)$$

де $P_{рез}$ – опір руйнуванню матеріалу під кромкою леза; $P_{сж}$ – опір шару стиснення фаскою леза; T_1 – сила тертя (направлена вертикально вгору); T_2' – сила тертя, направлена під кутом β нахилу фаски;

$$P_{кр} = \delta \sigma_p + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{сж}^2}{h} [tg\beta + f \sin^2 \beta + \mu(f + \cos^2 \beta)], \quad (1.9)$$

де δ – товщина леза; σ_p – руйнуюче контактне напруження; E – модуль деформації матеріалу; $h_{сж}$ – величина проникнення леза в шар матеріалу; h – товщина шару матеріалу; β – кут нахилу фаски леза; f – коефіцієнт тертя матеріалу з лезом; μ – коефіцієнт Пуассона.

На основі проведених досліджень Татьянко М.В. отримав графічні залежності, які характеризують якість обрізування головок коренеплодів від їх висоти розташування відносно рівня поверхні ґрунту, висоти коронки, відстані між коренеплодами у рядку, відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка.

Аванесов Ю.Б. у своїх дослідженнях стверджує, що для типових умов лісостепової зони цілеспрямовано використовувати гичкозрізаючі апарати з гребінчастим копіром і активним ножем. Застосування такої конструкції дозволяє понизити масу і підвищити оптимальну швидкість до 2,0 м/с. За рахунок вдосконалення конструкції очисників головок робочі швидкості гичкозрізаючих машин можуть бути підвищені до 2,7 м/с.

Згідно даних робіт Мишина М.А. гичкозрізувальні апарати, які складаються з активних дискових копирів і пасивних плоских ножів забезпечують якісне зрізання гички лише на швидкостях до 1,44 м/с. З підвищення швидкості ефективності їх роботи зменшується, зокрема, із-за значної маси рухомих частин (системи підвіски і копіра). Наприклад, кількість обрізаних коренеплодів машиною за швидкості 1,61 м/с досягає 71,9 %, а при швидкості 1,83 м/с – 63,3 %. Такі апарати застосовують в регіонах, де природно-кліматичні умови подібні з умовами західноєвропейських країн. Як правило, в таких умовах коріння буряка більше виступає над рівнем ґрунту і слабкіше закріплені в ній. Оптимальна робоча швидкість машин обладнаних такими апаратами складає 1,3...1,5 м/с при невисоких (4...5 %) втратах цукристої маси. Такі апарати застосовуються в конструкціях закордонних бурякозбиральних комбайнах і гичкозбиральних машинах.

Мішин М.А., Бабко И.П. і Борщевська Є.Б. пропонують гичкозрізувальні апарати з активними дисковими ножами використовувати при робочій швидкості руху до 1,9 м/с, врожайності гички до 30 т/га, рівномірному розміщенні коренеплодів в рядку і відносно поверхні поля.

За результатами випробувань машин масова частка нормально зрізаних коренеплодів при швидкості 1,4 м/с складає 97,7 %, а площа гладкої поверхні зрізу 99,1 %.

Аналізуючи існуючі методики розрахунку процесів, які відбуваються при обрізуванні головок коренеплодів від залишків гички, можна стверджувати про те, що недостатньо точно враховуються особливості виконання даних технологічних операцій для збирання гички коренеплодів, в зв'язку з чим існує потреба у розробці та апробації досконаліших математичних моделей взаємодії гичкозрізувального робочого органу з коренеплодами.

1.3. Обґрунтування вибору схеми гичкозбирального модуля

На сучасному етапі розвитку коренезбиральної техніки гичку коренеплодів збирають двостадійним способом. Реалізація двостадійного способу збирання гички виконується робочими органами гичкозбирального модуля у складі коренезбиральної машини і, як правило, відбувається за однофазного способу збирання коренеплодів, рис. 1.27.

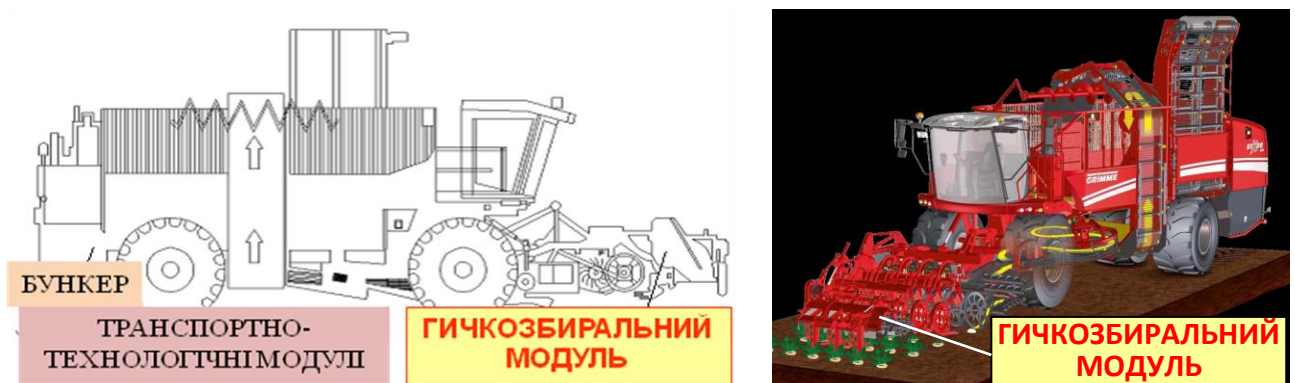


Рисунок 1.27 – Структурна схема модульної побудови коренезбиральної машини

На першій стадії збирають основний масив гички, при цьому виконують такі технологічні операції: зрізування основного масиву гички роторним гичкорізом з одночасним переміщенням подрібненої гички до шнекового конвеєра; транспортування (переміщення) подрібненої гички шнековим конвеєром; вивантаження гички шнеком і її укладання у валок на зібране поле (рис. 1.28а), або розкидання по полю роторним гичкометальником (рис. 1.28б), який встановлено за вихідним кінцем шнека.



Рисунок 1.28 – Схема операцій збирання гички коренеплодів

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

У зв'язку з наявними суттєвими конструктивними та технологічними недоліками роботи робочих органів гичкозбиральних модулів (пошкодження,

вибивання коренеплодів з ґрунту та втрати коренеплодів у важких умовах збирання, динамічні навантаження на головки коренеплодів тощо), що значно обмежує їх застосування для збирання гички коренеплодів кормових буряків, більшість авторів акцентують увагу на тому, що інтенсивність і ступінь динамічного навантаження робочих органів на головки коренеплодів залежить не тільки від технологічних параметрів процесу зрізування гички, а також від агробіологічних і фізико-механічних властивостей коренеплодів і гички, які регламентують кінематично-динамічні характеристики процесу їх збирання.

Особливістю збирання коренеплодів кормових буряків є те, що основну масу зібраних коренеплодів потрібно відправити в сховища для їх зберігання, або зберігати в польових кагатах для наступного згодовування тваринам в зимовий період. Наявність залишків гички на головках коренеплодів і їх пошкодження призводять до загнивання коренеплодів і втрати їх споживчих якостей.

Обмежуючим фактором якісного збирання гички коренеплодів кормових буряків, порівняно з коренеплодами цукрових буряків є їх значна нерівномірність розташування головок над рівнем поверхні ґрунту – показник висоти розташування коливається в межах від 3 до 20 см.

У результаті аналізу технологічних процесів і робочих органів, які призначені для збирання гички коренеплодів, а також теоретично-експериментальних досліджень, які характеризують обґрунтування основних параметрів та режимів роботи гичкозбиральних механізмів (пристроїв, агрегатів) встановлено, що на даний час домінуючим способом збирання гички кормових буряків є зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з наступним зрізуванням залишків гички з головок коренеплодів обрізником типу «пасивний копір-пасивний ніж», рис.1.29.

Він складається з паралелограмної підвіски 1 (рис. 1.29) на якій змонтовано пасивний гребінчастий копір 2 та встановлений за ним пасивний плоский ніж 3. Під час руху гичкозбирального модуля копір 2 наїжджає на головки коренеплодів і копіює їх.

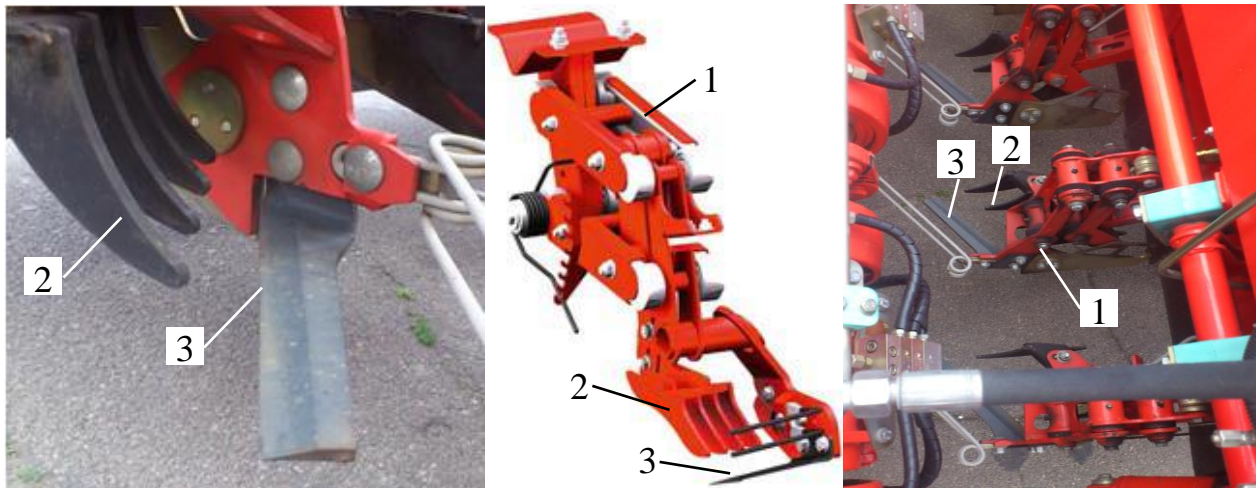


Рисунок 1.29 – Загальний вигляд обрізника залишків гички з головок коренеплодів: 1 – паралелограмна підвіска; 2 – пасивний гребінчастий копір; 3 – пасивний плоский ніж

Цей рух копіра через паралелограмну підвіску передається ножу, який обрізує головки коренеплодів на заданій копиром висоті зрізування.

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

Окрім того, наявні значні динамічні навантаження гребінчастого копіра, які виникають у процесі його кінематичного контакту з головою коренеплодів призводять до зростання горизонтальної сили, дія якої регламентує показник вивалювання або вибивання коренеплодів кормових буряків з ґрунтового середовища та який значно перевищує встановлені агротехнічні вимоги до процесу збирання кормових буряків – кількість вивалених коренеплодів з ґрунту досягає показника від 25 до 45 % залежно від умов збирання.

Разом з тим, під час роботи гичкозбирального модуля в умовах мінливої зміни (значного збільшення) врожайності гички на ділянках поля, не в

достатній мірі забезпечується технологічний процес переміщення гички шнековим конвеєром, що призводить до втрат зрізаної гички на незібране поле та погіршення показників якості очищення коренеплодів під час їх викопування робочими органами копача та очищення від домішок очисними системами коренезбиральної машини.

На основі проведеного аналізу показників якості роботи та технологічних показників збирання гички існуючими гичкозрізувальними механізмами, нами запропоновано удосконалений гичкозбиральний модуль, конструктивна схема якого наведена на рис. 1.30.

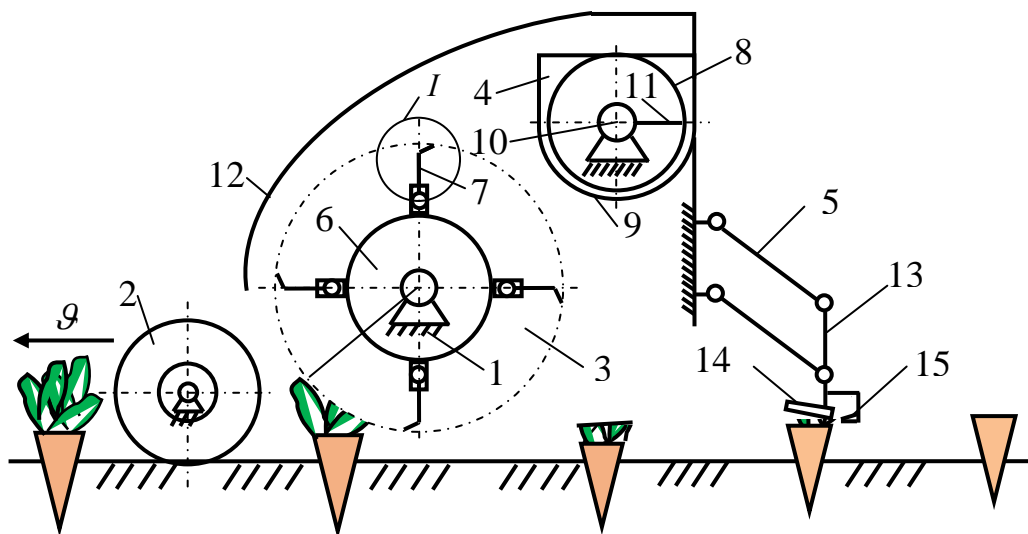


Рисунок 1.30 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля: 1 – рама; 2 – колесо опорне; 3 – роторний гичкоріз; 4 – гвинтовий конвеєр; 5 – обрізник; 6, 10 – барабан; 7 – Г-подібний ніж; 8 – шнек; 9 – жолоб; 11 – виток; 12 – кожух направляючий; 13 – паралелограмна підвіска; 14 – гребінчастий копір; 15 – плоский ніж

Гичкозбиральний модуль складається з рами 1, на якій встановлено опорні колеса 2, роторний гичкоріз 3, гвинтовий конвеєр 4, обрізувачі 5 головок коренеплодів. Роторний гичкоріз виконано у вигляді барабана 6, на якому шарнірно встановлено ножі 7. Гвинтовий конвеєр виконано у вигляді шнека 8, встановленого у жолобі 9. Шнек 8 виконано у вигляді барабана 10 на якому закріплено спіральні витки 11. Верхня частина ножів і гвинтового конвеєра закрита кожухом 12. Позаду жолоба змонтовано обрізувачі головок

коренеплодів, кожен з яких виконано у вигляді паралелограмної шарнірної підвіски 13, на якій послідовно змонтовано пасивний гребінчастий копір 14 і плоский ніж 15. Ножі обертаються зустрічно напрямку руху гичкозбирального модуля, а висота зрізування основного масиву гички регулюється вертикальним переміщенням опорних коліс на рамі.

Удосконалення робочих органів гичкозбирального модуля полягає у наступному:

- роторний гичкоріз – ножі 7 (рис. 1.30), або, відповідно, ножі 1 (див. рис. 1.31а) виконано Г-подібної форми, які за допомогою опорних пластин 2, що закріплені на барабані 3 роторного гичкоріза та пальця 4, встановлено шарнірно. Лезо 5 ріжучої кромки 6 ножа Г-подібної форми утворює з горизонтальною віссю обертання барабана 3 гострий кут α ;

- гвинтовий конвеєр – крок спіральних витків 11 (рис. 1.30) шнека 8 збільшується в сторону вивантаження зрізаної гички;

- обрізник залишків гички з головок коренеплодів – плоский ніж 15 (рис. 1.30), або, відповідно, ніж 10 (рис. 1.31б) встановлено на нерухомому вертикальному пальці 8 з можливістю його повороту та завдяки пружини 9 виконано підпружиненим; ніж 4 (рис. 1.31в) завдяки блоку приводу 8 ножа виконано активним з можливістю зворотно-поступального руху в горизонтальній площині; копір 14 (рис. 1.30), або, відповідно, гребінчастий копір 2 (рис. 1.31г) встановлено на амортизаторі 3.

Гичкозбиральний модуль працює наступним чином.

Під час переміщення гичкозбирального модуля вздовж рядків коренеплодів кормових буряків і обертання роторного гичкоріза 3 (рис. 1.30), Г-подібні ножі 7 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії направлення кожуха 12 так, щоб вона попадала в жолоб 9, або на шнек 8. Спіральні витки 11 шнека 4 транспортують гичку вздовж осі обертання шнека 4 в сторону його вихідної частини. Гребінчастий копір 14 обрізувача 5 головок коренеплодів наїжджає на головку коренеплодів, копіює головки коренеплодів і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски 13 передає це переміщення

гребінчастого копіра 14 ножу 15. Далі процес зрізу головок коренеплодів відбувається залежно від конструктивного удосконалення та виконання ножа

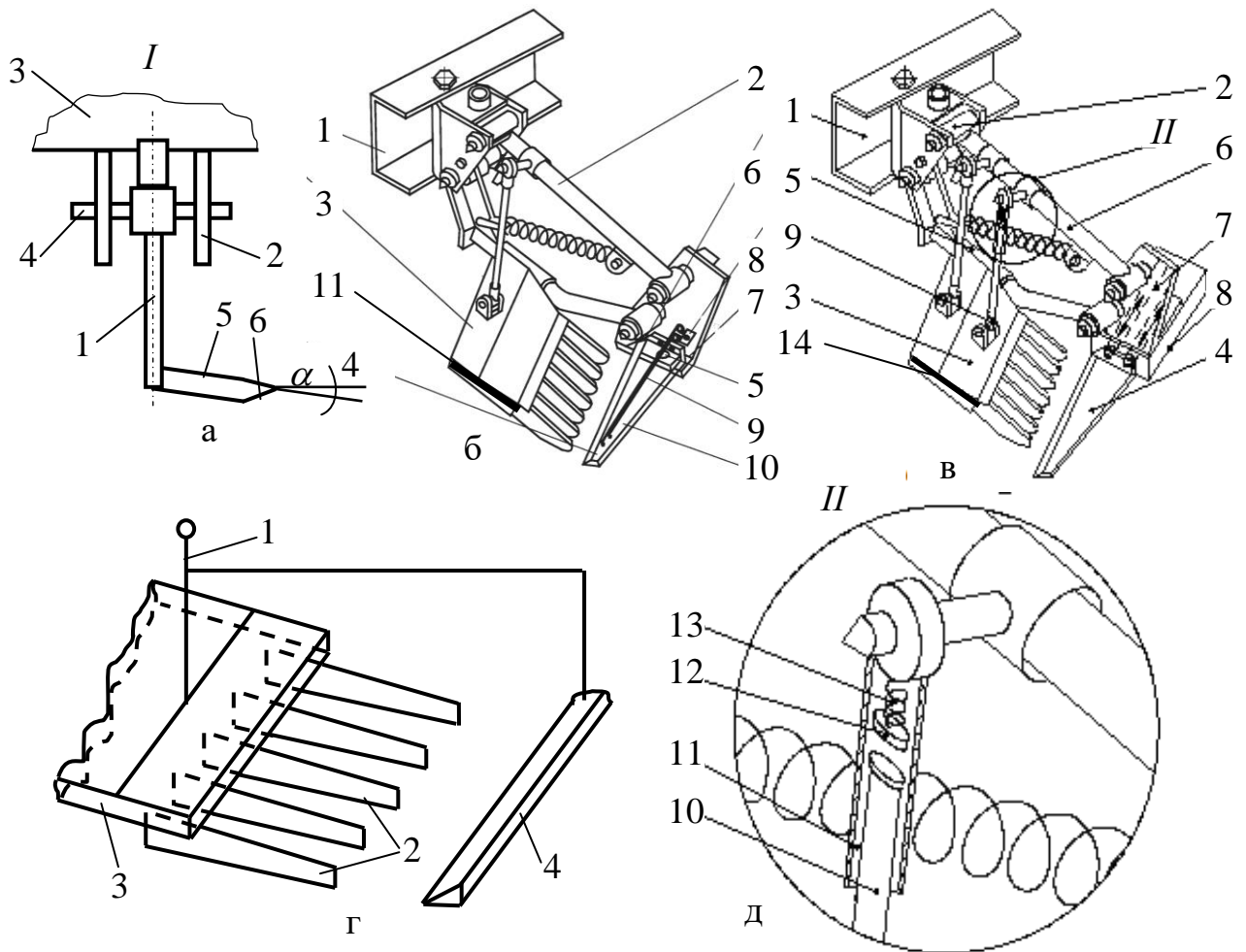


Рисунок 1.31 – Схеми удосконалених робочих органів: а – Г-подібний ніж: 1 – ніж; 2 – опорна пластина; 3 – барабан роторного гичкоріза; 4 – палець; 5 – лезо ножа; 6 – ріжуча кромка ножа; б – обрізника головок коренеплодів з підпружиненим пасивним ножем: 1 – рама; 2 – паралелограмна підвіска; 3 – гребінчастий копір; 4 – ріжуча кромка; 5 – кронштейн; 6, 7 – упори; 8 – палець; 9 – пружина; 10 – ніж; 11 – амортизатор; в, д – обрізника головок коренеплодів з активним ножем: 1 – рама; 2 – паралелограмна підвіска; 3 – гребінчастий копір; 4 – ніж; 5, 6, 9 – нижня, верхня та додаткова тяга; 7 – пластина; 10 – стержень; 11 – трубка; 12 – електричний датчик; 13 – пружина стиску; 14 – амортизатор; г – пасивного копіра з амортизатором: 1 – кронштейн паралелограмної підвіски; 2 – гребінчастий копір; 3 – амортизатор; 4 – ніж

15. При цьому: при використанні конструкції ножа, яку наведено на рис. 1.23б: ніж 10, рухаючись по головці коренеплодів, лезом ріжучої кромки 4 обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу. У процесі зрізування головки коренеплодів леза ріжучої кромки 4 ножа 10 і упор 7 відхиляється на вертикальному пальці 8 до упора 6, виконуючи різання методом ковзання. Після зрізування головки коренеплодів ніж 10 завдяки регулювальній пружині 9 повертається в попереднє положення. Після закінчення зрізу головки копір 3 і ніж 10 повертаються в початкове положення, а процес зрізу наступної головки коренеплодів аналогічний попередньому; при використанні конструкції ножа, яку наведено на рис. 1.18в, г: гребінчастий копір 3 копіює головки коренеплодів та за допомогою нижньої тяги 5 і верхньої тяги 6 паралелограмної підвіски 2 та встановлює на необхідну висоту зрізу ніж 4. При копіюванні головок коренеплодів стержень 10 переміщується у трубі 11 та стискає пружину 13. При стисканні пружини стиску 13 стержнем 10 відбувається замикання електричного датчика 12 та на блок приводу 8 ножа 4 подається електричний сигнал, який приводить у рух ніж 4, що рухається паралельно до своєї ріжучої кромки. Обрізавши головку коренеплодів ніж 4 здійснює зворотній рух у вихідне положення за допомогою блоку приводу 8 ножа 4.

Крім того, під час зустрічі копіра 2 (рис. 1.18г) з головкою коренеплодів відбувається ударна взаємодія робочої поверхні гребінчастого копіра 2 з головкою коренеплодів, що призводить до їх вивалювання з ґрунту, або пошкодження. Завдяки виконанню гребінчастого копіра 2 пружним, або наявності амортизатора удару 3, виконаного у вигляді пружної прокладки, сила удару гребінчастого копіра 2 значно зменшується за рахунок того, що частина енергії удару витрачається на деформацію амортизатора 3, або компенсується на деформацію прокладки. При цьому ця частина сили удару не передається на через кронштейн 1 на шарнірні з'єднання паралелограмної шарнірної навіски і копіру 2. Це знижує вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження.

Таким чином, заміна процесу рублення головок коренеплодів процесом різання з проковзування леза ріжучої кромки Г-подібного ножа роторного

гичкоріза та підпружиненого ножа обрізувача покращує якість зрізу основного масиву гички та обрізування головок за рахунок значного зменшення кількості їх сколів, а введення в конструкцію обрізувача головок коренеплодів амортизатора удару зменшує кількість вивалених і пошкоджених коренеплодів під час роботи гичкозбирального модуля.

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

1. Технологічний процес збирання гички коренеплодів кормових буряків існуючими механізмами не забезпечує встановлених показників якості зрізу головки, пошкодження, втрат та вивалювання коренеплодів з ґрунту згідно з агротехнічними вимогами.

2. Подальше вдосконалення технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків без розроблення нових конструктивних схем і обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля коренезбиральних машин практично вичерпало себе в плані підвищення якості зрізування гички.

3. Підвищення агротехнічних показників якості збирання гички коренеплодів кормових буряків доцільно здійснювати із застосуванням гичкозбирального модуля, у якого ніж обрізника головок коренеплодів виконано підпружиненим і з можливістю його повороту на пальці або який виконано активним і який при цьому здійснює зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині, а копір встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної прокладки.

РОЗДІЛ 2

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

2.1. Аналіз технологічної подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра

Технологічний процес роботи удосконаленого гичкозбирального модуля в першу чергу регламентується та в значній мірі залежить від кількісної технологічної подачі до гвинтового конвеєра 4 (рис. 1.30) рослинних компонентів, які зрізані Г-подібними ножами 7 роторного гичкоріза 3.

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

Окрім того, основні конструктивно-кінематичні параметри та режими роботи гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та їх взаємозв'язок функціонально залежний від критеріїв, які характеризують значення основних показників якості та технологічно-експлуатаційних показників раціональної стабільності його роботи.

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

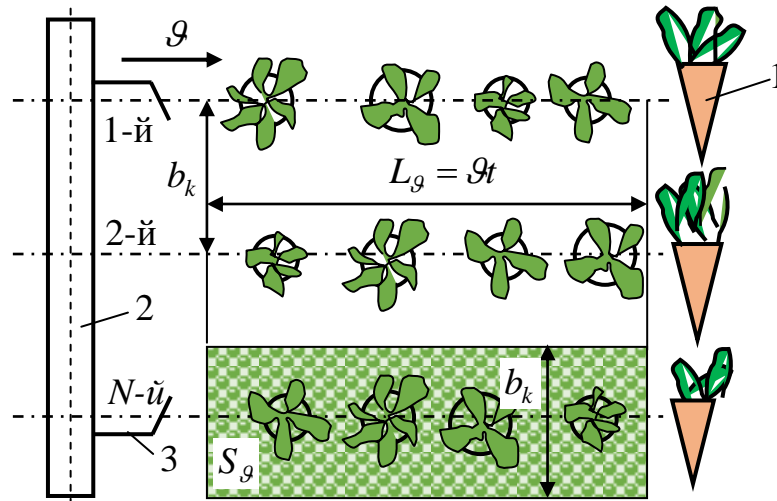


Рисунок 2.1 – Схема до розрахунку подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра: 1 – коренеплід; 2 – роторний гичкоріз; 3 – ніж

Відомо, що у загальному аспекті теоретична подача зрізаних ножами роторного гичкоріза рослинних компонентів з одного рядка коренеплодів за проміжок часу t , яку позначимо через $\Pi_{k1}(t)$, складається з сумарної подачі зрізаної гички $\Pi_{z1}(t)$ та подачі бур'янів $\Pi_{o1}(t)$, які знаходяться в рядку, або в одному суміжному міжрядді

$$\Pi_{k1}(t) = \Pi_{z1}(t) + \Pi_{o1}(t). \quad (2.1)$$

Якщо збирання гички відбувається з N рядків коренеплодів 1 (рис. 2.1), тоді сумарна теоретична подача зрізаних ножами 3 роторного гичкоріза 2 рослинних компонентів $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t)$ до гвинтового конвеєра за проміжок часу t визначається за формулою [119]

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

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

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

Теоретична подача зрізаної гички $\Pi_{z1}(t)$ ножами роторного гичкоріза з кожного одного i -го рядка коренеплодів за проміжок часу t залежить в основному від кількості коренеплодів K_{zi} з яких зрізано гичку ножами роторного гичкоріза та маси зрізаної гички M_{z1} (кг), яка залежить від урожайності гички i -го рядка коренеплодів U_{z1} , або $\Pi_{z1}(t) = M_{z1}K_{z1}(t) = U_{z1}S_gK_{z1}(t)$, де $S_g = L_g b_k$ – площа посіву одного рядка коренеплодів з якої зрізано гичку, м²; L_g – шлях, або кількість погонних метрів, який пройде модуль за час його переміщення t , м; b_k – ширина міжряддя коренеплодів, м.

Кількість коренеплодів $K_{z1}(t)$ (шт.) одного i -го рядка з якого зрізано гичку залежить від швидкості руху модуля \mathcal{G} , або шляху $L_g = \mathcal{G}t$, який пройде модуль за час t і середньої кількості коренеплодів k_z , які розташовуються на 1 погонному метрі рядка (1 п.м). При цьому k_z залежить від густоти насаджень посівів культури одного i -го рядка, яку позначимо через Γ_{k1} , яка в свою чергу залежить від середньої відстані між коренеплодами в рядку c_k .

Тоді кількість коренеплодів $K_{z1}(t)$ (шт.) на одному i -му рядку з якого зрізано гичку ножами роторного гичкоріза за час t руху модуля можна визначити за однією з таких формул:

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

де k_z – середня кількість коренеплодів на 1 п.м рядка, шт.;

c_k – середня відстань між коренеплодами в рядку, м;

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

Γ_k – наявна густина насаджень коренеплодів в одному i -му рядку на час збирання, шт./м².

Теоретична подача зрізаних бур'янів $\Pi_{\sigma}(t)$ ножами роторного гичкоріза з кожного одного i -го міжряддя коренеплодів за проміжок часу t залежить в основному від шляху $L_g = \mathcal{G}t$, який пройде модуль за час t і ширини міжряддя

b_k посівів коренеплодів, або площі S_g з якої зрізано бур'яни, питомої маси $M_{\bar{o}}$ бур'янів на i -му міжрядді коренеплодів, або $\Pi_{\bar{o}1}(t) = S_g(t)M_{\bar{o}}$.

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

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

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

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

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

Отже, з врахуванням наведених записів $\Pi_{z1}(t) = U_{z1}S_gK_{z1}(t)$, $\Pi_{\bar{o}1}(t) = S_g(t)M_{\bar{o}}$ і третьої залежності $K_{z1} = \Gamma_{k1}\mathcal{G}tb_k$ з (2.3), середня теоретична подача зрізаної гички $\Pi_{z.c}(t)$ (кг) з кожного одного i -го рядка та зрізаних бур'янів $\Pi_{\bar{o}.c}(t)$ (кг) з кожного одного i -го міжряддя коренеплодів ножами роторного гичкоріза до гвинтового конвеєра за проміжок часу t буде визначатися за формулою:

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

де $U_{z.c} = const$ – середня урожайність гички кожного K_z -го коренеплоду, кг/м²;

$M_{b.c} = const$ – середня питома маса бур'янів кожного одного i -го міжряддя коренеплодів, кг/м².

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

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

Проте під час зрізування гички з головок коренеплодів 1 (рис. 2.1) і з поверхні поля бур'янів, їх подрібнення за ознакою обертання ножів роторного гичкоріза та переміщення подрібнених гички та бур'янів по траєкторії направлено руху до жолоба гвинтового конвеєра, відбуваються втрати подрібненої гички та бур'янів. Для врахування втрат гички та бур'янів введемо поправочний коефіцієнт втрат гички, який позначимо через μ_z і поправочний коефіцієнт втрат бур'янів, який позначимо через μ_b .

З урахуванням втрат гички та бур'янів сумарна теоретична подача $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля за проміжок часу t визначається за формулою

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t) = \sum_{i=1}^N \frac{dL_g}{dt} N_i t b_k \left(\frac{dL_g}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} U_{z.c} \mu_z + M_{b.c} \mu_b \right). \quad (2.6)$$

При цьому масова втрата гички буде складатися з суми маси залишків гички на головках коренеплодів і маси втраченої гички під час її зрізування та переміщення по траєкторії направлено руху до жолоба гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля.

Ці втрати врахуємо шляхом введення коефіцієнта втрат залишків гички на головках коренеплодів кормових бур'яків, який позначимо через $\mu_{2,k}$ і коефіцієнта втрат переміщення подрібненої гички, який позначимо через $\mu_{2,m}$, тобто $\mu_2 = \mu_{2,k} + \mu_{2,m}$.

Маси залишків гички на головках коренеплодів, маси подрібненої гички, яка втрачається під час зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза та її переміщення до гвинтового конвеєра, питома маса бур'янів залежать від сорту коренеплодів і урожайності гички, агротехніки вирощування коренеплодів, конструктивного виконання робочих органів, їх параметрів і режимів роботи, тощо.

Для визначення поправочних коефіцієнтів втрат гички μ_2 та втрат бур'янів μ_6 скористаємося відомими положеннями державних стандартів, які регламентують агротехнічні вимоги до технологічного процесу збирання гички та роботи коренезбиральних машин.

Згідно з ними довжина залишків гички на головках коренеплодів після її зрізування ножами роторного гичкоріза не повинна бути більшою за 4 см, або питома маса залишків гички на площі 1 м² не повинна бути більшою за 8 % від урожайності гички; загальна питома маса втраченої гички та втрачених бур'янів на площі 1 м² під час їх зрізування ножами роторного гичкоріза та переміщення до гвинтового конвеєра не повинна бути більшою за 10 % від урожайності гички та питомої маси бур'янів.

За основу розрахунків приймаємо максимальні значення вказаних показників. Тоді поправочний коефіцієнт втрат гички та бур'янів μ_2 буде дорівнювати $\mu_2 = 1,0 - (0,08 + 0,1) = 0,82$, а поправочний коефіцієнт втрат бур'янів – $\mu_6 = 1,0 - 0,1 = 0,9$.

Тоді згідно з (2.6) подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра за час $t = 1$ с, або секундна подача P_k (кг/с) визначається за виразом

$$P_k = 9N b_k \left(0,82 \cdot 10^{-4} 9b_k t \Gamma_{k,c} U_{z,c} + 0,9 M_{6,c} \right), \quad (2.7)$$

де $\Gamma_{k.c}$ – густина насаджень коренеплодів, тис. шт./га;

$U_{z.c}$ – урожайність гички коренеплодів, ц/га.

Коренезбиральні машини задовільно виконують робочий процес збирання коренеплодів на робочій швидкості руху в межах 1,6...2,2 м/с. Згідно з агротехнічними вимогами питома маса бур'янів в полі на час збирання коренеплодів повинна бути не більше 0,1 кг/м².

За початкових умов $b_k = 0,45$ м, $N = 6$ шт., $M_{b.c} = 0,1$ кг/м², $\Gamma_{k.c} = 80...110$ тис. шт./га, $U_{z.c} = 50...100$ ц/га та згідно із формулою (2.6) побудовано залежності зміни секундної подачі Π_k рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, які наведено на рис. 2.2.

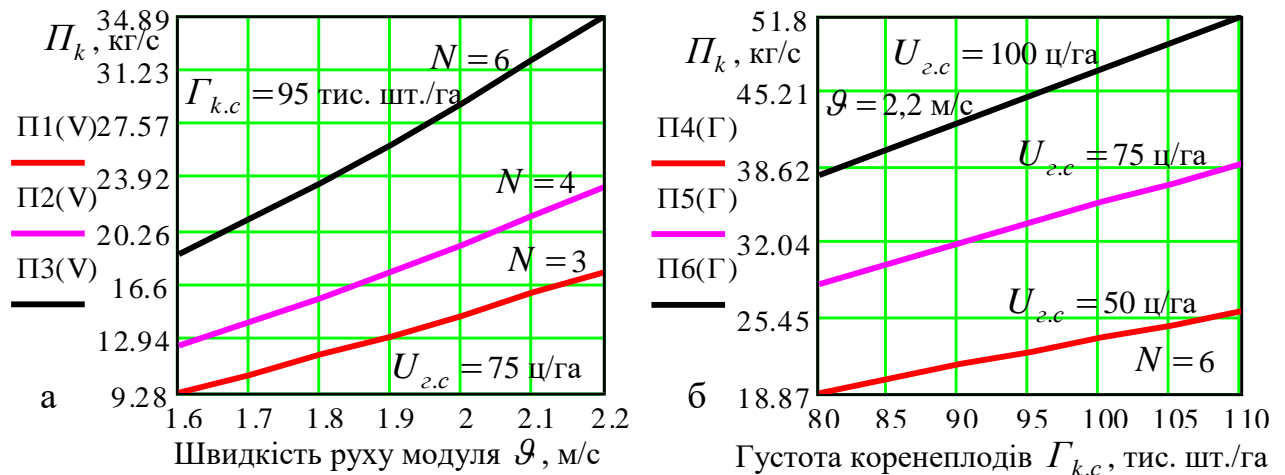


Рисунок 2.2 – Залежність секундної подачі Π_k рослинних компонентів

до гвинтового конвеєра: а – $\Pi_k = f_{\Pi}(g)$; б – $\Pi_k = f_{\Pi}(\Gamma_{k.c})$

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

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

У зв'язку з цим розглянемо вирішення ускладненої задачі, приймаючи такі припущення:

- урожайність гички на коренеплодах кожного окремого i -го рядка неоднакова, тобто урожайність гички непостійна та має певні коливання в бік збільшення або зменшення урожайності від середнього значення $U_{z.c}$;

- мінливість зміни середнього значення урожайності гички кормових буряків $U_{z.c}$ позначимо виразом $(\pm \Delta U_z)$, де вираз $(+ \Delta U_z)$ означає збільшення середньої урожайності гички $U_{z.c}$, а вираз $(- \Delta U_z)$ – зменшення $U_{z.c}$;

- кількість бур'янів на площі S_g з якої зрізано бур'яни, або відповідна питома маса бур'янів на площі S_g кожного одного i -го міжряддя однакова;

Тоді можна записати, що сумарна теоретична подача $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра з N рядків коренеплодів із врахуванням першого рівняння (2.4) та втрат гички в процесі її зрізування та переміщення до гвинтового конвеєра за проміжок часу t визначається за формулою

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{zi}^*(t) = \left(\frac{dLg}{dt} \right)^2 b_k^2 t^2 \Gamma_{k.c} \left[(U_{1z.c} \pm \Delta U_{1z}) \mu_{1z} + (U_{2z.c} \pm \Delta U_{2z}) \times \right. \\ \left. \times \mu_{2z} + \dots + (U_{Nz.c} \pm \Delta U_{Nz}) \mu_{Nz} \right], \quad (2.8)$$

де $U_{1z.c}, U_{2z.c}, \dots, U_{Nz.c}$ – середня урожайність гички 1-го, 2-го, ..., N -го рядка коренеплодів, кг/м²;

$\pm \Delta U_{1z}, \pm \Delta U_{2z}, \dots, \pm \Delta U_{Nz}$ – інтервал зміни середньої урожайності гички 1-го, 2-го, ..., N -го рядка коренеплодів, кг/м²;

$\mu_{1z}, \mu_{2z}, \dots, \mu_{Nz}$ – поправочний коефіцієнт втрат гички з 1-го, 2-го, ..., N -го рядка коренеплодів.

Тоді сумарна теоретична подача $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля з N рядків коренеплодів за проміжок часу t з врахуванням (2.6) і (2.8) визначається за формулою

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t) = \frac{dLg}{dt} b_k t \left\{ \left[\frac{dLg}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} (U_{1z.c} \pm \Delta U_{1z}) \mu_{1z} + (U_{2z.c} \pm \Delta U_{2z}) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \mu_{2z} + \dots + (U_{Nz.c} \pm \Delta U_{Nz}) \mu_{Nz} \right] + M_{\bar{o}.c} \mu_{\bar{o}} \right\}. \quad (2.9)$$

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

Тоді реальна сумарна теоретична подача $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля з N рядків коренеплодів за проміжок часу t з врахуванням (2.9) визначається за прикінцевою формулою

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t) = \frac{dLg}{dt} b_k N t \left[\frac{dLg}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) \mu_z + M_{\bar{o}.c} \mu_{\bar{o}} \right]. \quad (2.10)$$

Таким чином, із врахуванням рівняння (2.10), секундна подача Π_k^* (кг/с) рослинних компонентів до гвинтового конвеєра за час $t = 1$ с буде

$$\Pi_k^* = g b_k N \left[0,82 \cdot 10^{-4} g b_k t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{\bar{o}.c} \right]. \quad (2.11)$$

На рис. 2.3 а наведено залежності зміни секундної подачі Π_k^* (кг/с) рослинних компонентів до гвинтового конвеєра як функціонал $\Pi_k^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}; +\Delta U_z)$ та $\Pi_k^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}; -\Delta U_z)$; на рис. 2.3б – двомірний переріз залежностей $\Pi_k^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}; +\Delta U_z)$ і $\Pi_k^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}; -\Delta U_z)$, які побудовано згідно з (2.11).

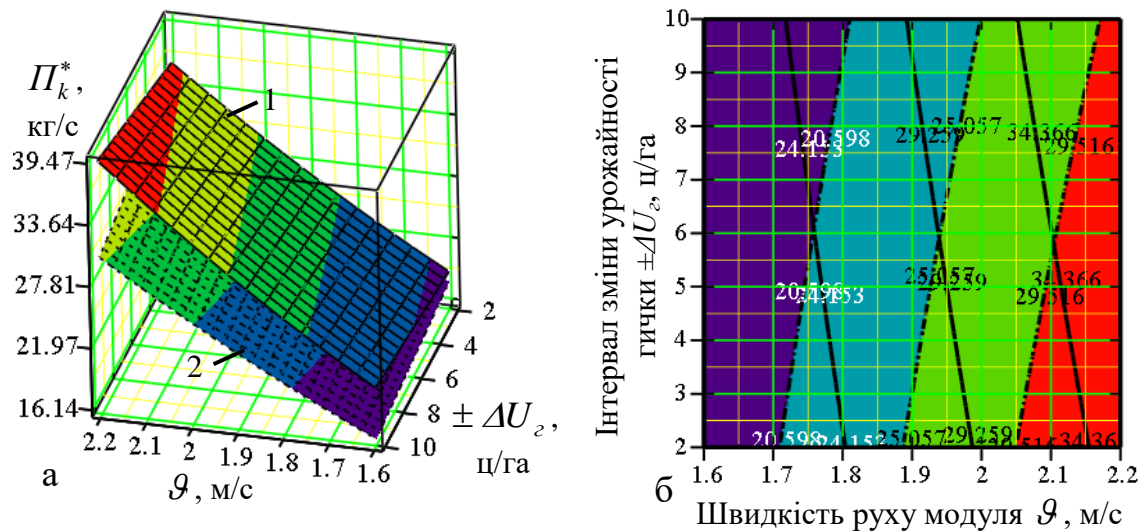


Рисунок 2.3 – Залежність зміни секундної подачі рослинних компонентів

P_k^* до гвинтового конвеєра (а) як функція: 1 – $P_k^* = f_{II}(G; +\Delta U_z)$;

2 – $P_k^* = f_{II}(G; -\Delta U_z)$; б – двомірний переріз залежності $P_k^* = f_{II}(G; +\Delta U_z)$

та $P_k^* = f_{II}(G; -\Delta U_z)$

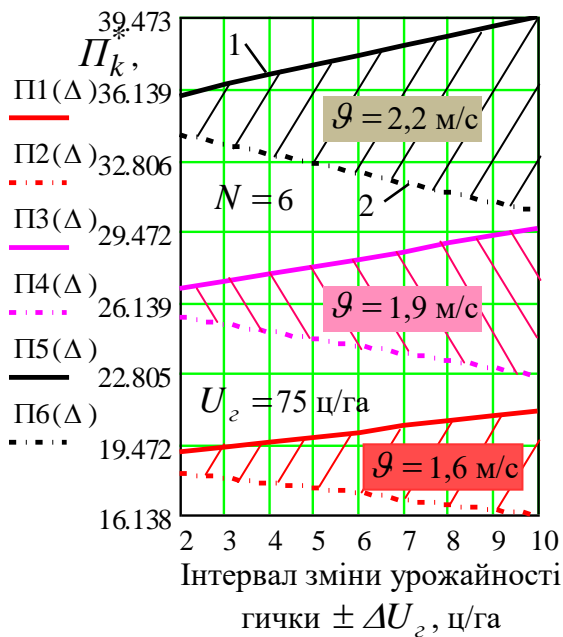


Рисунок 2.4 – Залежність зміни секундної подачі рослинних компонентів

P_k^* до гвинтового конвеєра як функціонал:

$$1 - P_k^* = f_{II}(+\Delta U_z); 2 - P_k^* = f_{II}(-\Delta U_z)$$

На основі аналізу наведених залежностей (рис. 2.3) встановлено, що в межах інтервалу зміни урожайності гички $\pm \Delta U_z = 2 \dots 10$ ц/га секундна подача

рослинних компонентів Π_k^* до гвинтового конвеєра знаходиться в таких межах зміни діапазону: за умови $\Pi_k^* = f_{II}(\vartheta; +\Delta U_c)$ від 19,5 до 39,5 кг/с; за умови $\Pi_k^* = f_{II}(\vartheta; -\Delta U_c)$ від 16 до 34 кг/с.

Ці ствердження також характерні поведінці графічних залежностей, які наведено на рис. 2.4, при цьому середнє значення приросту (збільшення) або спадання (зменшення) секундної подачі рослинних компонентів Π_k^* до гвинтового конвеєра в діапазоні зміни інтервалу урожайності дорівнює: 2,0 кг/с – за швидкості руху модуля $\vartheta = 1,6$ м/с, відповідно, 2,4 кг/с – за $\vartheta = 1,9$ м/с; 3,3 кг/с – за $\vartheta = 2,2$ м/с.

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

2.2. Обґрунтування теоретичної розрахункової продуктивності гичкозбирального модуля

З метою формалізації процесу переміщення зрізаних ножами роторного гичкоріза основного масиву гички коренеплодів та бур'янів і для подальшого обґрунтування раціональних параметрів гичкозбирального модуля розглянемо схему для розрахунку продуктивності роботи гвинтового конвеєра 5 (рис. 2.5), яка поєднує в собі функціональну схему технологічного процесу роботи та конструктивну схему робочих органів, які реалізують даний процес.

Обґрунтування параметрів гвинтового конвеєра проведемо на основі аналізу технологічного процесу переміщення гвинтовим конвеєром 5 (рис. 2.5) зрізаних рослинних компонентів, або переміщення рослинних компонентів спіральними витками 11 шнека 9 у жолобі 8, який утворено направляючим кожухом 4.

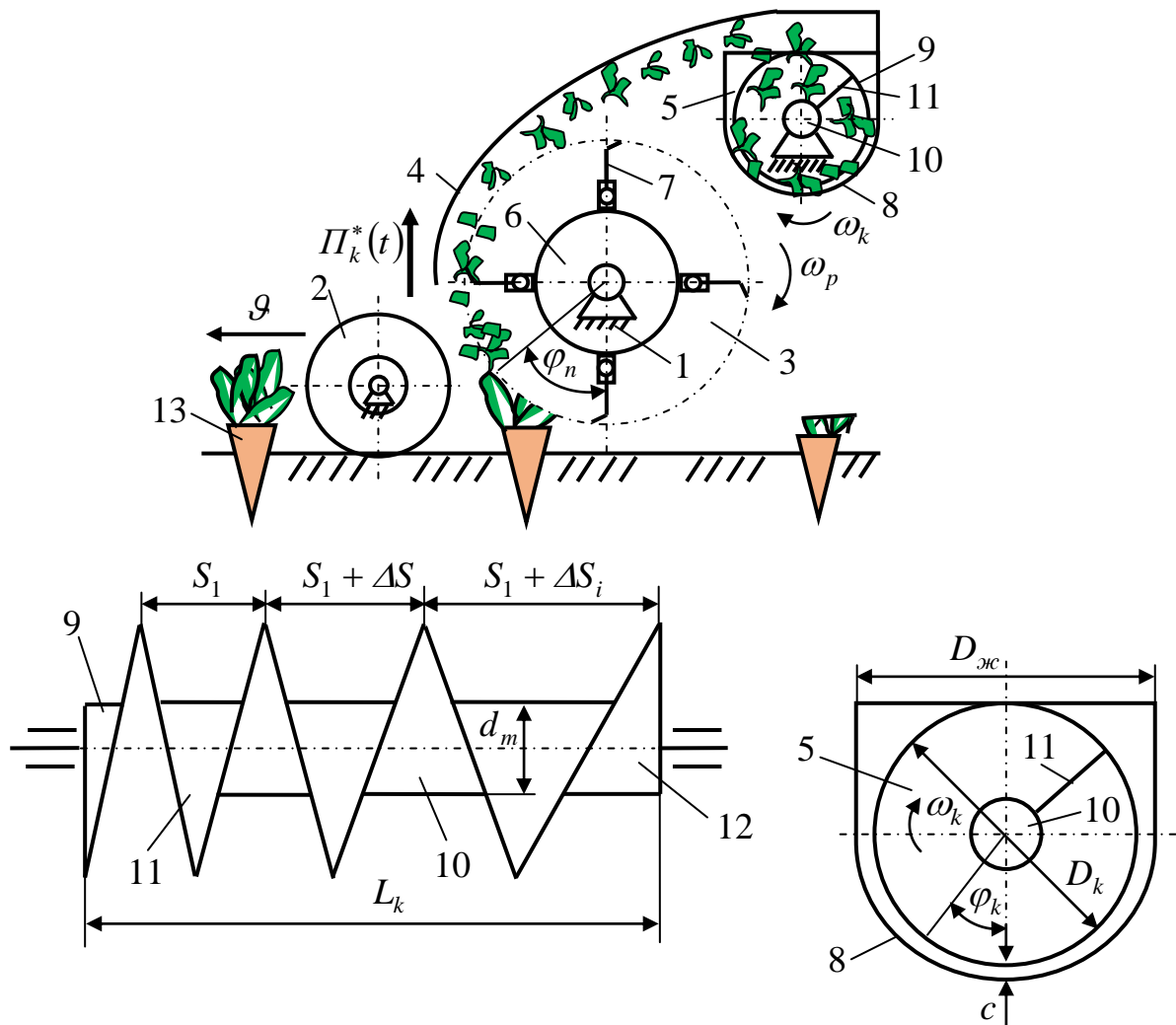


Рисунок 2.5 – Схема для розрахунку продуктивності роботи шнека:

1 – рама; 2 – колесо опорне; 3 – роторний гичкоріз; 4 – кожух направляючий; 5 – гвинтовий конвеєр; 6, 10 – барабан; 7 – ніж; 8 – жолоб; 9 – шнек; 11 – виток; 12 – вихідна частина; 13 – коренеплід

Нехай за час t переміщення гичкозбирального модуля вздовж рядків коренеплодів 13 (рис. 2.5) з поступальною швидкістю руху g гичкозрізувальні ножі 7, зрізують основний масив гички та бур'янів або рослинні компоненти в кількості $P_k^*(t)$, які переміщується по траєкторії направлено руху до жолоба 8, або до шнека 11 гвинтового конвеєра 5.

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

Технологічний взаємозв'язок між конструктивно-кінематичними параметрами гвинтового конвеєра та секундною подачею рослинних компонентів P_k^* встановимо на основі аналізу необхідної продуктивності його роботи, при цьому продуктивність роботи гвинтового конвеєра регламентується, або цілком залежить від продуктивності роботи шнека 11, рис. 2.5.

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

$$Q_k = 0,25(D_k^2 - d_m^2)g_c\psi_g\rho_v\varphi_z, \quad (2.12)$$

де Q_k – продуктивність гвинтового конвеєра, кг/с;

D_k, d_m – відповідно, діаметр шнека та барабана, м;

g_c – середня теоретична швидкість переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека, м/с;

ψ_g – коефіцієнт, який враховує відхилення (зниження) середньої швидкості руху потоку зрізаної гички відносно середньої теоретичної швидкості переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека;

ρ_v – об'ємна маса гички, кг/м³;

φ_z – коефіцієнт заповнення робочого простору гвинтового конвеєра зрізаною гичкою.

При цьому, складові формули (2.12) визначаються за формулою:

- середня теоретична швидкість g_c переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання гвинтового конвеєра

$$g_c = \frac{(S_1 + \Delta S_i)\omega_k}{2\pi} = \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{2\pi} \frac{d\varphi_k}{dt}, \quad (2.13)$$

де S_1 – кроки першого спірального витка, м;

ΔS_i – приріст i -го кроку, м;

ω_k – кутова швидкість шнека, рад/с;

φ_k – кут повороту шнека, рад.;

- коефіцієнт ψ_g , який враховує відхилення (зниження) середньої швидкості руху потоку зрізаної гички відносно середньої теоретичної швидкості переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека

$$\psi_g = \psi_\alpha \psi_y, \quad (2.14)$$

де ψ_α – коефіцієнт, який показує ступінь впливу кута підйому α гвинтової лінії по середньому радіусу останнього спірального витка шнека;

ψ_y – коефіцієнт ущільнення подрібнених рослинних решток спіральними витками шнека;

- коефіцієнт заповнення φ_z робочого простору гвинтового конвеєра зрізаною гичкою, який враховує дольове заповнення об'єму робочого русла жолоба

$$\varphi_z = V_z / V_{жс}; \quad V_z = V_{жс} - V_k, \quad V_k = V_v + V_b, \quad (2.15)$$

або

$$\varphi_z = \frac{V_{жс} - V_k}{V_{жс}} = 1 - \frac{V_k}{V_{жс}} = 1 - \frac{V_v + V_b}{V_{жс}}, \quad (2.16)$$

де V_z – об'єм робочого русла жолоба, що заповнений зрізаною гичкою;

$V_{жс}$ – об'єм робочого русла жолоба, м³;

V_k – об'єм шнека, м³;

V_v – об'єм, що займають витки шнека, м³;

V_b – об'єм барабана шнека, м³.

Відношення $\frac{V_k}{V_{жс}}$ позначено як коефіцієнт k_v , який враховує об'єм тієї

частини робочих елементів шнека (спіральних витків і труби шнека), який вони

займають у об'ємі робочого русла жолоба, тобто $\frac{V_v + V_b}{V_{жс}} = k_v$.

Тоді згідно з (2.16)

$$\varphi_z = 1 - k_v. \quad (2.17)$$

При цьому, згідно з рис. 2.5 складові (2.16) визначаються за формулою:

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

$$V_{жс} = 0,125\pi D_{жс}^2 L_k + 0,5D_{жс} D_k L_k = 0,5D_{жс} L_k (0,25\pi D_{жс} + D_k), \quad (2.18)$$

де $D_{жс}$ – внутрішній діаметр жолоба, м;

L_k – робоча довжина шнека, м;

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

$$V_v = V_{1v} z_k; \quad V_{1v} = F_v l_v; \quad F_v = \delta_v h_v; \quad l_z = \frac{\pi L_k (D_k + d_m)}{2S_1 + \Delta S} \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right), \quad (2.19)$$

де V_{1v} – об'єм, що займають витки одного заходу шнека, м³;

z_k – кількість заходів шнека, шт.;

F_v – площа поперечного перерізу лопаті витка шнека, м²;

l_z – довжина гвинтової лінії по середньому діаметру шнека, м;

h_v – висота лопаті витка шнека, $h_v = 0,5(D_k - d_m)$, м;

d_m – діаметр барабана, м.

$$V_v = \frac{\pi L_k (D_k - d_m)^2}{4S_1 + \Delta S} \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right) z_k; \quad V_b = 0,25\pi d_m^2 L_k. \quad (2.20)$$

Після підстановки значення об'ємів із (2.18) і (2.20) у формулу (2.17) отримаємо залежність для визначення коефіцієнта k_v (додаток В.1.2)

$$k_v = \pi \frac{\frac{(D_k - d_m)^2}{4S_1 + \Delta S} \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right) z_k + d_m^2}{2D_{жс} (0,25\pi D_{жс} + D_k)}. \quad (2.21)$$

Згідно з (2.22) та за початкових умов $d_m = 0,1$ м, $z_k = 1$, $\Delta S = 0,05$ м побудовано залежність зміни коефіцієнта k_v , яку наведено на рис. 2.6.

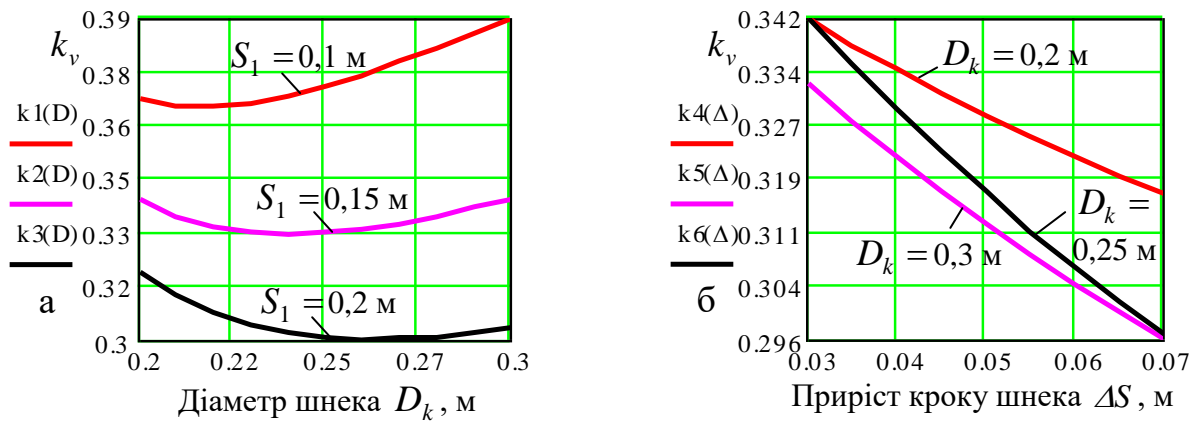


Рисунок 2.6 – Залежність зміни коефіцієнта k_v : а – $k_v = f(D_k)$; б – $k_v = f(D_k)$

Коефіцієнт k_v змінюється від 0,3 до 0,39 залежно від зміни діаметра шнека в межах $0,2 \leq D_k \leq 0,3$ м. При цьому домінуючий вплив на зміну коефіцієнта k_v має крок S_1 першого спірального витка шнека та приріст кроку ΔS – за збільшення S_1 від 0,1 до 0,2 м коефіцієнт k_v зменшується у 1,3 раза (рис. 2.6а), а за збільшення ΔS від 0,03 до 0,07 м коефіцієнт k_v зменшується у 1,2 раза, рис. 2.6б.

Згідно з (2.12)-(2.14), (2.17) і (2.21) продуктивність роботи гвинтового конвеєра визначається за формулою

$$Q_k = (D_k^2 - d_m^2) \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{8\pi} \psi_\alpha \psi_y \rho_v \left(1 - \pi \frac{\frac{(D_k - d_m)^2}{4S_1 + \Delta S} \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right) z_k + d_m^2}{2D_{ж} (0,25\pi D_{ж} + D_k)} \right) \frac{d\varphi_k}{dt}, \quad (2.22)$$

або

$$Q_k = (D_k^2 - d_m^2) \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{8\pi} \psi_\alpha \psi_y \rho_v (1 - k_v) \frac{d\varphi_k}{dt}. \quad (2.23)$$

Також продуктивність роботи гвинтових конвеєрів можна визначити за відомою формулою, яка в більшій мірі функціонально залежить від

технологічних показників, що характеризують подачу матеріалу до робочих органів гвинтових транспортних механізмів

$$Q_k = W_L g_c \psi_g \rho_v \varphi_z, \quad (2.24)$$

де W_L – питомий об'єм матеріалу, який приходить на одиницю довжини шнека, м³/м.

Для подальшого аналізу виразимо питомий об'єм матеріалу W_L , який приходить на одиницю довжини шнека через секундну подачу рослинних компонентів Π_k^* , що припадає на одиницю довжини шнека L_k , тобто

$$W_L = \frac{m_{p.k}}{\rho_v L_k} = \frac{\Pi_k^* \cdot t}{\rho_v L_k}, \quad (2.25)$$

де $m_{p.k}$ – маса рослинних компонентів, які надходять до гвинтового конвеєра (кг) за час $t = 1$ с.

Підставивши значення секундної подачі рослинних компонентів Π_k^* з (2.11) у формулу (2.25), отримаємо залежність для визначення питомої секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра за час $t = 1$ с, або питомої секундної подачі рослинних компонентів, яка приходить на одиницю робочої довжини шнека L_k , або

$$W_L = \frac{g_b N t \left[0,82 \cdot 10^{-4} g_b t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{b.c} \right]}{\rho_v L_k}. \quad (2.26)$$

Тоді продуктивність роботи Q_k гвинтового конвеєра визначається за формулою, при цьому $t = 1$ с

$$Q_k = \frac{g_b N t \left[0,82 \cdot 10^{-4} g_b t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{b.c} \right]}{L_k} g_c \psi_g (1 - k_v). \quad (2.27)$$

Прирівняємо праві частини формули (2.23) і формули (2.27) між собою.

Тоді отримаємо рівність

$$\begin{aligned} (D_k^2 - d_m^2) \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{8\pi} \psi_\alpha \psi_y \rho_v (1 - k_v) \frac{d\varphi_k}{dt} = \\ = \frac{g_b N t [0,82 \cdot 10^{-4} g_b t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{б.с.}] g_c \psi_g (1 - k_v)}{L_k}, \end{aligned} \quad (2.28)$$

або згідно з (2.11), (2.12), (2.14), (2.17), (2.24) і (2.25)

$$\frac{(D_k^2 - d_m^2)}{4} g_c \psi_\alpha \psi_y \rho_v (1 - k_v) = \frac{\Pi_k^* t}{\rho_v L_k} g_c \rho_v \psi_a \psi_y (1 - k_v). \quad (2.29)$$

Правомірність або адекватність такого запису (такої рівності) покажемо на основі математичного моделювання числових розрахунків продуктивності роботи гвинтового конвеєра, яку визначено за формулою (2.23) і (2.27) та їх порівняння (співставлення) одна з одною.

Результати числових розрахунків продуктивності роботи гвинтового конвеєра, яку визначено за формулою (2.23) і (2.27) наведено у додатку В.2.2.

На основі числових розрахунків продуктивності роботи гвинтового конвеєра, яку визначено за формулою (2.23) і (2.27) побудовано діаграми зміни продуктивності роботи шнека, які наведено на рис. 2.7.

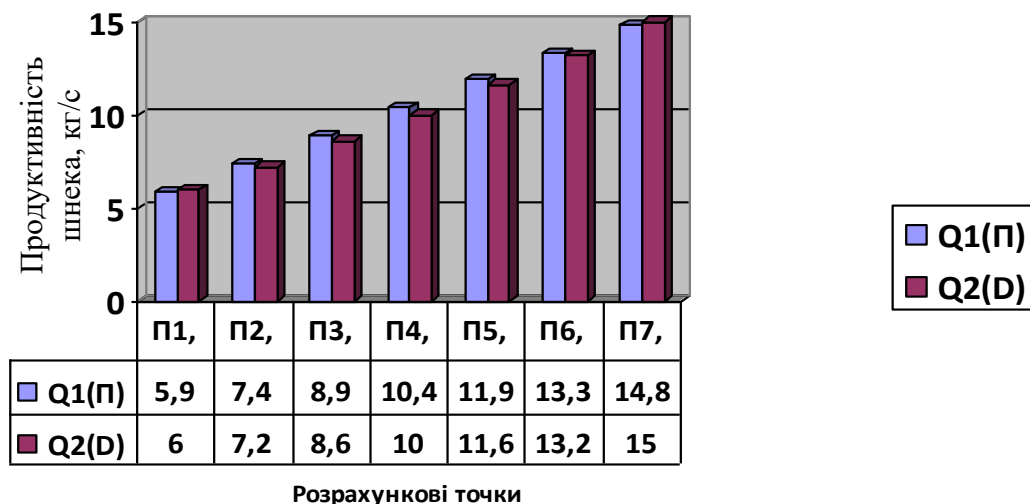


Рисунок 2.7 – Діаграма зміни продуктивності роботи шнека у розрахункових точках

Аналіз числових розрахунків продуктивності роботи шнека (рис. 2.7) показує, що показники продуктивності роботи $Q1$ шнека, які визначено за формулою (2.27) та показники продуктивності роботи $Q2$ шнека, які визначено за формулою (2.23) у розрахункових точках П1-П7 практично не відрізняються між собою – середня похибка значень знаходиться в межах 1,5...1,6%.

Тоді з формули (2.29) визначаємо діаметр шнека D_k , при цьому:

$$\frac{(D_k^2 - d_m^2)}{4} \rho_v = \frac{\Pi_k^* t}{L_k}; \quad (2.30)$$

$$D_k = \sqrt{\frac{4\Pi_k^* t}{L_k \rho_v} + d_m^2}. \quad (2.31)$$

Для теоретичного обґрунтування діаметра шнека гвинтового конвеєра згідно з формулою (2.31) побудовано номограму для визначення D_k залежно від зміни секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів ножами роторного гичкоріза до гвинтового конвеєра та довжини шнека L_k у вигляді функціональної залежності $D_k = f_D(\Pi_k^*; L_k)$, яку наведено на рис. 2.8.

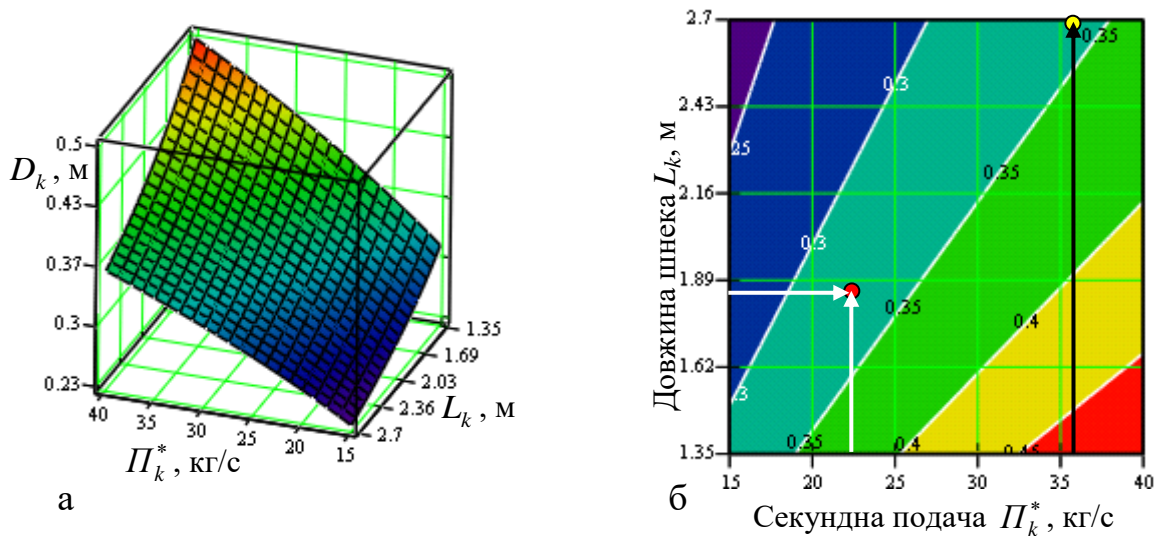


Рисунок 2.8 – Залежність зміни діаметра шнека D_k :

а – як функція $D_k = f_D(\Pi_k^*; L_k)$; б – номограма для визначення діаметра шнека D_k

Π_k^*

L_k

На основі аналізу рис. 2.8а встановлено, що для забезпечення переміщення секундної подачі рослинних компонентів у межах $\Pi_k^* = 15 \dots 40$ кг/с, яку визначено згідно з (2.11) і рис. 2.3, рис. 2.4, діаметр шнека D_k повинен знаходитися у межах від 0,25 до 0,4 м залежно від його робочої довжини L_k . При цьому робочу довжину шнека встановлюють конструктивно та залежно від рядності гичкозбирального модуля (або рядності коренезбиральної машини) і ширини міжряддя посівів коренеплодів. Так, за ширини міжряддя коренеплодів $b_k = 0,45$ м і кількості рядків, які збираються одночасно $N = 3$, робоча довжина шнека $L_k = 1,35$ м, відповідно за $N = 6 - L_k = 2,7$ м.

Для визначення D_k використовують номограму, яку наведено на рис. 2.8б. Наприклад, за секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра $\Pi_k^* = 35$ кг/с під час одночасного зрізування основного масиву гички з кількості рядків $N = 6$ (робоча довжина шнека $L_k = 2,7$ м), необхідний діаметр шнека, за якого буде забезпечуватися переміщення матеріалу, дорівнюватиме $D_k = 0,34$ м. Відповідно, за $\Pi_k^* = 22,5$ кг/с та $N = 4$ (робоча довжина шнека $L_k = 1,8$ м) – $D_k = 0,32$ м.

Крок спіральних витків шнека вибирається конструктивно з умови, за якої $S_1 = (0,5 \dots 0,6)D_k$, тобто $S_1 = 0,12 \dots 0,2$ м.

Кутову швидкість шнека ω_k визначимо з умови, яка характеризує роботу гвинтового конвеєра без «згруження» рослинних компонентів під час їх переміщення витками шнека. Ця умова виконується, коли продуктивність гвинтового конвеєра Q_k буде більшою або рівною секундній подачі Π_k^* , тобто $Q_k \geq \Pi_k^*$.

Тоді згідно з (2.23) і з врахуванням (2.14) можна записати

$$\left(D_k^2 - d_m^2\right) \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{8\pi} \psi_g \rho_v (1 - k_v) \omega_k \geq \Pi_k^*. \quad (2.32)$$

Із залежності (2.32) визначаємо кутову швидкість шнека, тобто

$$\omega_k \geq \frac{8\pi\Pi_k^*}{(D_k^2 - d_m^2)(S_1 + \Delta S_i)\psi_g\rho_v(1 - k_v)} \quad (2.33)$$

За встановлених значень конструктивних параметрів шнека та згідно з (2.33) та при початкових умовах $S_1 = 0,15$ м, $\Delta S = 0,05$ м, $k_v = 0,35$, $\psi_g = 0,7$ побудовано залежність зміни кутової швидкості шнека у вигляді функціональної залежності $\omega_k = f_\omega(D_k; \Pi_k^*)$, яку наведено на рис. 2.9.

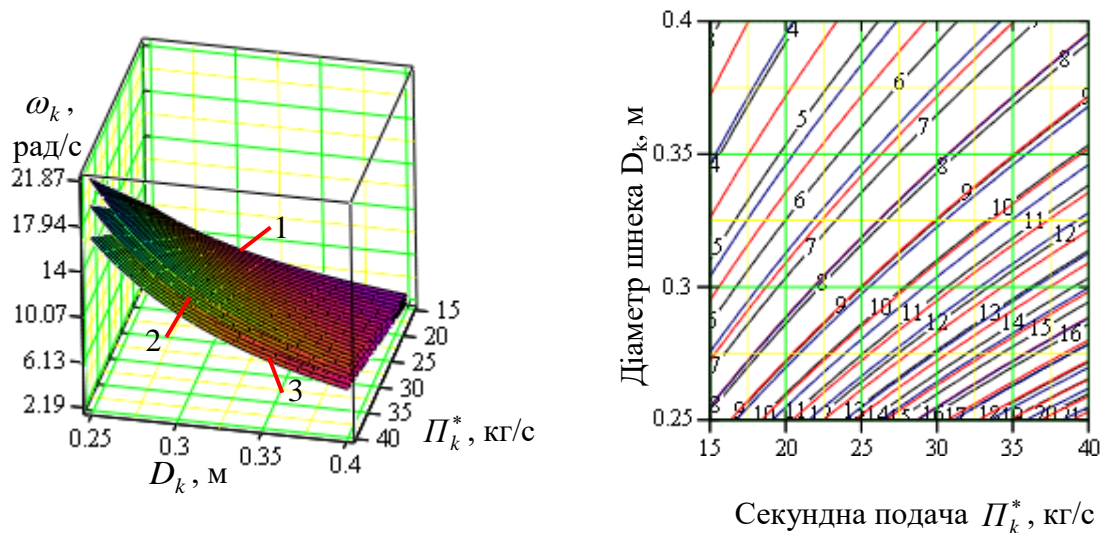


Рисунок 2.9 – Залежність зміни кутової швидкості шнека як функція $\omega_k = f_\omega(D_k; \Pi_k^*)$; 1, 2, 3 – $(1 - k_v) = 0,5; 0,7; 0,9$

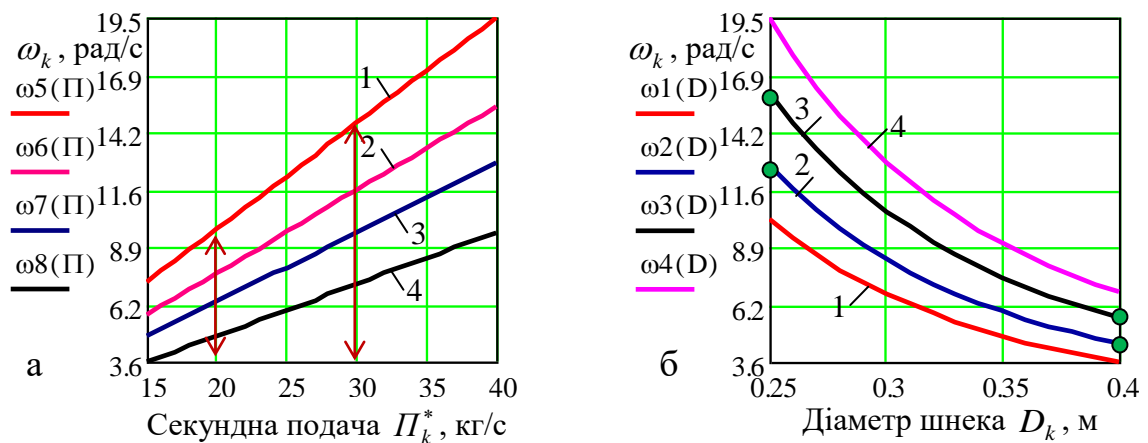


Рисунок 2.10 – Залежність зміни кутової швидкості шнека ω_k :

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

$D_k = 0,25; 0,3; 0,35$ і $0,4$ м; б – від діаметра шнека D_k ;

1, 2, 3, 4 – відповідно, $\Pi_k^* = 15, 20, 30, 40$ кг/с

Функціональна зміна кутової швидкості шнека ω_k залежно від зміни секундної подачі рослинних компонентів Π_k^* до гвинтового конвеєра та діаметра шнека D_k (рис. 2.9) знаходиться в межах 3...21 рад/с та має двоякий характер: прямопропорційний відносно збільшення Π_k^* : зі збільшенням Π_k^* кутова швидкість шнека ω_k зростає; зворотній відносно збільшення D_k – зі збільшенням D_k кутова швидкість шнека ω_k зменшується.

Встановлено, що у межах зміни секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра від 20 до 30 кг/с (середньої швидкості руху модуля $\mathcal{S} = 1,9$ м/с) значення кутової швидкості шнека ω_k знаходяться у межах $\omega_k = 6...17$ рад/с (рис. 2.10б). Домінуючий вплив на зміну ω_k має, як секундна подача Π_k^* , так і діаметр D_k шнека – у межах зміни Π_k^* від 15 до 40 кг/с та D_k від 0,25 до 0,4 м значення ω_k зростає приблизно в 2...2,5 раза.

На рис. 2.11, рис. 2.12 наведено графічні відтворення зміни продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра залежно від параметрів шнека, які побудовано згідно з формулою (2.23) у вигляді функціональної залежності: $Q_k = f_Q(D_k; \omega_k)$, рис. 2.11; $Q_k = f_Q(\omega_k)$, рис. 2.12а; $Q_k = f_Q(D_k)$, рис. 2.12б.

За прийнятих значень $S_1 = 0,15$ м, $\Delta S = 0,05$ м, $k_v = 0,35$ і зміни параметрів шнека продуктивність роботи Q_k гвинтового конвеєра змінюється в доволі значному діапазоні – від 10 до 36 кг/с та зростає зі збільшенням, як частоти обертання ω_k шнека, так і діаметра шнека D_k .

Згідно з умовою (2.32), за якої для забезпечення оптимального функціонування гвинтового конвеєра, або переміщення рослинних компонентів шнеком без їх «звантаження», продуктивність роботи Q_k гвинтового конвеєра повинна бути не менше діапазону зміни секундної подачі рослинних компонентів $\Pi_k^* = 20...30$ кг/с, рис. 2.3, рис. 2.4. Тоді на основі аналізу графічних побудов, які наведено на рис. 2.11 і рис. 2.12 можна констатувати, що умова $Q_k \geq \Pi_k^*$ виконується за таких значень параметрів шнека:

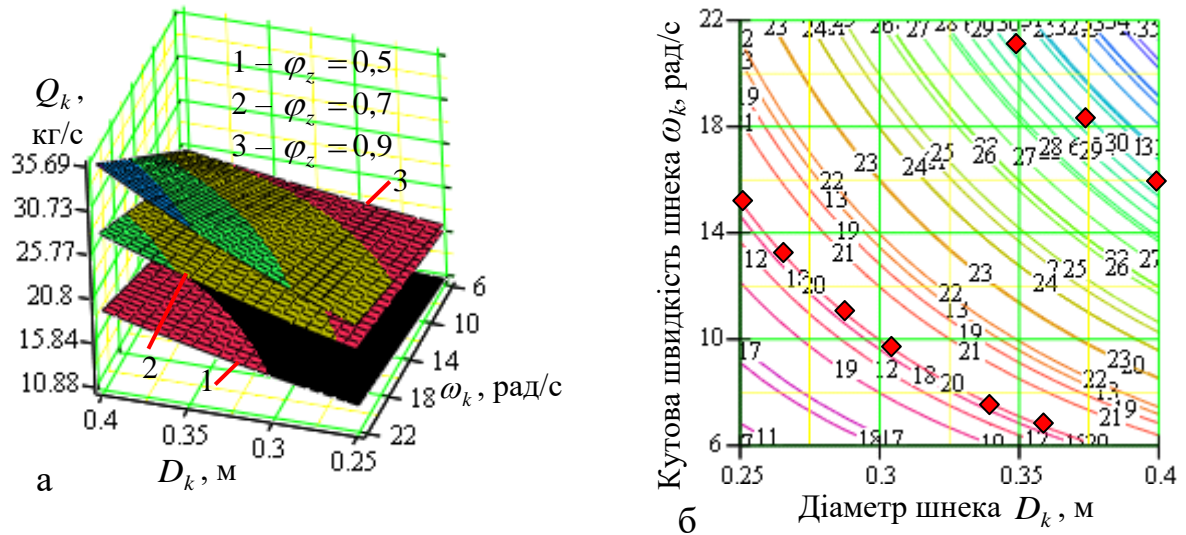


Рисунок 2.11 – Залежність зміни продуктивності гвинтового конвеєра

як функція $Q_k = f_Q(D_k; \omega_k)$

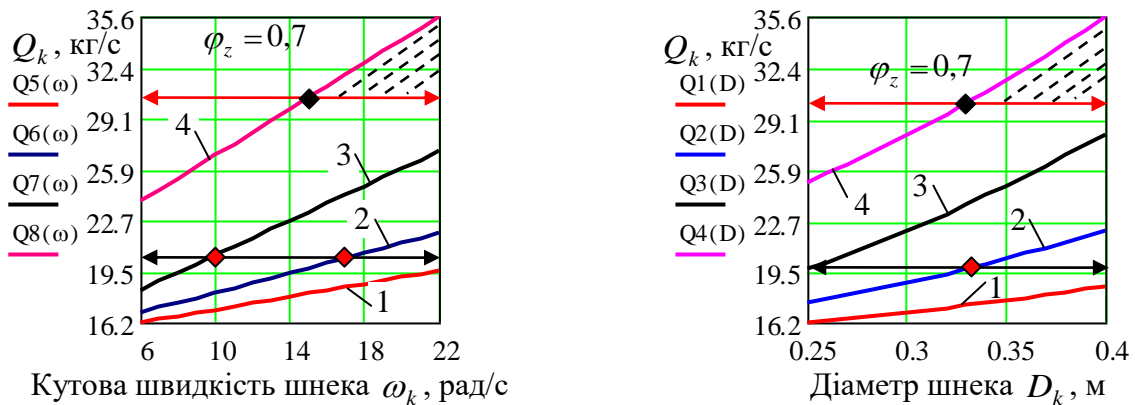


Рисунок 2.12 – Залежність зміни продуктивності роботи гвинтового

конвеєра Q_k : а – від зміни кутової швидкості шнека ω_k ;

1, 2, 3, 4 – відповідно, $D_k = 0,25; 0,3; 0,35$ і $0,4$ м; б – від діаметра шнека

D_k ; 1, 2, 3 – відповідно, $\omega_k = 6, 12, 18, 22$ рад/с

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

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

При цьому $S_1 = 0,15$ м, $\Delta S = 0,05$ м, $\varphi_z = 0,7$.

Для проведення аналізу зміни продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля з врахуванням агробіологічних властивостей посівів коренеплодів підставимо значення середньої теоретичної швидкості \mathcal{U}_c переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання гвинтового конвеєра з формули (2.13) у залежність (2.27).

Тоді отримаємо

$$Q_k = \frac{g_{b_k} N t \left[0,82 \cdot 10^{-4} g_{b_k} t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{\bar{b}.c} \right] \times}{L_k} \times \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{2\pi} \psi_g (1 - k_v) \frac{d\varphi_k}{dt} \quad (2.34)$$

Отримана залежність (2.34) є математичною моделлю, яка функціонально описує характер зміни продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від агробіологічних властивостей посівів коренеплодів (густоти насаджень, урожайності гички та інтервалу зміни урожайності гички коренеплодів) і конструктивно-кінематичних параметрів гвинтового конвеєра та умов роботи гичкозбирального модуля (швидкості руху гичкозбирального модуля, ширини міжрядь і кількості рядків коренеплодів).

Для практичного застосування залежності (2.34) виразимо кутову швидкість шнека $\frac{d\varphi_k}{dt}$ через частоту обертання шнека, або $\frac{d\varphi_k}{dt} = \omega_k = \frac{\pi n_k}{30}$, де n_k – частота обертання шнека, об/хв.

При цьому продуктивність роботи Q_k гвинтового конвеєра визначається за формулою

$$Q_k = \frac{g_{b_k} N t \left[0,82 \cdot 10^{-4} g_{b_k} t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{\bar{b}.c} \right] \times}{L_k} \times \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{60} \psi_g (1 - k_v) n_k \quad (2.35)$$

де n_k – частота обертання шнека, об/хв.

Із врахуванням секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів (2.11) продуктивність роботи Q_k гвинтового конвеєра визначається за формулою

$$Q_k = \frac{\Pi_k^* t (S_1 + \Delta S_i)}{L_k} \psi_g (1 - k_v) n_k. \quad (2.36)$$

Згідно з формулою (2.35) побудовано залежності зміни продуктивності роботи гвинтового конвеєра у вигляді залежності: $Q_k = f_Q(\vartheta; n_k)$, рис. 2.13а; $Q_k = f_Q(n_k)$, рис. 2.13б. На рис. 2.13в наведено функціональну зміну продуктивності роботи $Q_k = f_Q(\Pi_k^*)$ гвинтового конвеєра залежно від секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів, яку побудовано згідно з формулою (2.36).

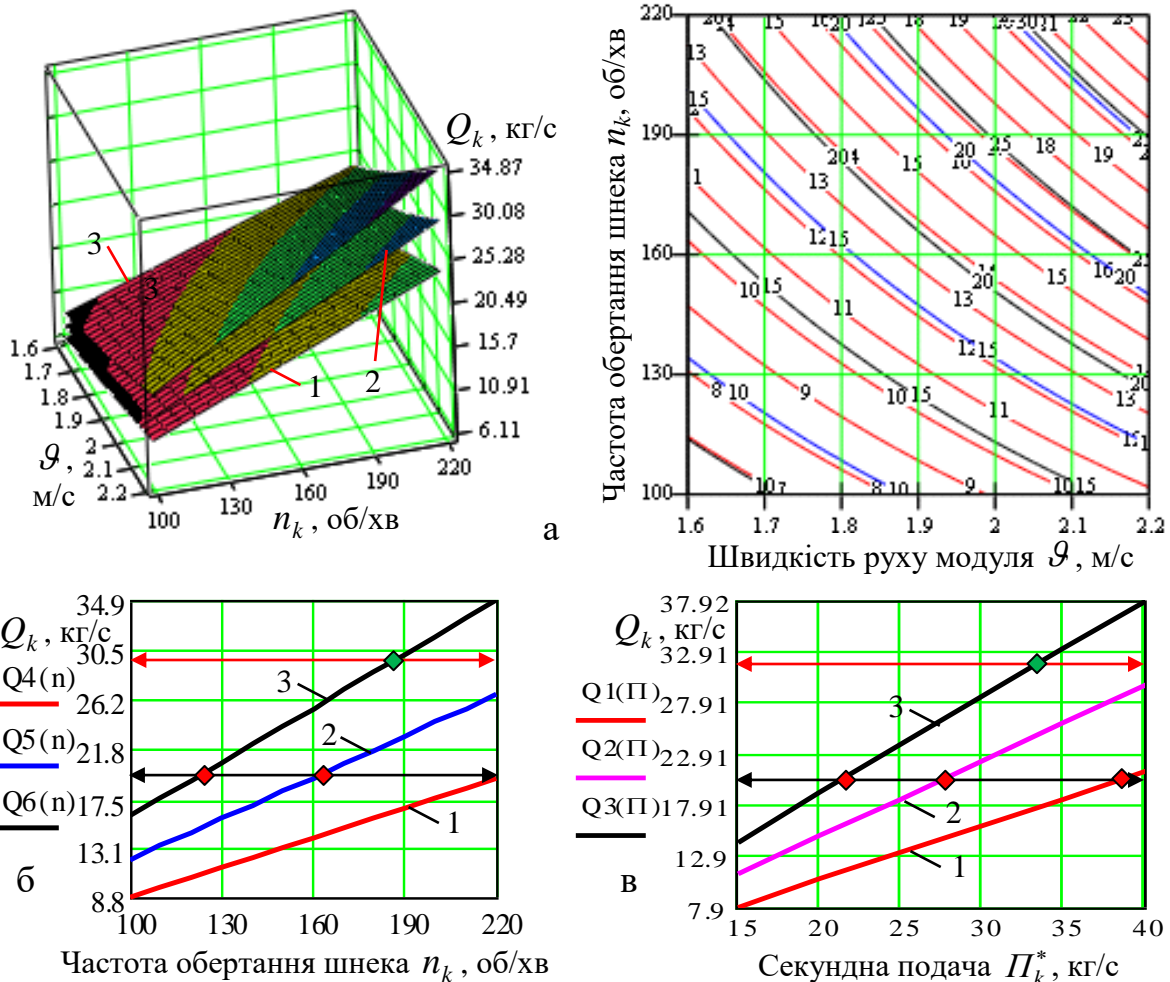


Рисунок 2.13 – Залежність зміни продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра як функція: а – $Q_k = f_Q(\vartheta; n_k)$; б – $Q_k = f_Q(n_k)$; 1, 2, 3 – $\vartheta = 1,6; 1,9; 2,2$ м/с; в – $Q_k = f_Q(\Pi_k^*)$, 1, 2, 3 – $n_k = 100; 160; 220$ об/хв

Продуктивність роботи гвинтового конвеєра залежно від збільшення швидкості руху \mathcal{G} гичкозбирального модуля, частоти обертання шнека n_k та секундної подачі P_k^* рослинних компонентів також зростає та знаходиться в межах від 6 до 35 кг/с, рис. 2.13.

Тоді на основі аналізу графічних побудов (рис. 2.13) можна констатувати, що умова $Q_k \geq P_k^*$ виконується за таких значень параметрів:

- забезпечення нижньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови $Q_k \geq P_k^* \geq 20$ кг/с досягається за комбінації параметрів: швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 1,6$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 220$ об/хв; швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 1,9$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 170$ об/хв; швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 2,2$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 120$ об/хв;

- забезпечення верхньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови $Q_k \geq P_k^* \geq 30$ кг/с досягається за швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 2,2$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 190$ об/хв.

При цьому $S_1 = 0,15$ м, $\Delta S = 0,05$ м, $\psi_g = 0,7$; $k_v = 0,35$.

Як було зазначено раніше, раціональне функціонування гичкозбирального модуля можливе за умови забезпечення безперебійного транспортування всієї кількості подрібнених рослинних решток, які надходять від роторного гичкоріза в жолоб, тобто забезпечення транспортування рослинних решток на всій довжині шнекового конвеєра L_k без «звантаження».

При цьому проміжок часу транспортування рослинних решток від вхідної та вихідної частини шнекового конвеєра позначимо через t .

Тоді раціональне функціонування гичкозбирального модуля, або безперебійного транспортування всієї кількості, або подачі подрібнених рослинних решток, які надходять від роторного гичкоріза можливе за умови

$$W_z(t) \leq Q_k(t), \quad (2.37)$$

де $W_z(t)$ – подача подрібнених рослинних решток за проміжок часу t , кг;

$Q_k(t)$ – пропускна здатність шнекового конвеєра за проміжок часу t , кг.

Тоді умову раціонального функціонування гичкозбирального модуля, або транспортування кількості рослинних решток, які транспортуються шнековим конвеєром без її «звантаження» за проміжок часу t (або забезпечення необхідної розрахункової продуктивності шнекового конвеєра Q_k) у першому наближенні з урахуванням (2.37) можна записати у вигляді

$$\frac{dS_n}{dt} b_k t N_p (k_U U_g + k_M M_b) \leq Q_k(t). \quad (2.38)$$

З іншого погляду, продуктивність шнекового конвеєра Q_k (кг/с) визначимо за загальною формулою, яка характеризує продуктивність машин неперервної дії

$$Q_k = F_v \rho_v \mu_n V_c, \quad (2.39)$$

де F_v – площа поперечного перерізу потоку вантажу, м²;

ρ_v – об'ємна маса вантажу, або подрібнених рослинних решток, кг/м³;

μ_n – коефіцієнт подачі шнека;

V_c – середня швидкість переміщення (транспортування) рослинних решток в напрямку вихідної частини шнекового конвеєра, м/с.

У нашому випадку, середню швидкість V_c осьового переміщення подрібнених рослинних решток витками шнекового конвеєра визначимо через поправочний коефіцієнт ковзання k_v матеріалу по робочих поверхнях, який враховує зниження середньої швидкості V_c відносно теоретичної швидкості V_m осьового переміщення витків шнека вздовж осі обертання OO .

Унаслідок цього відбувається зменшення продуктивності шнекового конвеєра за рахунок наявного тертя ковзання частинок подрібненої гички по поверхні елементів його конструкції, при цьому

$$V_c = V_m k_v = \frac{T' \omega_k}{2\pi} k_v = \frac{T' k_v}{2\pi} \frac{d\phi_k}{dt}, \quad (2.40)$$

де ω_k – кутова швидкість шнекового конвеєра, рад/с;

φ_k – кут повороту шнекового конвеєра, град.;

k_v – коефіцієнт ковзання.

Коефіцієнт ковзання k_v залежить від багатьох факторів, основними із яких є кут підйому гвинтової лінії α навивання витків на барабан шнекового конвеєра, коефіцієнт ущільнення подрібнених рослинних решток витками шнекового конвеєра, діаметр шнека тощо та визначається за формулою

$$k_v = k_\alpha k_y, \quad (2.41)$$

де k_α , k_y – відповідно, коефіцієнт, який показують ступінь впливу кута підйому α гвинтової лінії по середньому радіусу останнього витка шнекового конвеєра та коефіцієнт ущільнення подрібнених рослинних решток витками шнекового конвеєра.

Складова T' рівняння (2.40) визначається як різниця кроку останнього витка T_k шнекового конвеєра та товщини витка δ_v , тобто

$$T' = T_k - \delta_v = \pi D \operatorname{tg} \alpha - \delta_v = \pi D \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v, \quad (2.42)$$

де D – діаметр гвинтового конвеєра, м;

$\alpha = 0,5\pi - \alpha_k$ – кут підйому гвинтової лінії останнього напірного витка шнекового конвеєра, град.; де α_k – кут тертя ковзання матеріалу (подрібнених рослинних решток) по гвинтовій поверхні витка шнекового конвеєра, град.;

δ_v – товщина останнього витка шнекового конвеєра, м.

Тоді підставивши значення k_v і T' з (2.41) і (2.42) в рівняння (2.40) одержимо залежність для визначення середньої швидкості транспортування рослинних решток V_c в напрямку вихідної частини шнекового конвеєра

$$V_c = \frac{D \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v}{2} k_\alpha k_y \frac{d\varphi_k}{dt}. \quad (2.43)$$

Числове значення коефіцієнта подачі шнека μ_n залежить від числових значень коефіцієнта ψ_n , який враховує дольове заповнення об'єму робочого

русла жолоба та коефіцієнта λ_c , який враховує «витік» маси матеріалу по зазорах та визначається як їх різниця, тобто

$$\mu_n = \psi_n - \lambda_c. \quad (2.44)$$

Коефіцієнт ψ_n заповнення об'єму робочого русла жолоба, який характеризує кількісне заповнення корисного об'єму робочого простору жолоба подрібненими рослинними рештками, є одним із складових показників (поряд із діаметром, кутовою швидкістю шнека, кроком витків шнека), від якого в значній мірі залежить продуктивність гвинтових механізмів і транспортерів.

Коефіцієнт заповнення об'єму робочого русла жолоба ψ_n залежить від багатьох об'єктивних і суб'єктивних причин: від фізико-механічних властивостей подрібнених частин гички; від конструкції шнека та жолоба; від урожайності гички та швидкості руху гичкозбирального модуля; від об'єму, який займає шнековий конвеєр в об'ємі простору жолоба робочого русла тощо.

Для визначення дійсного значення коефіцієнта заповнення об'єму робочого русла жолоба ψ_n , введемо поправочний коефіцієнт k_z , який враховує ту частину об'єму, що займає шнековий конвеєр в корисному об'ємі простору жолоба робочого русла.

Для цього розглянемо схему до визначення коефіцієнта ψ_n , яку наведено на рис. 2.14.

При цьому поправочний коефіцієнт k_z , який враховує ту частину об'єму, що займає шнековий конвеєр в корисному об'ємі простору жолоба робочого русла сформулюємо як відношення об'єму русла робочого простору жолоба до об'єму, який займає шнековий конвеєр, або

$$k_z = V_p / V_k; V_k = V_v + V_b, \text{ або } k_z = \frac{V_p}{V_v + V_b}, \quad (2.45)$$

де V_p – об'єм русла робочого простору жолоба, м³;

V_k – об’єм шнекового конвеєра, м³;

V_v – об’єм, що займають витки шнекового конвеєра, м³;

V_b – об’єм барабана шнекового конвеєра, м³.

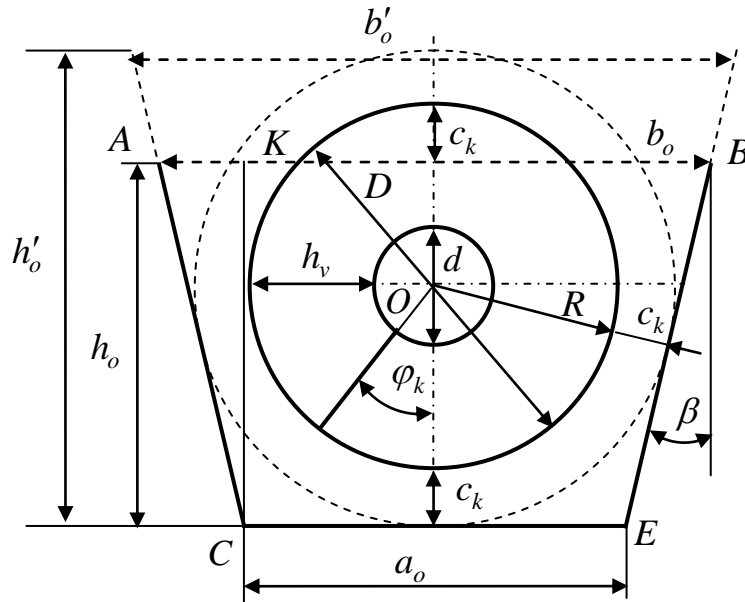


Рисунок 2.14 – Схема до визначення коефіцієнта ψ_n

При цьому складові залежності (2.45) визначаються

$$V_p = F_o h_p; \quad V_v = V'_v z_k; \quad V_b = 0,25\pi d^2 l_k, \quad (2.46)$$

де $F_o = 0,5h_o(a_o + b_o)$ – площа основи жолоба, тобто призми, м²; a_o , b_o – довжина основ трапеції $ABCE$, м; h_o – висота рівнобедреної трапеції, м;

h_p – висота призми, яку приймаємо рівною довжині шнекового конвеєра l_k (рис. 2.14) з конструктивних міркувань, тобто $h_p = l_k$, м;

$V'_v = F_n L_z$ – об’єм, що займають витки одного заходу шнека (м³), при цьому $F_n = \delta_v h_v$ – площа поперечного перерізу лопаті витка шнекового конвеєра (м²), де L_z – довжина гвинтової лінії по середньому діаметру шнекового конвеєра (м), $h_v = 0,5(D - d)$ – висота лопаті витка шнекового конвеєра, м;

z_k – кількість заходів шнекового конвеєра, шт.

Враховуючи (2.42) довжина гвинтової лінії L_z по середньому діаметру шнекового конвеєра визначається за формулою

$$L_z = \frac{\pi l_k (D + d)}{2T_k} \cos \arctg \frac{2T}{D + d} = \frac{0,5\pi l_n (D + d)}{Dtg(0,5\pi - \alpha_k)} \cos \arctg \frac{2\pi Dtg(0,5\pi - \alpha_k)}{D + d}. \quad (2.47)$$

Тоді об'єм, що займають витки шнекового конвеєра в об'ємі русла робочого простору жолоба визначається

$$V_v = F_n L_z z_k = \frac{\pi \delta_v l_k z_k (D^2 - d^2)}{4Dtg(0,5\pi - \alpha_k)} \cos \arctg \frac{2\pi Dtg(0,5\pi - \alpha_k)}{D + d}. \quad (2.48)$$

Загальний об'єм шнекового конвеєра згідно з формулами (2.45), (2.46) і (2.48) буде

$$V_k = \frac{\pi l_k}{4} \left(d^2 + \frac{\delta_v z_k (D^2 - d^2)}{Dtg(0,5\pi - \alpha_k)} \cos \arctg \frac{2\pi Dtg(0,5\pi - \alpha_k)}{D + d} \right). \quad (2.49)$$

Якщо прийняти, що $h_o \cong D$, тоді об'єм русла робочого простору жолоба згідно з (2.46) становить

$$V_p = 0,5Dl_k (a_o + b_o). \quad (2.50)$$

З врахуванням (2.45), (2.49), (2.50) коефіцієнт k_z після перетворення та спрощення буде визначається за формулою

$$k_z = \frac{2D^2(a_o + b_o)tg(0,5\pi - \alpha_k)}{\pi d^2 Dtg(0,5\pi - \alpha_k) + \delta_v z_k (D^2 - d^2) \cos \arctg \frac{2\pi Dtg(0,5\pi - \alpha_k)}{D + d}}. \quad (2.51)$$

Тоді дійсне значення коефіцієнта заповнення об'єму робочого русла жолоба шнека ψ_n з врахуванням поправочного коефіцієнта k_z буде визначається як $\psi_n = \psi'_n k_z$, де ψ'_n – загальний коефіцієнт заповнення об'єму робочого русла жолоба.

Враховуючи (2.51) маємо

$$\psi_n = \frac{2\psi'_n D^2 (a_o + b_o) tg(0,5\pi - \alpha_k)}{\pi d^2 Dtg(0,5\pi - \alpha_k) + \delta_v z_k \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \cos \arctg \frac{2\pi Dtg(0,5\pi - \alpha_k)}{D + d}}. \quad (2.52)$$

Враховуючи (2.52), залежність для визначення коефіцієнта подачі шнека μ_n згідно з (2.44) матиме вигляд

$$\mu_n = \frac{2\psi'_n D^2 (a_o + b_o) \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k)}{\pi d^2 D \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) + \delta_v z_k \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) \cos \operatorname{arctg} \frac{2\pi D \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k)}{D + d}} - \lambda_c. \quad (2.53)$$

Площа поперечного перерізу потоку вантажу F_v буде дорівнювати площі основи жолоба, або площі поперечного перерізу призми, або площі основи призми, тобто площі F_o рівнобічної трапеції $ABCE$. При цьому враховуючи прийняту умову, що $h_o \cong D$ маємо

$$F_v = F_o = 0,5D(a_o + b_o). \quad (2.54)$$

Підставивши значення F_v з (2.54), μ_n з (2.53), V_c з (2.43) у рівняння (2.39) одержимо кінцеву залежність для визначення розрахункової подачі $Q_k(t)$ подрібнених рослинних решток шнековим конвеєром за проміжок часу t у другому наближенні

$$Q_k(t) = \frac{1}{4\pi} D(a_o + b_o) (D \operatorname{tg} \alpha - \delta_v) \rho_v k_a k_y t \times \left(\frac{2\psi'_n D^2 (a_o + b_o) \operatorname{tg} \alpha}{\pi d^2 D \operatorname{tg} \alpha + \delta_v z_k (D^2 - d^2) \cos \operatorname{arctg} \frac{2\pi D \operatorname{tg} \alpha}{D + d}} - \lambda_c \right) \frac{d\varphi_k}{dt}. \quad (2.55)$$

Тоді умову забезпечення технологічності роботи гичкозбирального модуля, або транспортування подрібненої гички без її «вантаження» згідно з вихідною умовою (2.31), (2.38) і (2.55) можна записати в наступному вигляді

$$\frac{1}{4\pi} D(a_o + b_o) (D \operatorname{tg} \alpha - \delta_v) \rho_v k_a k_y \times \left(\frac{2\psi'_n D^2 (a_o + b_o) \operatorname{tg} \alpha}{\pi d^2 D \operatorname{tg} \alpha + \delta_v z_k (D^2 - d^2) \cos \operatorname{arctg} \frac{2\pi D \operatorname{tg} \alpha}{D + d}} - \lambda_c \right) \frac{d\varphi_k}{dt} \geq \frac{dS_n}{dt} b_k N_p (k_U U_g + k_M M_b). \quad (2.56)$$

Нерівність (2.56) є математичною моделлю, яка характеризує умову оптимального функціонування гичкозбирального модуля, або технологічного процесу збирання гички залежно від конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів і умов роботи гичкозбирального модуля.

Також математична модель (2.56) регламентує функціональну залежність взаємозв'язку розрахункової продуктивності шнекового конвеєра Q_k (кг/с) та секундної подачі W_z (кг/с) зрізаних і подрібнених роторним гичкорізом рослинних решток від конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів і умов роботи гичкозбирального модуля.

2.3. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів шнекового конвеєра гичкозбирального модуля

Для проведення подальшого аналізу, або обґрунтування основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля, запишемо нерівність (2.56) у вигляді

$$\frac{1}{4\pi} D(a_o + b_o) (Dt g \alpha - \delta_v) \rho_v k_a k_y \times \left(\frac{2\psi'_n D^2 (a_o + b_o) t g \alpha}{\pi d^2 D t g \alpha + \delta_v z_k (D^2 - d^2) \cos \arctg \frac{2\pi D t g \alpha}{D + d}} - \lambda_c \right) \omega_k \geq V_M b_k N_p (k_U U_g + k_M M_b) \quad (2.57)$$

та на аналітичному рівні визначимо значення її складових, які позначені буквеними виразами a_o і b_o , виходячи з конструктивних і технологічних міркувань.

Для цього розглянемо розрахункову схему, яку наведено на рис. 2.14, при цьому маємо:

$$AK = h_o t g \beta = D t g \beta; \quad b_o = 2h_o t g \beta + a_o = 2D t g \beta + a_o; \quad (2.58)$$

де β – кут між боковою гранню трапеції та висотою трапеції, град.,

або

$$a_o + b_o = 2h_o \operatorname{tg} \beta + a_o = a_o + 2D \operatorname{tg} \beta + a_o = 2(D \operatorname{tg} \beta + a_o); \quad (2.59)$$

$$R + c_k = 0,5D + c_k = 0,5\sqrt{a_o b'_o} = 0,5\sqrt{a_o(2h'_o \operatorname{tg} \beta + a_o)} = 0,5\sqrt{a_o[2(D + 2c_k) \operatorname{tg} \beta + a_o]}, \quad (2.60)$$

де c_k – робочий зазор між торцем витка шнека та стінками кожуха жолоба, м.

Із рівняння (2.60) після перетворення та спрощення виразу визначаємо довжину a_o

$$a_o = -(D + 2c_k) \operatorname{tg} \beta \pm \sqrt{[(D + 2c_k) \operatorname{tg} \beta]^2 + (4D + 8c_k)^2}. \quad (2.61)$$

Підставивши значення a_o з (2.61) у (2.59) після перетворення та спрощення виразу одержимо залежність для визначання суми $a_o + b_o$

$$a_o + b_o = -4c_k \operatorname{tg} \beta \pm 2\sqrt{[(D + 2c_k) \operatorname{tg} \beta]^2 + (4D + 8c_k)^2}. \quad (2.62)$$

Загальний коефіцієнт втрат гички k_U та коефіцієнт втрат бур'янів k_M встановимо згідно з агротехнічними вимогами до коренезбиральних машин і технологічного процесу збирання гички, при цьому загальний коефіцієнт втрат гички k_U буде визначатися, як сума коефіцієнта втрати маси залишків гички на головках коренеплодів k_z і коефіцієнта втрат маси гички k_v , яка втрачається під час зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза та транспортування подрібненої гички до шнекового конвеєра, тобто $k_U = k_z + k_v$.

Маси залишків гички на головках коренеплодів цукрових, кормових буряків і цикорію та маси гички, яка втрачається під час зрізування основного масиву залежить від сорту коренеплодів і урожайності гички та показників якості роботи гичкозбирального модуля.

Якщо прийняти значення коефіцієнта втрат гички k_U та втрат бур'янів k_M максимальними і рівними між собою з технологічних міркувань (тобто $k_U = k_M = 0,82$) та враховуючи запис (2.62), умову (2.47) можна записати у такому остаточному вигляді

$$\frac{1}{2\pi} D\omega_k \left(-2c_k \operatorname{tg}\beta + \sqrt{(D+2c_k)^2 \operatorname{tg}^2\beta + (4D+8c_k)^2} \right) (D \operatorname{tg}\alpha - \delta_v) \times \\ \times \rho_v k_a k_y \left(\frac{4\psi'_n D^2 \left(-2c_k \operatorname{tg}\beta + \sqrt{(D+2c_k)^2 \operatorname{tg}^2\beta + (4D+8c_k)^2} \right) \operatorname{tg}\alpha}{\pi d^2 D \operatorname{tg}\alpha + \delta_v z_k (D^2 - d^2) \cos \operatorname{arctg} \frac{2\pi D \operatorname{tg}\alpha}{D+d}} - \lambda_c \right) \geq. \quad (2.63) \\ \geq 0,82 V_M b_k N_p (U_g + 0,1)$$

Тоді розрахункова продуктивність шнекового конвеєра Q_k згідно з (2.63) і секундна подача W_z зрізаних і подрібнених роторним гичкорізом рослинних решток, які поступають до шнекового конвеєра, будуть визначаються за залежністю

$$Q_k = \frac{1}{2\pi} D\omega_k \left(-2c_k \operatorname{tg}\beta + \sqrt{(D+2c_k)^2 \operatorname{tg}^2\beta + (4D+8c_k)^2} \right) (D \operatorname{tg}\alpha - \delta_v) \times \\ \times \rho_v k_a k_y \left(\frac{4\psi'_n D^2 \left(-2c_k \operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\alpha \sqrt{(D+2c_k)^2 \operatorname{tg}^2\beta + (4D+8c_k)^2} \right)}{\pi d^2 D \operatorname{tg}\alpha + \delta_v z_k (D^2 - d^2) \cos \operatorname{arctg} \frac{2\pi D \operatorname{tg}\alpha}{D+d}} - \lambda_c \right); \quad (2.64)$$

$$W_z = 0,82 V_M b_k N_p (U_g + 0,1). \quad (2.65)$$

Обґрунтування основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля проведемо у наступній послідовності.

1. Перш за все визначимо реальну секундну подачу рослинних решток W_z роторним гичкорізом до шнекового конвеєра, при цьому W_z буде регламентувати необхідні межі зміни розрахункової продуктивності шнекового конвеєра Q_k , яка забезпечуватиме W_z .

Для побудови графічного відтворення W_z встановимо межі зміни робочої швидкості руху гичкозбирального модуля V_M , при цьому V_M повинна відповідати, або бути рівна робочій швидкості руху коренезбиральної машини.

Сучасні коренезбиральні машини задовільно виконують робочий процес збирання коренеплодів на робочій швидкості руху в межах 1,6...2,4 м/с.

За початкових умов (ширина міжряддя коренеплодів $b_k = 0,45$ м; кількість коренеплодів на 1 п.м рядка $N=3;4;6$ шт.; урожайність гички $U_g = 10..20$ кг/м²) за формулою (2.65) побудовано залежність зміни секундної подачі зрізаних і подрібнених рослинних решток роторним гичкорізом до шнекового конвеєра у вигляді функціонала $W_z = f(V_M, U_g)$.

Залежність зміни секундної подачі зрізаних і подрібнених рослинних решток роторним гичкорізом до шнекового конвеєра у вигляді функціонала $W_z = f(V_M, U_g)$ наведено на рис. 2.15.

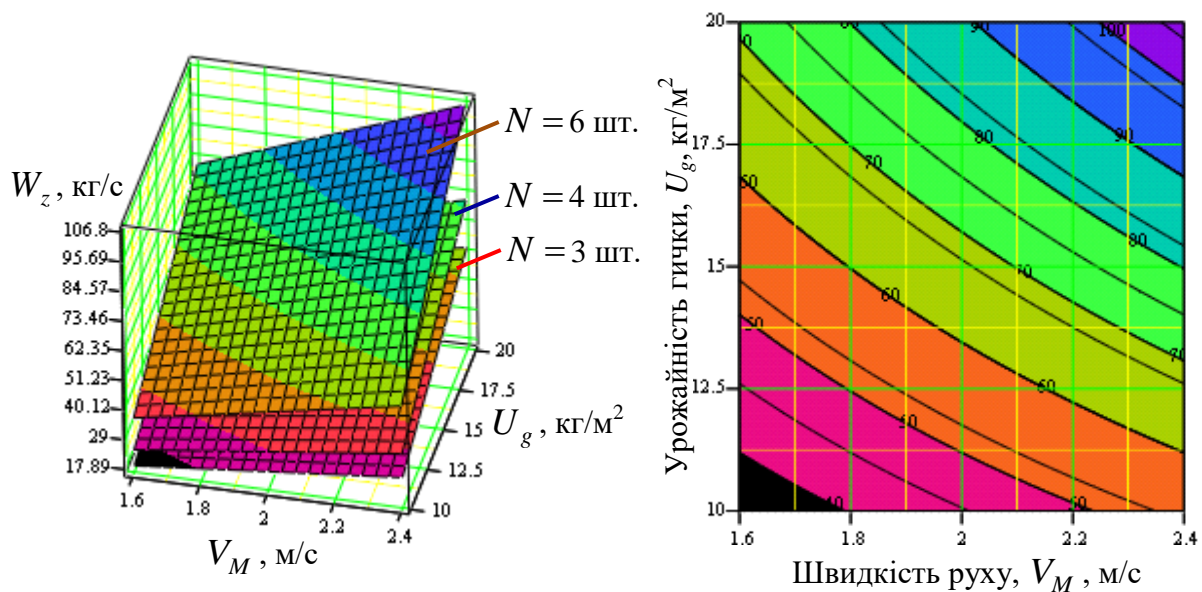


Рисунок 2.15 – Залежність зміни секундної подачі рослинних решток W_z роторним гичкорізом як функціонал $W_z = f(V_M, U_g)$

На основі аналізу графічних побудов (рис. 2.15) встановлено, що у межах зміни робочої швидкості руху гичкозбирального модуля $1,6 \leq V_M \leq 2,4$ м/с та питомої маси гички $10 \leq U_g \leq 20$ кг/м² (середнього діапазону урожайності гички в межах 100...200 ц/га) за одночасного збирання коренеплодів з 3, 4 і 6 рядків, секундна подача зрізаних і подрібнених рослинних решток W_z до шнекового конвеєра зростає та знаходиться в межах 36...107 кг/с.

Ця закономірність також підтверджується залежністю зміни секундної подача зрізаних і подрібнених рослинних решток W_z у вигляді функціонала $W_z = f(V_M)$, який наведено на рис. 2.16.

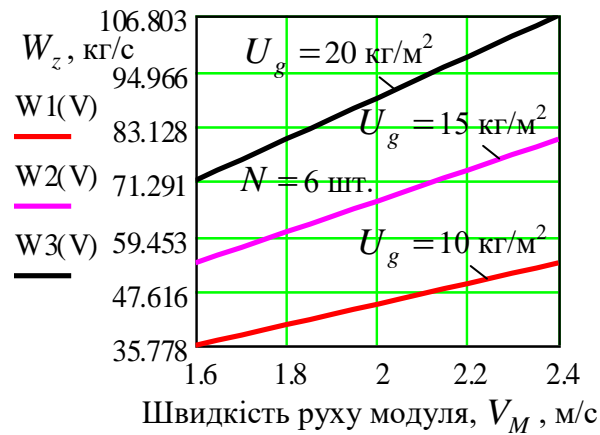


Рисунок 2.16 – Залежність зміни секундної подачі рослинних решток W_z роторним гичкорізом як функціонал $W_z = f(V_M)$

2. Необхідне значення кутової швидкості ω_k шнекового конвеєра, за якої забезпечується теоретична розрахункова продуктивність шнекового конвеєра Q_k (або транспортування зрізаних і подрібнених ножами роторного гичкоріза рослинних решток без їх «звантаження») за секундної подачі зрізаних і подрібнених рослинних решток $36 \leq W_z \leq 107$ кг/с визначимо із умови, яка записана згідно з нерівністю (2.63), при цьому для спрощення запису виразу позначимо складові нерівності (2.63) як:

$$\left. \begin{aligned} -2c_k t g \beta \pm \sqrt{[(D + 2c_k) t g \beta]^2 + (4D + 8c_k)^2} &= \theta; \\ \pi d^2 D t g \alpha + \delta_v z_k (D^2 - d^2) \cos \arctg \frac{2\pi D t g \alpha}{D + d} &= P \end{aligned} \right\}. \quad (2.66)$$

Тоді мінімальне значення кутової швидкості ω_k шнекового конвеєра з умови забезпечення його продуктивності роботи Q_k без «звантаження» рослинних решток визначається за формулою

$$\omega_k \geq \frac{1,64\pi V_M b_k N_p (U_g + 0,1) P}{D \theta (D t g \alpha - \delta_v) \rho_v k_a k_y (8\theta \psi D^2 t g \alpha - \lambda P)}, \quad (2.67)$$

або

$$\omega_k \geq \frac{2\pi W_z P}{D \theta (D t g \alpha - \delta_v) \rho_v k_a k_y (8\theta \psi D^2 t g \alpha - \lambda P)}. \quad (2.68)$$

За початкових умов $c_k = 0,005$ м, $\beta = \pi/12$, $\delta_v = 0,005$ м, $d = 0,1$ м (з конструктивних міркувань); $\alpha = \pi/6$ (з умови забезпечення максимальної осьової швидкості переміщення вантажу; $\rho_v = 150$ кг/м³; $k_a = 0,8$; $k_y = 0,3$; $\psi'_n = 0,8$; $z_k = 1$; $\lambda_c = 0,1$ за формулою (2.68) побудовано залежність зміни кутової швидкості ω_k шнекового конвеєра гичкозбирального модуля у вигляді функціонала $\omega_k = f(D, W_z)$ і залежності $\omega_k = f(W_z)$.

Графічну побудову залежності зміни кутової швидкості шнекового конвеєра від параметрів процесу у вигляді функціонала $\omega_k = f(D, W_z)$ і $\omega_k = f(W_z)$ наведено на рис. 2.17.

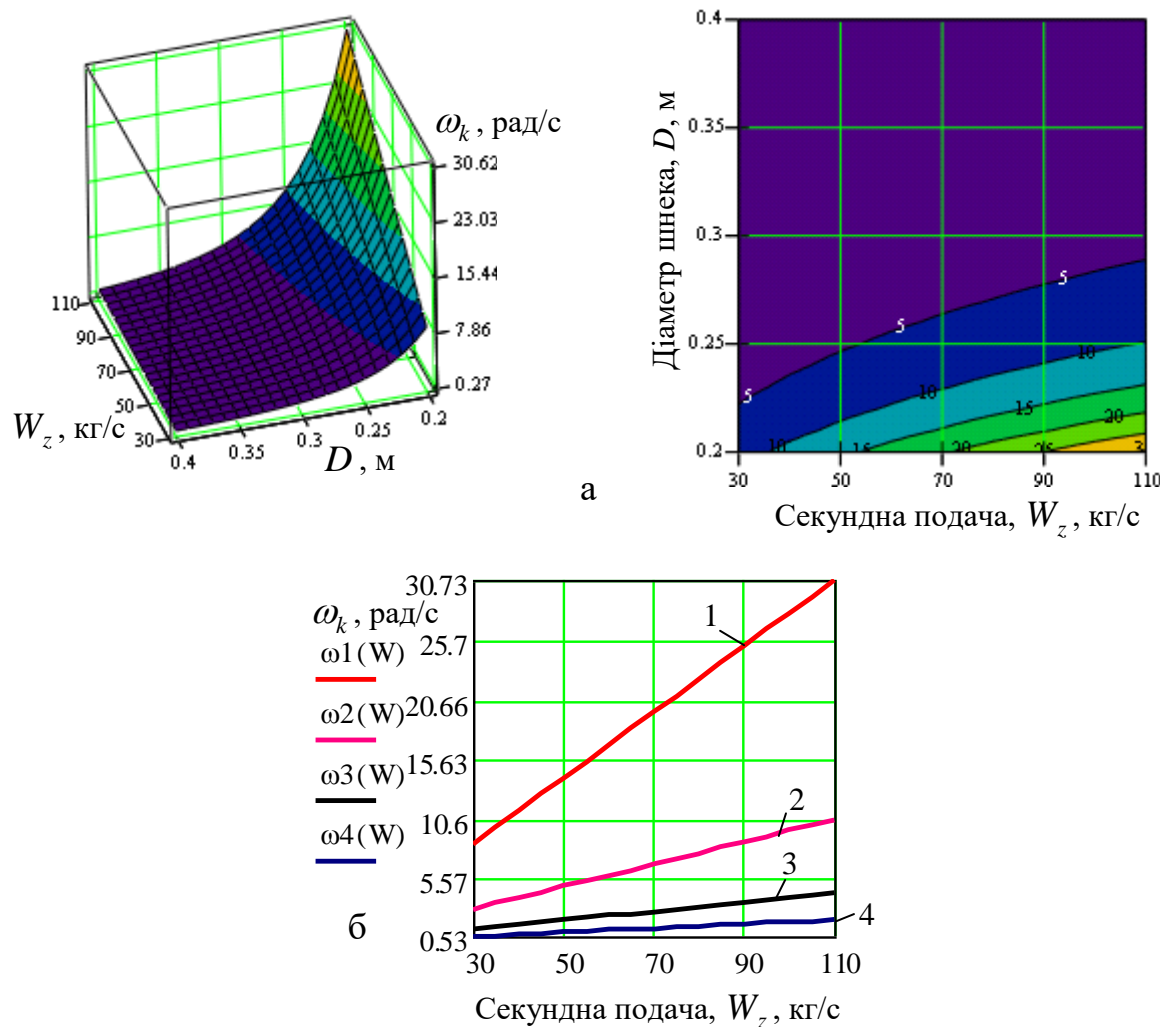


Рисунок 2.17 – Залежність зміни кутової швидкості шнекового конвеєра ω_k як функціонал: а – $\omega_k = f(W_z, D)$; б – $\omega_k = f(W_z)$;

1, 2, 3, 4 – відповідно, $D = 0,2; 0,25; 0,3; 0,4$ м

Встановлено, що для забезпечення транспортування шнековим конвеєром зрізаних і подрібнених рослинних решток без їх «звантаження» на його робочих поверхнях за секундної подачі рослинних решток $70 \leq W_z \leq 107$ кг/с (за швидкості руху модуля $2,2 \leq V_M \leq 2,4$ м/с), кутова швидкість ω_k шнекового конвеєра знаходиться в середніх межах 5,0...30 рад/с за діаметра шнекового конвеєра $D = 0,2 \dots 0,3$ м (рис. 2.17а), або частота обертання шнекового конвеєра приблизно повинна бути у діапазоні $n_k = 50 \dots 300$ об/хв (рис. 2.17б).

Пріоритетний вплив на зміну кутової швидкості ω_k обертання шнекового конвеєра має секундна подача рослинних решток W_z роторним гичкорізом до нього та зміна діаметра шнека в межах $0,2 \leq D \leq 0,3$ м, при цьому за зменшення діаметра шнека від 0,3 до 0,2 м приріст кутової швидкості шнека ω_k становить від 10 до 25 рад/с залежно від значення питомої секундної подачі гички U_g до нього.

Для забезпечення технологічного процесу транспортування гички шнековим конвеєром за зміни діаметра шнека у межах $D = 0,2 \dots 0,25$ м кутова швидкість шнека повинна бути в межах 3,0...30,0 рад/с, а за значення діаметра шнека $D = 0,3 \dots 0,4$ м процес транспортування подрібнених рослинних решток стабілізується, діапазон зміни кутової швидкості ω_k шнека має відносний несуттєвий характер і становить в середньому $\omega_k = 0,6 \dots 5,0$ рад/с (рис. 2.17б).

Якщо прийняти з конструктивних міркувань діапазон зміни значення діаметра шнекового конвеєра у межах $D = 0,25 \dots 0,3$ м, кутова швидкість обертання шнекового конвеєра буде становити в середньому $\omega_k = 4,0 \dots 10,0$ рад/с, або близько 40...100 об/хв (рис. 2.17б).

3. Необхідне значення діаметра D шнекового конвеєра визначимо з графічного аналізу необхідної розрахункової продуктивності Q_k шнекового конвеєра та встановлених раціональних меж зміни частоти обертання шнекового конвеєра у межах $n_k = 40 \dots 100$ об/хв.

Для побудови графічного відтворення розрахункової продуктивності Q_k шнекового конвеєра запишемо залежність (2.64) у вигляді

$$Q_k = \frac{1}{60} D n_k \theta (D \operatorname{tg} \alpha - \delta_v) \rho_v k_a k_y \left(\frac{4 \psi'_n D^2 \operatorname{tg} \alpha \theta}{P} - \lambda_c \right). \quad (2.69)$$

На рис. 2.18 згідно з формулою (2.69) наведено залежність зміни розрахункової продуктивності Q_k шнекового конвеєра від діаметра шнека D та частоти обертання шнека n_k у вигляді функціонала $Q_k = f(D, n_k)$.

На рис. 2.19 наведено залежність зміни розрахункової продуктивності Q_k шнекового конвеєра гичкозбирального модуля від діаметра шнека D як функціонал $Q_k = f(D)$.

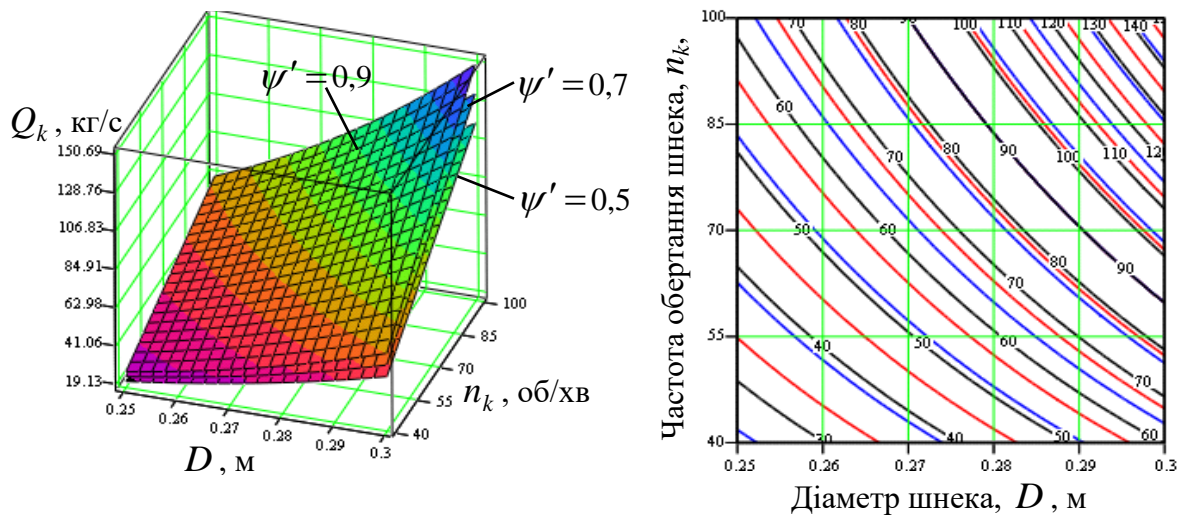


Рисунок 2.18 – Залежність зміни розрахункової продуктивності шнекового конвеєра Q_k як функціонал $Q_k = f(n_k, D)$

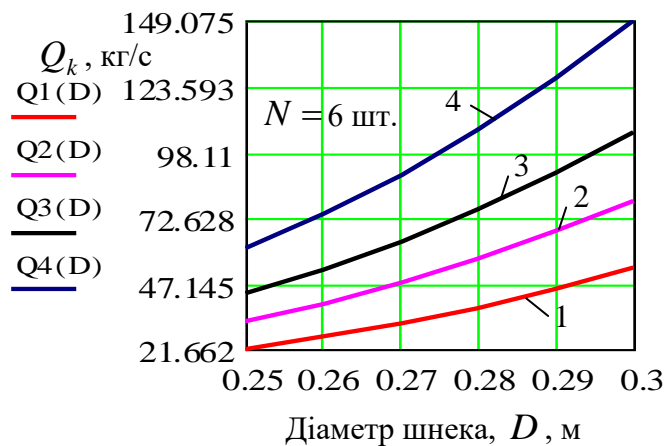


Рисунок 2.19 – Залежність зміни розрахункової продуктивності шнекового конвеєра Q_k як функціонал $Q_k = f(D)$: 1, 2, 3, 4 – відповідно, $n_k = 40; 60; 80; 100$ об/хв

Аналіз наведених графічних залежностей (рис. 2.18, рис. 2.19) показує, що теоретична розрахункова продуктивність Q_k шнекового конвеєра змінюється у межах $Q_k = 20 \dots 150$ кг/с за встановленої межі зміни частоти обертання n_k шнекового конвеєра $n_k = 40 \dots 100$ об/хв, межі зміни діаметра шнека $D = 0,25 \dots 0,3$ м при значенні загального коефіцієнта заповнення об'єму робочого русла жолоба $\psi' = 0,5; 0,7; 0,9$.

При цьому: за значення загального коефіцієнта заповнення об'єму робочого русла жолоба $\psi' = 0,5$ розрахункова продуктивність Q_k шнекового конвеєра гичкозбирального модуля змінюється приблизно від 20 до 110 кг/с; за значення загального коефіцієнта заповнення об'єму робочого русла жолоба $\psi' = 0,7$ розрахункова продуктивність Q_k шнекового конвеєра гичкозбирального модуля змінюється приблизно від 23 до 130 кг/с; за значення загального коефіцієнта заповнення об'єму робочого русла жолоба $\psi' = 0,9$ розрахункова продуктивність Q_k шнекового конвеєра гичкозбирального модуля змінюється приблизно від 27 до 150 кг/с.

За збільшення частоти обертання шнекового конвеєра n_k його продуктивність роботи Q_k також збільшується, при цьому значний приріст Q_k характерний для значення частоти обертання шнекового конвеєра $n_k \geq 80$ об/хв.

Таким чином, одержані значення розрахункової продуктивності Q_k шнекового конвеєра гичкозбирального модуля у межах $Q_k = 20 \dots 150$ кг/с є адекватними одержаним значенням відповідних меж зміни секундної подачі W_z зрізаних і подрібнених рослинних решток ножами роторного гичкоріза $W_z = 35 \dots 107$ кг/с (рис. 2.15, рис. 2.16), що надходять до шнекового конвеєра.

У зв'язку з цим на основі порівняння розрахункової продуктивності шнекового конвеєра та секундної подачі рослинних решток до нього можна констатувати, що за прийнятих значень основних технологічних параметрів процесу зрізування гички роторним гичкорізом та її переміщення шнековим

конвеєром (за коефіцієнта заповнення робочого простору $\psi'_n = 0,8$, робочої швидкості руху модуля $V_M = 1,6 \dots 2,4$ м/с, середнього діапазону урожайності гички коренеплодів $U_g = 100 \dots 200$ ц/га, кількості рядків коренеплодів з яких одночасно збирається гичка $N = 6$), раціональні конструктивно-кінематичні параметри шнекового конвеєра, які обґрунтовано теоретично та за яких задовольняється умова оптимального функціонування гичкозбирального модуля без «звантаження» матеріалу на шнековому конвеєрі згідно з залежністю (2.31) становлять: діаметр шнекового конвеєра $D = 0,25 \dots 0,3$ м; частота обертання шнекового конвеєра $n_k = 40 \dots 100$ об/хв; діаметр труби барабана шнекового конвеєра $d = 0,1$ м; висота витка $h_v = 0,075 \dots 0,1$ м.

2.4. Дослідження процесу розкидання гички шнековим конвеєром

Процес переміщення (вивантаження) подрібненої гички шнековим конвеєром за його межі відбувається в його вихідній частині 12 (рис. 2.15) та починається після її сходу з останнього спірального витка 11, де подрібнена гичка укладається у валок на зібране поле, ширину якого позначимо через b .

Для подальшого обґрунтування раціональних параметрів шнекового конвеєра розглянемо схему для розрахунку ширини b утвореного валка подрібненої та розкиданої гички, яку наведено на рис. 2.20.

Ширина утвореного валка b розкиданої гички по поверхні зібраного поля в значній мірі залежить від параметрів і режимів роботи шнекового конвеєра 1 (рис. 2.20), миттєвих координат, які визначають положення точкової маси гички відносно спірального витка 3 у момент її сходу з нього, опору повітряного середовища, маси подрібненої гички в момент її сходу з витка шнека, фізичного стану гички на момент збирання тощо.

Для формалізації процесу вивантаження подрібненої гички приймаємо припущення, що:

- подрібнена гичка знаходиться на поверхні напірного спірального витка

3 в точці O нерухомої системи координат $OXYZ$ (рис. 2.20) та опирається на дану поверхню, яка розташована під кутом підйому гвинтової лінії β та знаходиться на висоті h_x відносно горизонтальної площини $O'X'Y'$, або від рівня поверхні ґрунту;

- після сходу подрібненої гички з поверхні спірального витка 3, який обертається з кутовою швидкістю ω_k , вона рухається у повітряному просторі з наступним приземленням на зібране поле у точках A_1 і A_2 ;

- вектор початкової швидкості руху гички \vec{V}_p знаходиться в точці O , або на початку нерухомої системи координат $OXYZ$, при цьому вісь OX направимо вздовж напрямку вектора \vec{V}_p , а вісь OZ – вертикально вгору;

- рух подрібненої гички розглянемо як рух тіла масою m_i кинутого під кутом α_x до горизонту з початковою результуючою швидкістю V_p , на яке діє сила тяжіння $G_i = m_i g$, сила в'язкого опору повітряного середовища R_o , вектор \vec{R}_o якої направлений протилежно дотичній швидкості руху тіла та яка пропорційна швидкості руху подрібненої гички, тобто

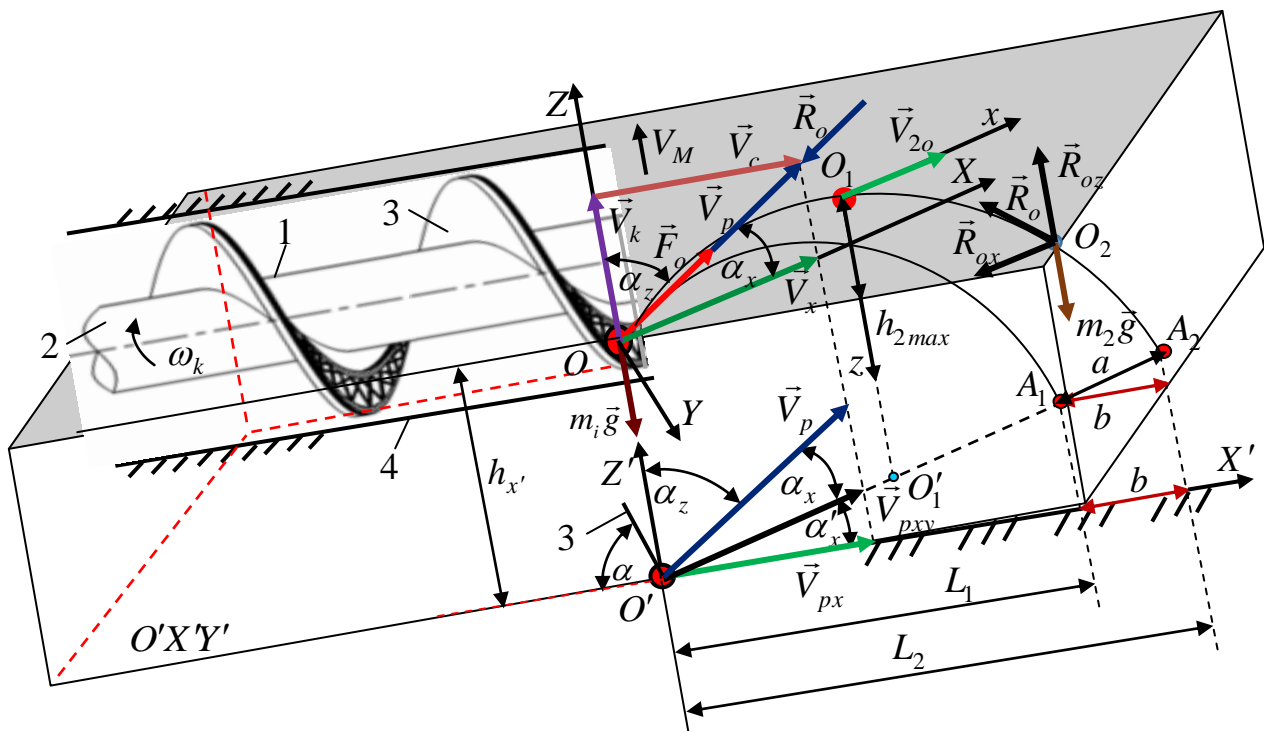


Рисунок 2.20 – Схема до розрахунку ширини валка гички:

1 – шнековий конвеєр; 2 – барабан; 3 – виток шнекового конвеєра; 4 – кожух

$$\vec{R}_o = \mu \vec{V}_p = \vec{R}_{oz} + \vec{R}_{ox} = \mu \vec{V}_{pz} + \mu \vec{V}_{px} = \mu \vec{V}_p (\sin \alpha_x + \cos \alpha_x), \quad (2.70)$$

де R_o , R_{oz} , R_{ox} – сила в'язкого опору повітряного середовища, вертикальна та горизонтальна складова сили в'язкого опору повітряного середовища, Н;

$\mu = km_i$ – сталий коефіцієнт опору, кг/с; m_i – маса подрібненої гички, кг;

k – коефіцієнт парусності, 1/с;

V_p , V_{pz} , V_{px} – результуюча швидкість руху гички, проекція результуючої швидкості V_p руху гички на вісь OZ і OX , м/с;

α_x – кут між віссю OX і напрямком результуючої швидкості V_p , град.

В наукових працях Василенка П.М., Адамчука В.В., Кукібного А.А. наведено результати досліджень руху тіла кинутого під кутом до горизонту в рухомому середовищі з врахуванням дії сили опору середовища.

Але праці Василенка П.М. та Кукібного А.А. суттєво звужують їх застосування на практиці за наявності специфічних властивостей руху насінневого матеріалу.

Наукові праці Адамчука В.В. розв'язують випадок, коли напрямок вектора абсолютної швидкості сходження масової частинки мінеральних добрив співпадає з напрямком вектора швидкості повітряного потоку.

Для визначення ширини утвореного валка b подрібненої та розкиданої на поверхні поля гички перенесемо паралельно осі системи координат $OXYZ$ на площину $O'X'Y'$, яка паралельна поверхні рівня поля та повернемо осі системи координат $OXYZ$ на кут підйому гвинтової лінії останнього витка шнека α .

Тоді вектор початкової швидкості руху гички \vec{V}_p буде знаходитися в точці O' , або на початку нерухомої системи відліку $O'X'Y'Z'$, яка характеризується миттєвими координатами z' , x' .

Згідно з рис. 2.8 ширина валка b (м) розкидання гички по поверхні ґрунту відносно осі $O'X'$ буде визначатися як різниця проєкцій дальності польоту подрібненої гички мінімальної m_2 та максимальної m_1 маси на вісь $O'X'$

$$b = L_2 - L_1 = O'A_2 \cos \alpha'_x - O'A_1 \cos \alpha'_x = \cos \alpha (L'_2 - L'_1), \quad (2.71)$$

де L_1, L_2 – проекція дальності полоту на вісь $O'X'$ подрібненої гички мінімальної m_2 та максимальної m_1 маси, м;

$\alpha'_x = \alpha$ – кут між напрямком проекції вектору \vec{V}_p на площину $O'X'Y'$ та віссю $O'X'$, або між вектором \vec{V}_{pxy} та віссю $O'X'$, град.;

L'_1, L'_2 – дальність полоту подрібненої гички мінімальної m_2 та максимальної m_1 маси, м.

Зважаючи на те, що методи та принципи польоту подрібненої гички, або визначення дальності полоту L'_1 і L'_2 мінімальної m_2 та максимальної m_1 маси ідентичні, обмежимося лише визначенням дальності польоту L'_2 подрібненої гички мінімальної маси m_2 .

Аналіз руху подрібненої гички масою m_2 , або дослідження її дальності польоту L'_2 проведемо шляхом розгляду траєкторії польоту подрібненої гички масою m_2 , яку поділимо на два етапи: перший етап – політ маси m_2 до її положення в найвищій точці O_1 ; другий етап – політ від точки O_1 до точки приземлення з координатами $A_2(x_2; z_2)$.

Тоді дальність польоту L'_2 максимальної маси m_2 буде складатися з суми відрізків дальності польоту подрібненої гички на першому l'_{21} та другому l'_{22} етапі, або згідно з рис. 2.20 маємо

$$L'_2 = O'O'_1 + O'_1A_1 = l'_{21} + l'_{22}. \quad (2.72)$$

На першому етапі переміщення подрібненої гички масою m_2 із початковою результуючою швидкістю $\vec{V}_p = \vec{V}_k + \vec{V}_o$ з точки O в точку O_1 , або в точку максимального підйому подрібненої гички відносно горизонту, вектор початкової швидкості руху подрібненої гички \vec{V}_p направимо під кутом α_x відносно осі OX нерухомої плоскої системи координат $OXYZ$, початок відліку якої знаходиться в точці O , або в точці початку сходу подрібненої гички масою m_2 з витка 3 (рис. 2.20) шнекового конвеєра 1, або початку переміщення маси m_2 з витка.

При цьому вісь OX нерухомої системи координат $OXYZ$ направимо паралельно горизонту, а вісь OZ – вверх перпендикулярно осі OX ;

Розглянемо перший етап переміщення подрібненої гички масою m_2 із початковою швидкістю $\vec{V}_p = \vec{V}_k + \vec{V}_o$ з точки O в точку O_1 (рис. 2.8), або в точку максимального підйому маси m_2 відносно горизонту.

З врахуванням напрямку сили в'язкого опору F_o повітряного середовища на першому етапі та згідно з відомими положеннями можна записати

$$\begin{cases} X_1 = \frac{V_p \cos \alpha_x}{k_{2c} g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{12}}); \\ Z_1 = \frac{1}{k_{2c} g} \left(V_p \sin \alpha_x + \frac{1}{k_{2c}} \right) (1 - e^{-k_{2c} g t_{12}}) - \frac{t_{12}}{k_{2c}} \end{cases}, \quad (2.73)$$

де t_{12} – час переміщення подрібненої гички масою m_2 на першому етапі з точки O в точку O_1 , с;

k_{2c} – питомий коефіцієнт опору маси m_2 , с/м.

З врахуванням (2.20), (2.21) і (2.23) початкова результуюча швидкість V_p вильоту подрібненої гички визначається

$$\begin{aligned} V_p &= \sqrt{V_k^2 + V_c^2} = \sqrt{0,25 \omega_k^2 D^2 + 0,25 (Dt g (0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 \omega_k^2} = \\ &= 0,5 \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt g (0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \end{aligned} \quad (2.74)$$

Підставивши значення V_p з (2.74) в систему рівнянь (2.73) отримаємо

$$\begin{cases} X_1 = \frac{0,5 \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt g (0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \cos \alpha_x}{k_c g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{12}}); \\ Z_1 = \frac{1}{k_{2c} g} \left(0,5 \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt g (0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x + \frac{1}{k_c} \right) (1 - e^{-k_{2c} g t_{12}}) - \frac{t_{12}}{k_{2c}} \end{cases}.$$

порядковий номер формули – (2.75).

Дальність польоту $l'_{21} = X_{1t=t_{12}}$ на першому етапі переміщення подрібненої гички масою m_2 із початковою результуючою швидкістю V_p з точки O в точку O_1 визначається за формулою

$$l'_{21} = X_{1t=t_{12}} = \frac{V_p^2 \sin 2\alpha_x}{2g(1 - k_{2c} V_p \sin \alpha_x)}, \quad (2.76)$$

або згідно з (2.74)

$$l'_{21} = X_{1t=t_{12}} = \frac{0,125 \left(\frac{d\varphi_k}{dt} \right)^2 \left[D^2 + (Dt g(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 \right] \sin 2\alpha_x}{g \left(1 - 0,5k_{2c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt g(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)}. \quad (2.77)$$

На другому етапі переміщення подрібненої гички масою m_2 із початковою швидкістю V_{2o} (рис. 2.20) з точки O_1 в точку A_2 , вектор початкової швидкості руху \vec{V}_{2o} направимо вздовж горизонтальної осі O_1x нерухомої плоскої системи координат O_1xy , початок відліку якої знаходиться в точці O_1 , або в точці максимального підйому подрібненої гички відносно горизонту, при цьому напрямок осі O_1x нерухомої системи координат O_1xy співпадає з напрямком осі Ox , а вісь O_1z направимо вертикально вниз, або в протилежну сторону напрямку осі Oz системи координат Oxz .

Розглянемо другий етап переміщення подрібненої гички масою m_2 із початковою швидкістю V_{2o} з точки O_1 в точку A_2 з координатами $A_2(x_2; z_2)$.

Зобразимо масу m_2 гички в проміжній точці O_2 та прикладемо до неї всі діючі сили, при цьому диференціальне рівняння руху гички масою m_2 на другому етапі буде

$$m_2 \frac{d\vec{V}_{2x}}{dt_2} = \vec{R}_o + \vec{G}_2. \quad (2.78)$$

Або згідно з (2.70)

$$m_2 \frac{d\vec{V}_{2x}}{dt_2} = \sqrt{\vec{R}_{oz}^2 + \vec{R}_{ox}^2} + m_2 \vec{g} = k_\mu \sqrt{\vec{V}_{2oz}^2 + \vec{V}_{2ox}^2} + m_2 \vec{g}, \quad (2.79)$$

де R_{oz} , R_{ox} – вертикальна і горизонтальна складова сили в'язкого опору F_o повітряного середовища, Н;

V_{2ox} , V_{2oz} – відповідно, проекція початкової швидкості руху V_{2o} подрібненої гички масою m_2 на вісь O_1x і вісь O_1z , м/с;

k_μ – сталий коефіцієнт опору, кг/с.

Спроекуємо всі діючі сили на осі, перенесених в точку O_2 нерухомої системи координат O_1xyz , при цьому одержимо систему диференціальних рівнянь руху гички масою m_2

$$\begin{cases} m_k dV_{2x} = -R_{ox} dt_{22}; \\ m_k dV_{2z} = (-R_{oz} + m_2 g) dt_{22} \end{cases}, \quad (2.80)$$

або згідно з (2.79)

$$\begin{cases} m_k dV_{2x} = -k_\mu V_{2ox} dt_{22}; \\ m_k dV_{2z} = (-k_\mu V_{2oz} + m_2 g) dt_{22} \end{cases}, \quad (2.81)$$

де t_{22} – час переміщення подрібненої гички масою m_2 на другому етапі з точки O_1 в точку A_2 , с.

Аналіз першого рівняння системи (2.81) показує, що закономірність польоту подрібненої гички масою m_2 відносно осі O_1x адекватна закономірності її польоту на першій стадії. Тоді з врахуванням напрямку сили в'язкого опору F_o повітряного середовища на другому етапі та згідно з відомими положеннями можна записати

$$x_2 = \frac{V_{2ox}}{k_{2c} g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}}), \quad (2.82)$$

Початкова швидкість руху V_{2ox} подрібненої гички масою m_2 в точці O_1 дорівнює $V_{2ox} = V_p \cos \alpha_x e^{-k_{2c} g t_{12}}$.

Тоді підставивши значення $V_{2ox} = V_p \cos \alpha_x e^{-k_{2c} g t_{12}}$ в (2.82) та згідно з (2.74) маємо

$$x_2 = \frac{\frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt g (0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \cos \alpha_x e^{-k_{2c} g t_{12}}}{2k_{2c} g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}}). \quad (2.83)$$

Проінтегруємо друге рівняння системи (2.81), при цьому інтегрування другого рівняння системи (2.81) проведемо способом розділення перемінних.

Для цього запишемо друге диференціальне рівняння системи (2.81) в наступному вигляді

$$-\frac{m_2}{k_{2\mu}} \frac{d(m_2 g - V_{2oz} k_{2\mu})}{m_2 g - V_{2oz} k_{2\mu}} = dt_{22}. \quad (2.84)$$

Якщо диференціали функцій правої та лівої частини рівняння (2.84) рівні, тоді рівні і інтеграли цих функцій з точністю до постійної інтегрування C_{12} .

Тоді запишемо інтеграл рівняння (2.84)

$$-\frac{m_2}{k_{2\mu}} \int \frac{d(m_2 g - V_{2oz} k_{2\mu})}{m_2 g - V_{2oz} k_{2\mu}} = \int dt_{22}. \quad (2.85)$$

Тоді рішення інтеграла (2.85) буде мати вигляд

$$-\frac{m_2}{k_{2\mu}} \ln |m_2 g - V_{2oz} k_{2\mu}| = t_{22} + C_{12}. \quad (2.86)$$

Для знаходження постійної інтегрування C_{12} рівняння (2.86) запишемо початкові умови, за яких $t_{22} = 0$, $V_{k_{oz}} = 0$, при цьому враховуючи, що $m_2 g > V_{2oz} k_{2\mu}$ нехтуємо знаком модуля виразу, а після досягнення швидкості подрібненої гички $V_{2oz} = m_2 g / k_{2\mu}$, вона буде залишатися постійною.

Тоді

$$C_{12} = -\frac{m_2}{k_{2\mu}} \ln(m_2 g). \quad (2.87)$$

Підставивши значення постійної інтегрування C_{12} із (2.87) рівняння системи (2.56) отримаємо

$$-\frac{m_2}{k_{2\mu}} \ln \left(1 - \frac{V_{k_{0z}} k_{2\mu}}{m_2 g} \right) = t_{22}. \quad (2.88)$$

Із рівняння системи (2.88) визначимо складову початкової швидкості руху подрібненої гички масою m_2 на другому етапі

$$V_{k_{0z}} = \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} \left(1 - e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} \right). \quad (2.89)$$

Враховуючи, що $V_{k_{0z}} = dz_2 / dt_{22}$ та згідно з (2.89) отримано

$$\frac{dz_2}{dt_{22}} = \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} \left(1 - e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} \right). \quad (2.90)$$

Проінтегруємо рівняння (2.90), при цьому інтегрування проведемо способом розділення перемінних.

Для цього переписемо рівняння (2.90) в наступному вигляді

$$dz_2 = \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} \left(1 - e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} \right) dt_{22}. \quad (2.91)$$

Запишемо інтеграл рівняння (2.91) у наступному вигляді

$$\int dz_2 = \int \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} \left(1 - e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} \right) dt_{22}. \quad (2.92)$$

Рішення інтегрального виразу (2.92) має вигляд

$$z_2 = \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} t_{22} + \frac{m_2^2 g}{k_{2\mu}^2} e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} + C_{22}. \quad (2.93)$$

Для знаходження постійної інтегрування C_{22} запишемо початкові умови, за яких $t_{22} = 0$, $z_2 = 0$.

Тоді

$$C_2 = -\frac{m_2^2 g}{k_{2\mu}^2}. \quad (2.94)$$

Підставивши значення постійної інтегрування C_{22} із (2.94) у рівняння (2.93) отримаємо

$$z_2 = \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} t_{22} + \frac{m_2^2 g}{k_{2\mu}^2} e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} - \frac{m_2^2 g}{k_{2\mu}^2}. \quad (2.95)$$

Після перетворення та спрощення рівняння (2.95) та з врахуванням рівняння (2.82) отримано залежності, які характеризують зміну шляху переміщення подрібненої гички масою m_2 на другому етапі відносно осі $O_o x$ та осі $O_o z$ нерухомої системи координат $O_o x y z$ за проміжок часу t_{22} , або координати точки $A_2(x_2; z_2)$

$$\begin{cases} x_2 = \frac{V_{2ox}}{k_{2c} g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}}); \\ z_2 = \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} \left[t_{22} + \frac{m_2}{k_{2\mu}} \left(e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} - 1 \right) \right]. \end{cases} \quad (2.96)$$

Підставивши значення швидкості $V_{2ox} = V_p \cos \alpha_x e^{-k_{2c} g t_{12}}$ в перше рівняння системи (2.96) отримаємо

$$\begin{cases} x_2 = \frac{V_p \cos \alpha_x e^{-k_{2c} g t_{12}}}{k_{2c} g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}}); \\ z_2 = \frac{m_2 g}{k_{2\mu}} \left[t_{22} + \frac{m_2}{k_{2\mu}} \left(e^{-\frac{k_{2\mu}}{m_2} t_{22}} - 1 \right) \right]. \end{cases} \quad (2.97)$$

Перше рівняння системи (2.97) також характеризує дальність польоту $l'_{22} = x_{2t=t_{22}}$ подрібненої гички масою m_2 на другому етапі відносно осі O_1x .

Дальність польоту $l'_{22} = x_{2t=t_{22}}$ подрібненої гички масою m_2 на другому етапі відносно осі O_1x згідно з (2.44) та (2.97) визначається за формулою

$$l'_{22} = \frac{\frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \cos \alpha_x e^{-k_{2c} g t_{22}}}{2k_{2c} g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}}). \quad (2.98)$$

Згідно з (2.72) загальна дальність польоту L'_2 подрібненої гички максимальної маси m_2 на першому та другому етапі відносно осі Ox становить

$$\begin{aligned} L'_2 &= \frac{\left(\frac{d\varphi_k}{dt}\right)^2 \left[D^2 + (Dt \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 \right] \sin \alpha_x \cos \alpha_x}{4g \left(1 - 0,5k_{2c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)} + \\ &+ \frac{\frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \cos \alpha_x e^{-k_{2c} g t_{22}}}{2k_{2c} g} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}}) = \\ &= \frac{d\varphi_k \cos \alpha_x}{dt} \frac{1}{2g} \left[\frac{\frac{d\varphi_k}{dt} \left[D^2 + (Dt \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 \right] \sin \alpha_x}{2 \left(1 - 0,5k_{2c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dt \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)} + \right. \\ &\left. + \frac{\sqrt{D^2 + (Dt \operatorname{tg}(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} e^{-k_{2c} g t_{22}} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}})}{k_{2c}} \right]. \quad (2.99) \end{aligned}$$

За аналогією з (2.99) загальна дальність польоту L'_1 подрібненої гички мінімальної маси m_1 на першому та другому етапі відносно осі Ox буде визначатися за формулою (2.100).

Тоді згідно з (2.71) та врахування формулу (2.100) ширина валка b (м) розкидання зрізаної та подрібненої гички по поверхні ґрунту шнековим конвеєром відносно осі $O'X'$ буде визначатися за формулою (2.11).

$$L'_1 = \frac{d\varphi_k}{dt} \frac{\cos \alpha_x}{2g} \left[\frac{\frac{d\varphi_k}{dt} \left[D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 \right] \sin \alpha_x}{2 \left(1 - 0,5k_{1c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)} + \frac{\sqrt{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} e^{-k_{1c} g t_{11}} (1 - e^{-k_{1c} g t_{21}})}{k_{1c}} \right] \quad (2.100)$$

$$b = \frac{d\varphi_k}{dt} \frac{\cos \alpha_x \cos \beta}{2g} \left[\frac{\frac{d\varphi_k}{dt} \frac{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 \sin \alpha_x}{2}}{\left[\frac{1}{\left(1 - 0,5k_{2c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)} - \frac{1}{\left(1 - 0,5k_{1c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)} \right]} + \frac{\sqrt{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \times \left[\frac{e^{-k_{2c} g t_{12}} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}})}{k_{2c}} - \frac{e^{-k_{1c} g t_{11}} (1 - e^{-k_{1c} g t_{21}})}{k_{1c}} \right]}{\left[\frac{1}{\left(1 - 0,5k_{2c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)} - \frac{1}{\left(1 - 0,5k_{1c} \frac{d\varphi_k}{dt} \sqrt{D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2} \sin \alpha_x \right)} \right]} \right] \quad (2.101)$$

Для проведення подальшого графо-аналітичного аналізу моделі (2.101) проведемо її спрощення у наступній послідовності:

- позначимо у (2.101) $D^2 + (Dtg(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 = \Psi^2$ (м²). Тоді маємо

$$b = \frac{d\varphi_k}{dt} \frac{\cos \alpha_x \cos \beta}{2g} \left[\frac{\frac{d\varphi_k}{dt} \frac{\Psi^2 \sin \alpha_x}{2}}{\left[\frac{1}{\left(1 - 0,5k_{2c} \frac{d\varphi_k}{dt} \Psi \sin \alpha_x \right)} - \frac{1}{\left(1 - 0,5k_{1c} \frac{d\varphi_k}{dt} \Psi \sin \alpha_x \right)} \right]} + \frac{\Psi \left[\frac{e^{-k_{2c} g t_{12}} (1 - e^{-k_{2c} g t_{22}})}{k_{2c}} - \frac{e^{-k_{1c} g t_{11}} (1 - e^{-k_{1c} g t_{21}})}{k_{1c}} \right]}{\left[\frac{1}{\left(1 - 0,5k_{2c} \frac{d\varphi_k}{dt} \Psi \sin \alpha_x \right)} - \frac{1}{\left(1 - 0,5k_{1c} \frac{d\varphi_k}{dt} \Psi \sin \alpha_x \right)} \right]} \right] \quad (2.102)$$

- відомо, що $k_{2c} = k_o m_2$, $k_{1c} = k_o m_1$, де k_o – сталий коефіцієнт парусності гички, с/кг м. Тоді модель (2.102) матиме вигляд

$$b = \frac{d\varphi_k \cos \alpha_x \cos \beta}{dt \quad 2g} \left[\frac{d\varphi_k \Psi^2 \sin \alpha_x}{dt \quad 2} \left[\frac{1}{\left(1 - 0,5k_o m_2 \frac{d\varphi_k}{dt} \Psi \sin \alpha_x\right)} - \frac{1}{\left(1 - 0,5k_o m_1 \frac{d\varphi_k}{dt} \Psi \sin \alpha_x\right)} \right] + \Psi \left[\frac{e^{-k_o m_2 g t_{12}}}{k_o m_2} (1 - e^{-k_o m_2 g t_{22}}) - \frac{e^{-k_o m_1 g t_{11}}}{k_o m_1} (1 - e^{-k_o m_1 g t_{21}}) \right] \right]; \quad (2.103)$$

- відомо, що час польоту t_{12} маси m_2 та t_{11} маси m_1 на першому етапі дорівнює $t_{12} = \frac{1}{k_{2c}g} \ln(1 - k_{2c} V_p \sin \alpha_x)$, $t_{11} = \frac{1}{k_{1c}g} \ln(1 - k_{1c} V_p \sin \alpha_x)$, або згідно з (2.74)

та позначенням $D^2 + (Dt g(0,5\pi - \alpha_k) - \delta_v)^2 k_a^2 k_y^2 = \Psi^2$ маємо

$$t_{12} = \frac{1}{k_o m_2 g} \ln \left(1 - \frac{\pi k_k k_o m_2}{60} \Psi \sin \alpha_x \right); \quad t_{11} = \frac{1}{k_o m_1 g} \ln \left(1 - \frac{\pi k_k k_o m_1}{60} \Psi \sin \alpha_x \right); \quad (2.104)$$

- підставимо значення з (2.104) в модель (2.103), при цьому приймаємо припущення, що $k_{2c} = k_{1c} = k_o m_i$. Тоді модель (2.103) матиме вигляд

$$b = \frac{\pi k_k}{60} \frac{\Psi \cos \alpha_x \cos \beta}{g k_o m_i} \left(\frac{1 - \pi k_k k_o m_i \Psi \sin \alpha_x}{60} \right)^{-1} e^{k_o m_i g} (e^{t_{21}} - e^{t_{22}}); \quad (2.105)$$

- визначимо кут α_x , при цьому згідно з рис. 2.20 маємо

$$\alpha_x = (\pi/2) - \alpha_z = (\pi/2) - \text{atctg}(V_k/V_c) = (\pi/2) - \text{atctg}(n\pi_k / \text{tg}(0,5\pi - \alpha_k)). \quad (2.106)$$

Тоді модель (2.105) з врахуванням (2.106) матиме кінцевий вигляд

$$b = \frac{\pi k_k}{60} \frac{\Psi \sin \left(\text{atctg} \frac{n\pi_k}{\text{tg}(0,5\pi - \alpha_k)} \right) \cos \beta}{g k_o m_i} \times \left(1 - \frac{\pi k_k k_o m_i \Psi \cos \left(\text{arctg} \frac{n\pi_k}{\text{tg}(0,5\pi - \alpha_k)} \right)}{60} \right)^{-1} e^{k_o m_i g} (e^{t_{21}} - e^{t_{22}}) \quad (2.107)$$

Згідно з (2.107) побудовано залежність зміни ширини утвореного валка b розкидання гички по поверхні ґрунту як функція $b = f(n_k; m_i)$, яку наведено на рис. 2.21: а – при $D=0,2$ м; б – при $D=0,25$ м; в – при $D=0,3$ м.

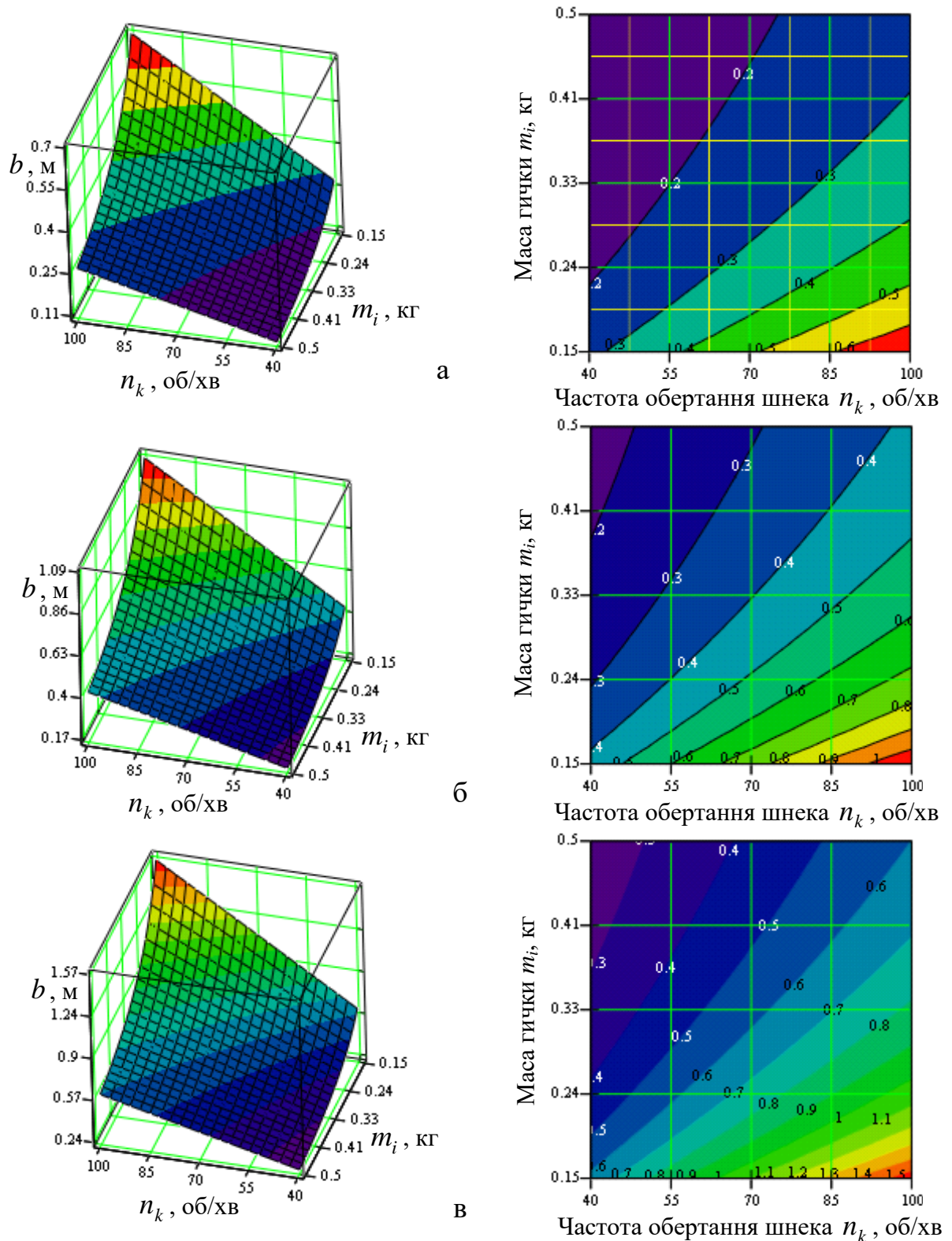


Рисунок 2.21 – Залежність зміни ширини утвореного валка b як функція

$b = f(n_k; m_i)$: а – при $D=0,2$ м; б – при $D=0,25$ м; в – при $D=0,3$ м

Встановлено, що максимальна ширина утвореного валка b розкиданої на поверхні ґрунту гички залежно від зміни частоти обертання шнека n_k від 40 до 100 об/хв та маси гички m_i від 0,15 до 0,5 кг, яку подрібнено ножами роторного гичкоріза, знаходиться в діапазоні: за діаметра шнека $D=0,2$ м – від 0,11 до 0,7 м; за діаметра шнека $D=0,25$ м – від 0,17 до 1,1 м; за діаметра шнека $D=0,3$ м – від 0,24 до 1,57 м.

Домінуючими параметрами, які суттєво впливають на зміну ширини утвореного валка b розкиданої на поверхні ґрунту подрібненої гички є основні конструктивно-кінематичні параметри шнекового конвеєра – частота обертання n_k та діаметр D шнека. За збільшення частоти обертання n_k та діаметра D шнека ширина утвореного валка b подрібненої гички також зростає, а значний приріст b відбувається за значень $n_k \geq 70$ об/хв і $D \geq 0,25$ м, при цьому середнє значення приросту ширини утвореного валка знаходиться в межах 0,3...0,5 м (рис. 2.22а, б).

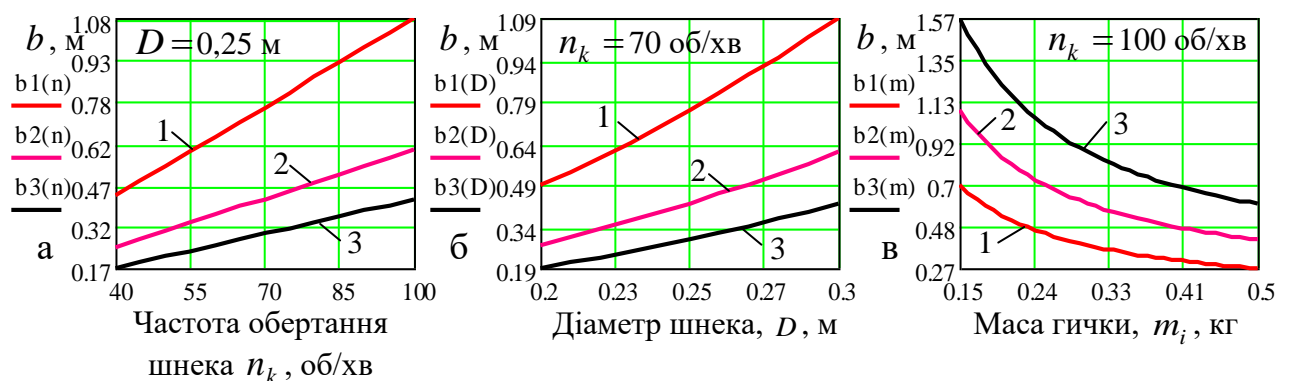


Рисунок 2.22 – Залежність зміни ширини утвореного валка b як функціонал: а – $b = f(n_k)$, 1, 2, 3 – $m_i = 0,15; 0,3; 0,5$ кг; б – $b = f(D)$, 1, 2, 3 – $m_i = 0,15; 0,3; 0,5$ кг; в – $b = f(m_i)$, 1, 2, 3 – $D = 0,2; 0,25; 0,3$ м

Функціональна залежність ширини утвореного валка b від зміни маси m_i подрібненої гички має зворотній характер – зі збільшенням m_i ширина утвореного валка b розкиданої по поверхні ґрунту гички зменшується, при цьому за збільшення m_i від 0,15 до 0,5 кг ширина утвореного валка b зменшується приблизно в 3 рази, рис. 2.22а, б, в.

2.5. Кінематичний аналіз переміщення ножа обрізника по головці коренеплоду

Для обґрунтування конструктивних і кінематичних параметрів активного ножа 4 (рис. 1.31в) обрізника залишків гички з головок коренеплодів кормових буряків розглянемо складену розрахункову схему, яку наведено на рис. 2.23.

Гичкозбиральний модуль, а відповідно і обрізник залишків гички та активний ніж 2 (рис. 2.23) переміщується вздовж рядків коренеплодів 1 кормових буряків з поступальною швидкістю руху гичкозбирального модуля \mathcal{V} . При цьому пасивний копір обрізника залишків гички наїжджає на головку коренеплоду, копіює її, а активний ніж 2, який здійснює одночасний плоскопаралельний і зворотно-поступальний рух (одночасно переміщується в напрямку руху гичкозбирального модуля зі швидкістю \mathcal{V} та в зворотному-поступальному напрямку зі швидкістю активного ножа \mathcal{V}_n), ріжучою кромкою 3 леза активного ножа обрізує головку коренеплоду на заданій висоті зрізу.

Необхідна якість зрізування залишків гички з головки коренеплоду буде забезпечуватися за умови повного зрізування всієї площини головки за одночасного переміщення ріжучої кромки леза активного ножа у двох напрямках та відповідних узгоджених швидкостей її руху.

Приймаємо припущення, що активний ніж обрізника залишків гички з головок коренеплодів рухається прямолінійно вздовж рядка коренеплодів з постійною швидкістю руху

Нехай початок різання головки коренеплоду 1 (рис. 2.23) знаходиться в точці 1_n , яка належить точці ріжучої кромки 3 леза активного ножа, або знаходиться в початковій точці контакту ріжучої кромки леза обрізника з головкою коренеплоду або в точці початку різання головки коренеплоду. З точкою 1_n зв'яжемо систему нерухомих координат Oxy , початком якої є точка O , при цьому вісь Ox направимо у сторону повздовжнього переміщення ріжучої кромки леза активного ножа, а вісь Oy – перпендикулярно осі Ox у сторону поперечного переміщення ріжучої кромки леза активного ножа.

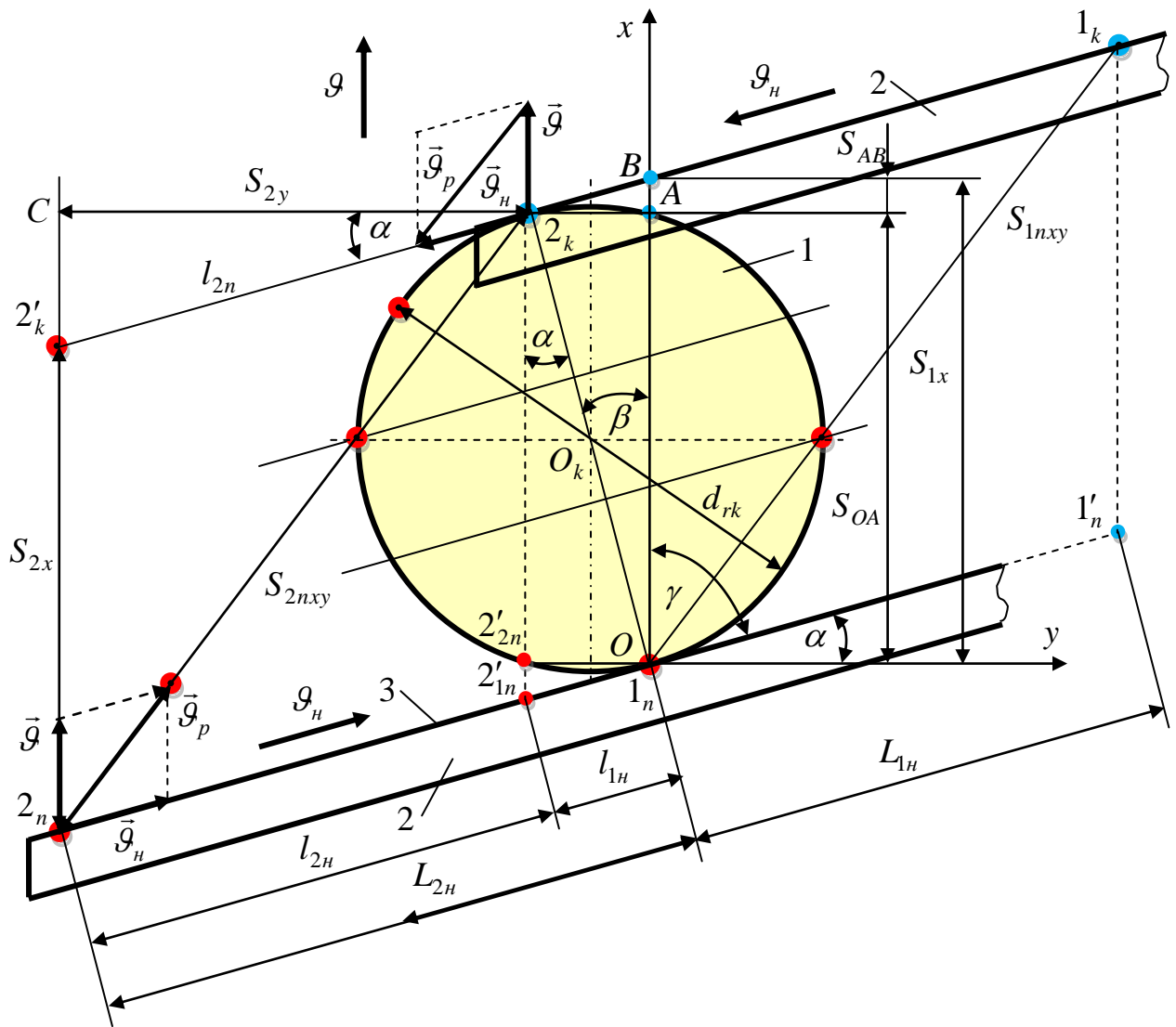


Рисунок 2.23 – Схема до розрахунку параметрів активного ножа обрізника залишків гички: 1 – головка коренеплоду; 2 – активний ніж; 3 – ріжуча кромка леза активного ножа

Сформулюємо умову повного зрізування головки коренеплоду ріжучою кромкою леза активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів кормових буряків таким чином.

Повне зрізування головки коренеплоду 1 (рис. 2.23) ріжучою кромкою 3 леза активного ножа 2 обрізника залишків гички забезпечується за умови, якщо в горизонтальній площині Oxy за час переміщення ріжучої кромки леза активного ножа вздовж головки коренеплоду, або за час різання головки коренеплоду в поздовжньому напрямку, який позначимо через $t_{r,g}$, деяка точка 2_n , яка належить ріжучій кромці леза ножа гарантовано переміститься у положення точки, або в точку кінця різання головки коренеплоду.

При цьому час переміщення ріжучої кромки леза активного ножа з точки 2_n у точку 2_k , або час переміщення ріжучої кромки леза активного ножа в поперечному напрямку, який позначимо через $t_{r\vartheta_n}$, був більший або рівний часу різання головки коренеплоду в поздовжньому напрямку за руху ріжучої кромки леза активного ножа горизонтальній площині Oxy , тобто

$$t_{r\vartheta_n} \geq t_{r\vartheta}, \text{ або } \frac{S_{2y}}{\vartheta_n \cos \alpha} \geq \frac{S_{2x}}{\vartheta}, \quad (2.108)$$

де $t_{r\vartheta_n}$ – час переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза активного ножа в точку 2_k у поперечному напрямку або вздовж осі Oy , с;

$t_{r\vartheta}$ – час різання головки коренеплоду ріжучою кромкою леза активного ножа від точки початку різання 1_n до точки кінця різання 2_k у поздовжньому напрямку або вздовж осі Ox , с;

S_{2y} – шлях переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза активного ножа в точку 2_k у поперечному напрямку або вздовж осі Oy , м;

S_{2x} – шлях переміщення точки початку різання 1_n до точки кінця різання 2_k у поздовжньому напрямку або вздовж осі Ox , м;

ϑ_n – швидкість руху ножа, м/с;

α – кут встановлення ножа відносно осі Oy , град.

Визначимо шлях S_{2x} переміщення точки початку різання 1_n до точки кінця різання 2_k у поздовжньому напрямку або вздовж осі Ox .

Згідно з рис. 2.234, шлях S_{2x} дорівнює

$$S_{2x} = S_{1x} = S_{OA} + S_{AB}. \quad (2.109)$$

При цьому:

- із прямокутного трикутника $1_n A 2_k$ і $2_k AB$ та значення кута $\beta = 90^\circ - \gamma = 90^\circ - (90^\circ - \alpha) = \alpha$ визначимо довжину відрізка S_{OA}

$$S_{OA} = d_{rk} \cos \alpha, \quad (2.110)$$

де d_{rk} – діаметр головки коренеплоду у горизонтальній площині різання Oxy , м;
 - із прямокутного трикутника $2_k AB$ визначаємо довжину відрізка S_{AB}

$$S_{AB} = 2_k A \sin \alpha = d_{rk} \sin \alpha \cdot \sin \alpha = d_{rk} \sin^2 \alpha, \quad (2.111)$$

або виразивши катет $2_k A$ через частину довжини активного ножа l_{1H} ,
 отримаємо

$$S_{AB} = 2_k A \sin \alpha = l_{1H} \cos \alpha \cdot \sin \alpha, \quad (2.112)$$

де l_{1H} – частина робочої довжини активного ножа, м.

Тоді, згідно з виразами (2.110)-(2.112), шлях S_{2x} дорівнює

$$S_{2x} = d_{rk} \cos \alpha + d_{rk} \sin^2 \alpha = d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha), \quad (2.113)$$

або

$$S_{2x} = d_{rk} \cos \alpha + l_{1H} \cos \alpha \cdot \sin \alpha = \cos \alpha (d_{rk} + l_{1H} \sin \alpha). \quad (2.114)$$

Таким чином, час t_{rg} різання головки коренеплоду ріжучою кромкою
 леза активного ножа від точки початку різання 1_n до точки кінця різання 2_k у
 поздовжньому напрямку або вздовж осі Ox згідно з (2.106), (2.113) і (2.114)
 визначається за формулою

$$t_{rg} = \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha)}{\frac{dS_x}{dt}}, \text{ або } t_{rg} = \frac{\cos \alpha (d_{rk} + l_{1H} \sin \alpha)}{\frac{dS_x}{dt}}, \quad (2.115)$$

де S_x – шлях переміщення гичкозбирального модуля за час t , м.

Визначимо шлях S_{2y} переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза
 активного ножа в точку 2_k у поперечному напрямку або вздовж осі Oy .

Із прямокутного трикутника $2_k 2'_k C$ (рис. 2.23) визначаємо шлях S_{2y}

$$S_{2y} = l_{2H} \cos \alpha, \quad (2.116)$$

де l_{2H} – частина робочої довжини активного ножа, м.

При цьому:

$$l_{2n} = L_{2n} - l_{1n} = L_{2n} - d_{rk} \sin \alpha, \quad (2.117)$$

де L_{2n} – робоча довжини активного ножа між крайньою точкою ріжучої кромки леза та точкою початку різання головки коренеплоду, м.

Тоді, згідно з виразами (2.115)-(2.117), шлях S_{2y} буде визначатися за формулою

$$S_{2y} = (L_{2n} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha. \quad (2.118)$$

Таким чином, час t_{r, g_n} переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза активного ножа в точку 2_k у поперечному напрямку або вздовж осі Oy згідно з (2.107) і (2.118) визначається за формулою

$$t_{r, g_n} = \frac{(L_{2n} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_y}{dt}}. \quad (2.119)$$

Підставивши значення часу t_{r, g_n} переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза активного ножа в точку 2_k у поперечному напрямку або вздовж осі Oy з формули (2.119) та значення часу $t_{r, g}$ різання головки коренеплоду ріжучою кромкою леза активного ножа від точки початку різання 1_n до точки кінця різання 2_k у поздовжньому напрямку або вздовж осі Ox з формули (2.115), отримаємо

$$\frac{(L_{2n} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_y}{dt}} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha)}{\frac{dS_x}{dt}}. \quad (2.120)$$

Із залежності (2.120) знаходимо необхідну робочу довжину L_{2n} активного ножа між крайньою точкою ріжучої кромки леза та точкою початку різання головки коренеплоду за якої забезпечується гарантоване повне зрізування головки коренеплоду, або необхідна якість зрізування

$$L_{2н} \geq d_{rk} \left[\cos \alpha \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + \sin \alpha \right], \quad (2.121)$$

де порядок перетворення та спрощення залежності (2.121) наведено у додатку В.3.3.

Залежність (2.121) буде справедлива за умови ідеального розміщення вертикальної осі коренеплоду відносно повздовжньої осі $O'x'$ (рис. 2.24а), або осі рядка коренеплодів, тобто за умови відсутності відхилення вертикальної осі коренеплоду відносно повздовжньої осі $O'x'$, або осі рядка коренеплодів.

За наявності максимального відхилення Δy_k (рис. 2.24а) вертикальної осі коренеплоду від осьової лінії рядка коренеплодів кормових буряків можна записати, що:

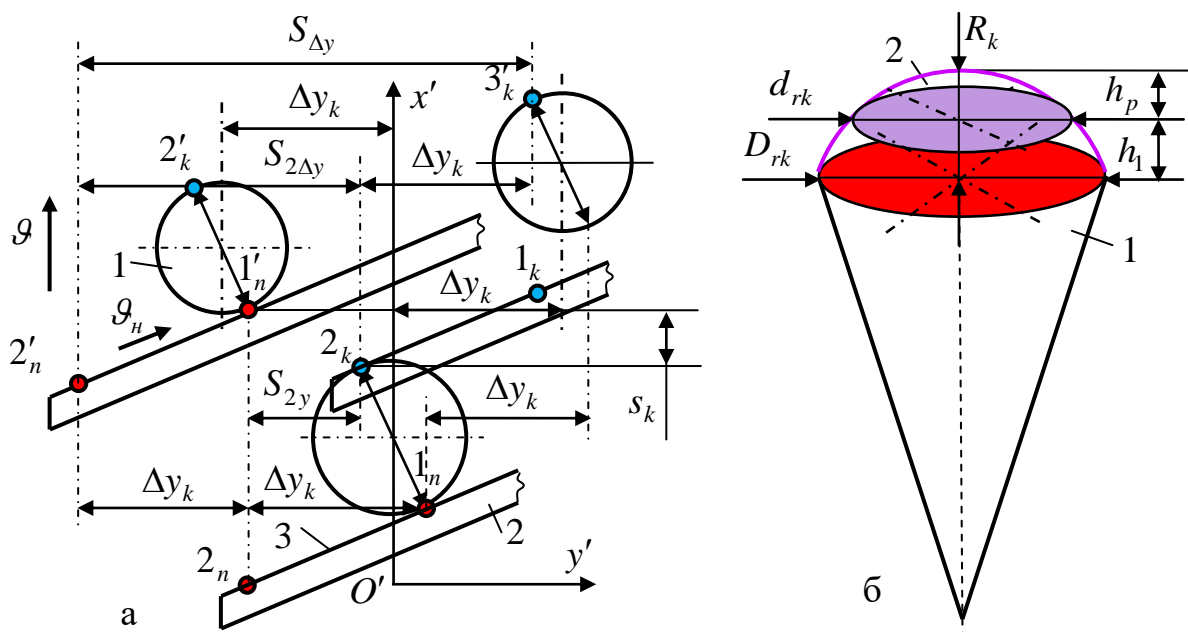


Рисунок 2.24 – Схема до обґрунтування параметрів активного ножа обрізника головок коренеплодів: а – схема відхилення вертикальної осі коренеплоду від осі рядка коренеплодів: 1 – коренеплід; 2 – активний ніж; 3 – ріжуча кромка леза активного ножа; б – схема до розрахунку висоти зрізу головки коренеплоду: 1 – тіло коренеплоду; 2 – головка коренеплоду

- за наявності максимального відхилення Δy_k вертикальної осі коренеплоду 1 в один бік від осьової лінії рядка коренеплодів кормових буряків

довжина шляху $S_{2\Delta y}$ точки $2'_n$ кромки 3 леза активного ножа 2 в точку $2'_k$ кінця різання головки коренеплоду у поперечному напрямку або вздовж осі Oy (рис. 2.24) за час переміщення $t'_{r\vartheta_H}$ дорівнює

$$S_{2\Delta y} = S_{2y} + \Delta y_k; \quad (2.122)$$

- за наявності максимального відхилення Δy_k вертикальної осі коренеплоду 1 в два боки від осьової лінії рядка коренеплодів кормових буряків довжина шляху $S_{\Delta y}$ точки $2'_n$ кромки 3 леза активного ножа 2 в точку $3'_k$ кінця різання головки коренеплоду у поперечному напрямку або вздовж осі Oy (рис. 2.24) за час переміщення $t''_{r\vartheta_H}$ дорівнює

$$S_{\Delta y} = S_{2y} + 2\Delta y_k. \quad (2.123)$$

Тоді, враховуючи послідовність викладення або аналогію розрахунку та аналізу залежностей (2.116)-(2.119) і враховуючи запис (2.119)-(2.122) та за наявності максимального відхилення Δy_k вертикальної осі коренеплоду в два боки від осьової лінії рядка коренеплодів кормових буряків маємо:

$$\left. \begin{aligned} S_{\Delta y} &= (L_H - d_{rk} \sin \alpha + 2\Delta y_k \sin \alpha) \cos \alpha; \\ t''_{r\vartheta_H} &= \frac{(L_H - (d_{rk} + 2\Delta y_k) \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_{\Delta y}}{dt}} \end{aligned} \right\} \quad (2.124)$$

$$\frac{(L_H - (d_{rk} + 2\Delta y_k) \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_{\Delta y}}{dt}} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha)}{\frac{dS_x}{dt}}; \quad (2.125)$$

$$L_H \geq (d_{rk} + 2\Delta y_k) \left[\cos \alpha \left(\frac{dS_{y\Delta}}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + \sin \alpha \right], \quad (2.126)$$

де порядок перетворення та спрощення залежності (2.126) наведено у додатку В.4.3;

$S_{\Delta y}$ – шлях переміщення точки $2'_n$ ріжучої кромки леза активного ножа в т. $3'_k$ у поперечному напрямку або вздовж осі Oy за наявності відхилення вертикальної осі коренеплоду від осі рядка коренеплодів, м;

L_n – робоча довжина активного ножа між крайньою точкою ріжучої кромки леза та точкою початку різання головки коренеплоду, м.

Для подальшого аналізу виразимо неувяний розмір d_{rk} (рис. 2.24б) через увяний діаметр коренеплоду D_{rk} , при цьому маємо

$$\pi r_{rk}^2 = \pi h_p (2R_{rk} - h_p), \text{ або } 0,25d_{rk}^2 = h_p (2R_{rk} - h_p), \quad (2.127)$$

де h_p – висота зрізу головки коренеплоду ріжучою кромкою леза активного ножа на рівні «сплячих вічок», м;

R_{rk} – радіус головки коренеплоду, м.

З формули (2.127) визначаємо d_{rk} , тобто

$$d_{rk} = 2\sqrt{D_{rk}h_p - h_p^2}, \quad (2.128)$$

де D_{rk} – діаметр коренеплоду, м.

Підставивши значення d_{rk} з (2.128) у (2.126), отримаємо залежність для визначення робочої довжина L_n активного ножа між крайньою точкою ріжучої кромки леза та точкою початку різання головки коренеплоду

$$L_n \geq 2\left(\sqrt{D_{rk}h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right) \left[\cos \alpha \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + \sin \alpha \right], \quad (2.129)$$

або

$$L_n \geq 2\left(\sqrt{D_{rk}h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right) \left(\frac{g_n}{g} \cos \alpha + \sin \alpha \right), \quad (2.130)$$

На рис. 2.25 і рис. 2.26 наведено залежність зміни робочої довжини активного ножа, відповідно, як функція $L_n = f_L(D_{rk}; g_n)$ і $L_n = f_L(g_n)$.

При цьому: висоту зрізу головки коренеплоду $h_p = 0,005$ м приймали

згідно з агротехнічними вимогами; максимальне відхилення осі коренеплоду від осової лінії рядка коренеплодів приймали рівним $\Delta y_k = 0,05$ м; кут встановлення активного ножа $\alpha = 30$ град. приймали з умови ефективного різання коренеплодів.

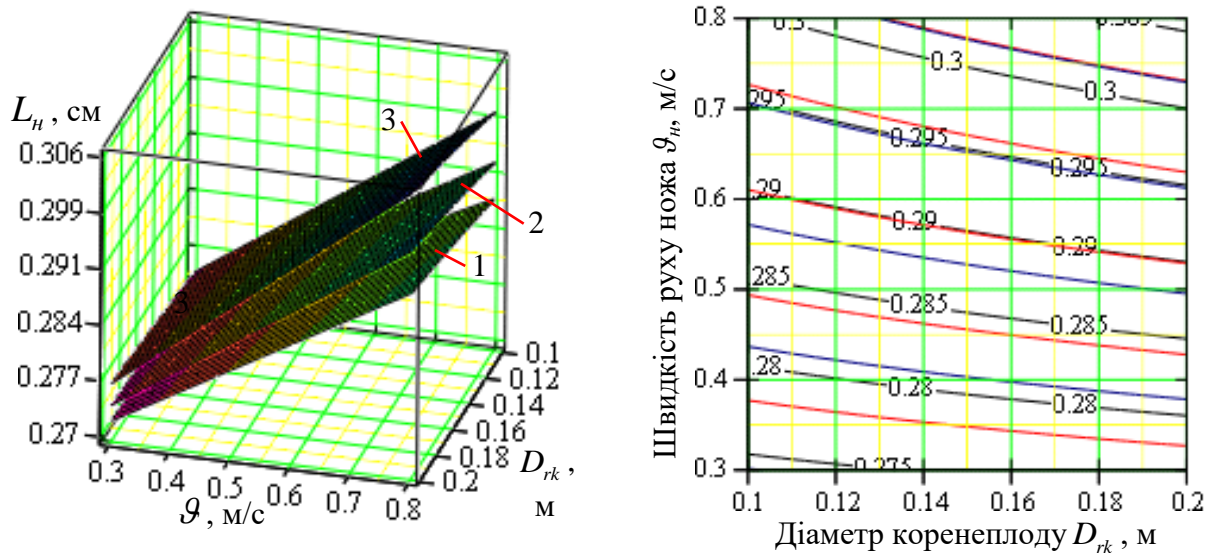


Рисунок 2.25 – Залежність зміни робочої довжини L_n активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів як функція

$$L_n = f_G(D_{rk}; G_n) \quad 1, 2, 3 - G = 1,6; 1,9; 2,2 \text{ м/с}$$

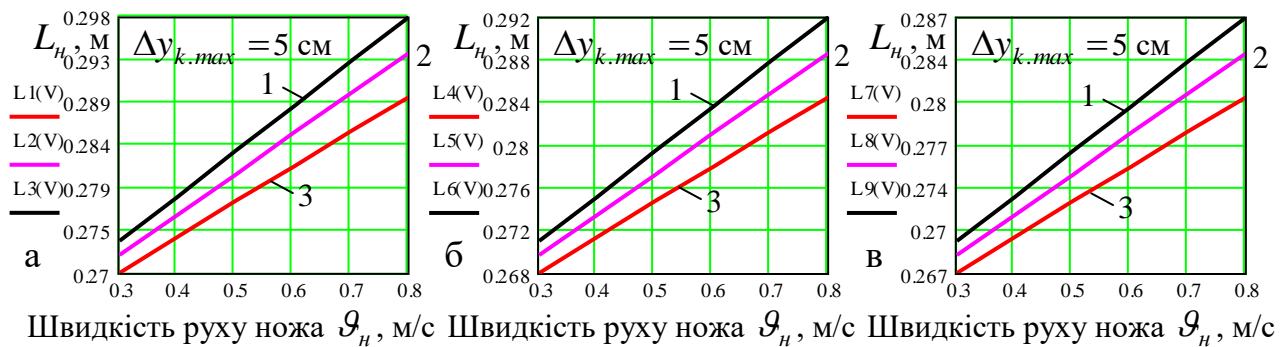


Рисунок 2.26 – Залежність зміни робочої довжини активного ножа залежно від швидкості руху ножа як функція $L_n = f_L(G_n)$: а, б, в – $G = 1,6; 1,9; 2,2$ м/с;

$$1, 2, 3 - D_{rk} = 0,1; 0,15; 0,2 \text{ м}$$

На основі аналізу графічних залежностей рис. 2.25 і рис. 2.26 можна констатувати, що робоча довжина L_n активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів знаходиться в межах від 0,25 до 0,3 м за умови максимального допустимо відхилення $\Delta y_k = \max$ вертикальної осі коренеплоду

від осі рядка коренеплодів кормових буряків згідно з агротехнічними вимогами до посівів кормових буряків на час збирання. При цьому швидкість руху гичкозбирального модуля становить $\mathcal{G} = 1,6 \dots 2,2$ м/с за швидкості переміщення ріжучої кромки леза активного ножа в межах $\mathcal{G}_n = 0,3 \dots 0,8$ м/с.

Також необхідно зазначити, що зміна діаметра коренеплоду у межах $D_k = 0,1 \dots 0,2$ м та швидкості руху активного ножа у межах $\mathcal{G}_n = 0,3 \dots 0,8$ м/с має несуттєвий вплив на зміну робочої довжини L_n активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів – зі збільшенням D_{rk} та \mathcal{G}_n робоча довжина ножа збільшується у середньому на 0,005 та 0,02 м, рис. 2.17.

Позначивши у (2.129) відношення $\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} = \frac{\mathcal{G}_n}{\mathcal{G}} = K_n$, де K_n – коефіцієнт кінематичного режиму роботи активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів, отримаємо

$$L_n \geq 2 \left(\sqrt{D_{rk} h_p - h_p^2} + \Delta y_k \right) (K_n \cos \alpha + \sin \alpha). \quad (2.131)$$

З формули (2.131) визначаємо коефіцієнт K_n кінематичного режиму роботи активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів

$$K_n \leq \frac{L_n}{2 \cos \alpha \left(\sqrt{D_{rk} h_p - h_p^2} + \Delta y_k \right) (1 + \sin \alpha)}. \quad (2.132)$$

де порядок перетворення та спрощення залежності (2.132) наведено у додатку В.5.3.

На рис. 2.27 наведено графічні залежності, які характеризують межі зміни коефіцієнта K_n кінематичного режиму роботи активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів залежно від зміни робочої довжини активного ножа та які побудовано згідно з (2.132).

Коефіцієнт кінематичного режиму роботи активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів змінюється в межах: від мінімального значення $K_n = 1,18$ за мінімального значення робочої довжини активного ножа

$L_n = 0,25$ м; до максимального значення $K_n = 1,61$ за максимального значення робочої довжини активного ножа $L_n = 0,3$ м.

Однією з важливих характеристик процесу різання головок коренеплодів ріжучою кромкою леза активного ножа обрізника залишків гички з їх головок є значення проміжку часу від кінця різання головки коренеплоду в точці 2_k (рис. 2.24а) до початку різання головки наступного (суміжного) коренеплоду в точці $1'_n$, який розташовується поруч з попереднім коренеплодом, або часу проходження шляху s_k , позначимо через t_{s_k} , при цьому шлях s_k є не що інше, як середня відстань між двома суміжними коренеплодами у рядку.

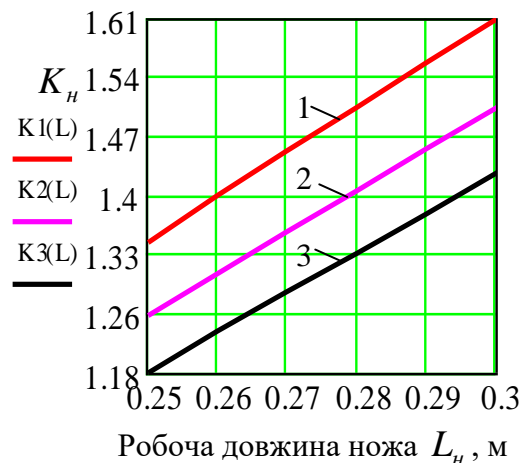


Рисунок 2.27 – Залежність зміни коефіцієнта K_n кінематичного режиму роботи активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів як функція $K_n = f(L_n)$; 1, 2, 3 – $D_{rk} = 0,1; 0,15; 0,2$ м

Крім того для якісного зрізування головок коренеплодів необхідно виконання умови – час t''_{r, g_n} переміщення крайньої точки 1_k (рис. 2.24а) ріжучої кромки леза активного ножа після кінця різання попереднього коренеплоду в крайню точку $2'_n$, або початку різання наступного (суміжного) коренеплоду в точці $1'_n$, був не менше проміжку часу від кінця різання головки коренеплоду в точці 2_k до початку різання головки наступного (суміжного) коренеплоду в точці $1'_n$ або часу проходження середньої відстані s_k між двома суміжними коренеплодами в рядку, тобто часу t_{s_k}

$$t''_{r\vartheta_H} \geq t_{s_k}, \text{ або } \frac{S_{\Delta y}}{\vartheta_H \cos \alpha} \geq \frac{s_k}{\vartheta}, \quad (2.133)$$

де $t''_{r\vartheta_H}$ – час переміщення точки 1_k ріжучої кромки леза активного ножа в точку $2'_n$ у поперечному напрямку або вздовж осі Oy , с;

t_{s_k} – час переміщення точки 2_k (кінця різання коренеплоду) до точки $1'_n$ початку різання наступного (суміжного) коренеплоду у поздовжньому напрямку або вздовж осі Ox , с.

Згідно з другим рівнянням (2.124) і (2.128) та умови (2.133) маємо:

$$t''_{r\vartheta_H} = \frac{(L_H - (d_{rk} + 2\Delta y_k) \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_{\Delta y}}{dt}} \geq t_{s_k} = \frac{s_k}{\frac{ds_k}{dt}}; \quad (2.134)$$

$$t''_{r\vartheta_H} = \frac{[L_H - 2(\sqrt{D_{rk} h_p - h_p^2} + \Delta y_k) \sin \alpha] \cos \alpha}{\vartheta_H} \geq t_{s_k} = \frac{s_k}{\vartheta}. \quad (2.135)$$

На рис. 2.28а наведено залежність зміни часу t_{s_k} від відстані між коренеплодами у ряду як функція $t_{s_k} = f_t(s_k)$, на рис. 2.28 б – залежність зміни часу $t''_{r\vartheta_H}$ як функція $t''_{r\vartheta_H} = f_{t''}(\vartheta_H)$.

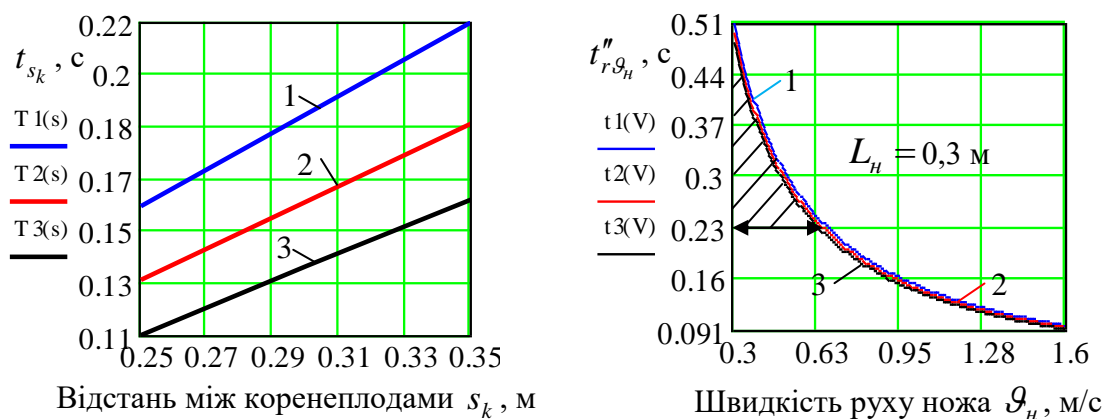


Рисунок 2.28 – Залежність зміни: а – часу $t_{s_k} = f_t(s_k)$, 1, 2, 3 – $\vartheta = 1,6; 1,9; 2,2$ м/с; б – часу $t''_{r\vartheta_H} = f_{t''}(\vartheta_H)$, 1, 2, 3 – $D_{rk} = 0,1; 0,15; 0,2$ м

Час t_{s_k} , або час переміщення точки ріжучої кромки леза активного ножа від кінця різання коренеплоду до точки початку різання наступного

(суміжного) коренеплоду, за зміни відстані s_k між суміжними коренеплодами в проміжку від 0,25 до 0,35 м та швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,6 до 2,2 м/с становить від 0,11 до 0,22 с (рис. 2.28а).

Згідно з рис. 2.28б можна констатувати, що умова $t''_{r\vartheta_n} \geq t_{s_k}$ згідно з (2.133) виконується за значення $0,3 \leq \vartheta_n \leq 0,6$ м/с та робочої довжини активного ножа $L_n = 0,3$ м, рис. 2.28б.

При цьому значення діаметра коренеплоду $D_{rk} = 0,1 \dots 0,2$ м суттєво не впливає на зміну часу $t''_{r\vartheta_n}$.

Таким чином, на основі проведеного теоретичного аналізу технологічного процесу зрізування основного масиву гички роторним гичкорізом та обрізування залишків гички з головок коренеплодів кормових буряків обрізником можна констатувати, що основні параметри робочих органів гичкозбирального модуля за осередненої секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра $\Pi_k^* = 20 \dots 30$ кг/с та усередненої швидкості руху гичкозбирального модуля $\vartheta = 1,9$ м/с, є такими:

- діаметр гвинтового конвеєра $D_k = 0,3$ м;
- частота обертання шнека $n_k = 170 \dots 190$ об/хв;
- крок першого спірального витка $S_1 = 0,15$ м;
- інтервал приросту кроку $\Delta S = 5$ см;
- робоча довжина активного ножа $L_n = 0,25 \dots 0,3$ м;
- швидкість руху активного ножа $\vartheta_n = 0,6$ м/с.

При цьому коефіцієнт кінематичного режиму роботи активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів $K_n = 1,18 \dots 1,61$.

2.6. Висновки до розділу

2.6.1. Зміна секундної подачі Π_k рослинних компонентів до гвинтового конвеєра має прямо пропорційний характер – зі збільшенням швидкості руху ϑ

гичкозбирального модуля, кількості рядків коренеплодів N , густоти насаджень $\Gamma_{k.c}$ і урожайності гички $U_{z.c}$ коренеплодів секундна подача Π_k рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля збільшується та знаходиться в межах від 19 до 52 кг/с.

2.6.2. Встановлено, що в межах інтервалу зміни урожайності гички $\pm \Delta U_z = 2 \dots 10$ ц/га та осередньої швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 1,9$ м/с секундна подача рослинних компонентів Π_k^* до гвинтового конвеєра знаходиться в межах від 20 до 30 кг/с.

2.6.3. Конструктивний коефіцієнт k_v змінюється від 0,3 до 0,39 залежно від зміни діаметра шнека в межах $0,2 \leq D_k \leq 0,3$ м. При цьому домінуючий вплив на зміну коефіцієнта k_v має крок S_1 першого спірального витка шнека та приріст кроку ΔS – за збільшення S_1 від 0,1 до 0,2 м коефіцієнт k_v зменшується у 1,3 раза, а за збільшення ΔS від 0,03 до 0,07 м коефіцієнт k_v зменшується у 1,2 раза.

2.6.4. Встановлено, що основні значення кутової швидкості шнека ω_k знаходяться у межах $\omega_k = 6 \dots 22$ рад/с, а домінуючий вплив на зміну ω_k має, як секундна подача Π_k^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, так і діаметр D_k шнека – у межах зміни Π_k^* від 15 до 40 кг/с та D_k від 0,25 до 0,4 м значення кутової швидкості шнека ω_k зростає приблизно в 2...2,5 раза.

2.6.5. Забезпечення нижньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 20$ кг/с досягається за комбінації параметрів: швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 1,6$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 220$ об/хв; швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 1,9$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 170$ об/хв;

2.6.6. Забезпечення верхньої межі секундної подачі рослинних компонентів, або умови $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 30$ кг/с досягається за швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} \geq 2,2$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 190$ об/хв.

2.6.7. Продуктивність роботи гвинтового конвеєра залежно від збільшення швидкості руху \mathcal{G} гичкозбирального модуля, частоти обертання шнека n_k та секундної подачі P_k^* рослинних компонентів також зростає та знаходиться в межах від 6 до 35 кг/с.

2.6.8. Робоча довжина L_n активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів знаходиться в межах від 0,25 до 0,3 м за умови максимального допустимо відхилення $\Delta y_k = \max$ вертикальної осі коренеплоду від осі рядка коренеплодів кормових буряків за швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G} = 1,6 \dots 2,2$ м/с та швидкості переміщення ріжучої кромки леза активного ножа в межах $\mathcal{G}_n = 0,3 \dots 0,8$ м/с.

2.6.9. Коефіцієнт K_n кінематичного режиму роботи активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів змінюється від мінімального значення $K_n = 1,18$ за мінімального значення робочої довжини активного ножа $L_n = 0,25$ м до максимального значення $K_n = 1,61$ за максимального значення робочої довжини активного ножа $L_n = 0,3$ м.

2.6.10. Умова $t_{r\mathcal{G}_n}'' \geq t_{sk}$ виконується за значення $0,3 \leq \mathcal{G}_n \leq 0,6$ м/с та робочої довжини активного ножа $L_n = 0,3$ м. При цьому значення діаметра коренеплоду $D_{rk} = 0,1 \dots 0,2$ м суттєво не впливає на зміну часу $t_{r\mathcal{G}_n}''$.

2.6.11. Максимальна ширина утвореного валка b розкиданої на поверхні ґрунту гички залежно від зміни частоти обертання шнека n_k від 40 до 100 об/хв та маси гички m_i від 0,15 до 0,5 кг, знаходиться в діапазоні від 0,2 до 1,57 м за діаметра шнека $D = 0,2 \dots 0,3$ м.

2.6.12. Функціональна залежність ширини утвореного валка b від зміни маси m_i подрібненої гички має зворотній характер – зі збільшенням m_i ширина утвореного валка b розкиданої по поверхні ґрунту гички зменшується, при цьому за збільшення m_i від 0,15 до 0,5 кг ширина утвореного валка b зменшується приблизно в 3 рази.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

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 та до обрізування залишків гички з головок коренеплодів, було розроблено програму проведення експериментальних досліджень гичкозбирального модуля.

Програма включала такі основні види наукових робіт [132, 133]:

1. На основі існуючих недоліків роботи гичкозбиральних машин розробити конструктивно-технологічну схему гичкозбирального модуля з використанням удосконалених робочих органів. Виготовити удосконалені зразки робочих органів гичкозбирального модуля та встановити їх на польову установку.

2. Провести польові експериментальні дослідження з метою одержання рівнянь регресії, які характеризують:

- емпіричну залежність зміни секундної подачі рослинних компонентів, які зрізуються ножами роторного гичкоріза до гвинтового конвеєра від основних параметрів процесу – швидкості руху гичкозбирального модуля, густоти насаджень коренеплодів і інтервалу зміни урожайності гички;

- емпіричну залежність зміни продуктивності гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка гички від основних параметрів процесу – швидкості руху гичкозбирального модуля, частоти обертання шнека;

- емпіричну залежність зміни пошкодження коренеплодів і кількості вибитих коренеплодів з ґрунту серійним і удосконаленим обрізником головок коренеплодів залежно від параметрів процесу.

3. Провести порівняльні польові дослідження основних показників якості роботи збирання гички коренеплодів удосконаленим та базовим гичкозбиральним модулем та визначити економічну ефективність їх використання в умовах виробництва.

Об'єктом дослідження експериментального зразка гичкозбирального модуля та його робочих органів – гвинтового конвеєра та обрізника головок коренеплодів, є технологічний процес збирання гички, або його основні операції, які включають в собі зрізування основного масиву гички роторним гичкорізом, переміщення зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички гвинтовим конвеєром з подальшим вивантаженням гички у валок на зібране поле; обрізування залишків гички з головок коренеплодів робочими органами обрізника.

Предметом дослідження є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля, які забезпечують виконання технологічного процесу збирання гички коренеплодів і показники продуктивності та якості його роботи. Складовими компонентами проведення експериментальних досліджень технологічного процесу збирання гички є дослідження основних аспектів зміни технологічних параметрів і показників якості роботи гичкозбирального модуля.

Реалізація польових експериментальних досліджень базувалася на основі розробленої структурної моделі об'єкта досліджень або гичкозбирального модуля (рис. 3.1), який приймали у вигляді багатовимірної технічної системи «вхід-вихід». При цьому експериментальні дослідження проводили на основі реалізації загальних положень планування, проведення, обробки експериментального масиву планованих факторних експериментів і аналізу одержаних результатів із використанням прикладних програм для комп'ютера.

Вхідними змінними факторами структурної моделі є агробіологічні характеристики насаджень коренеплодів і основні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля, а її вихідними величинами – основні технологічні показники та показники якості роботи.

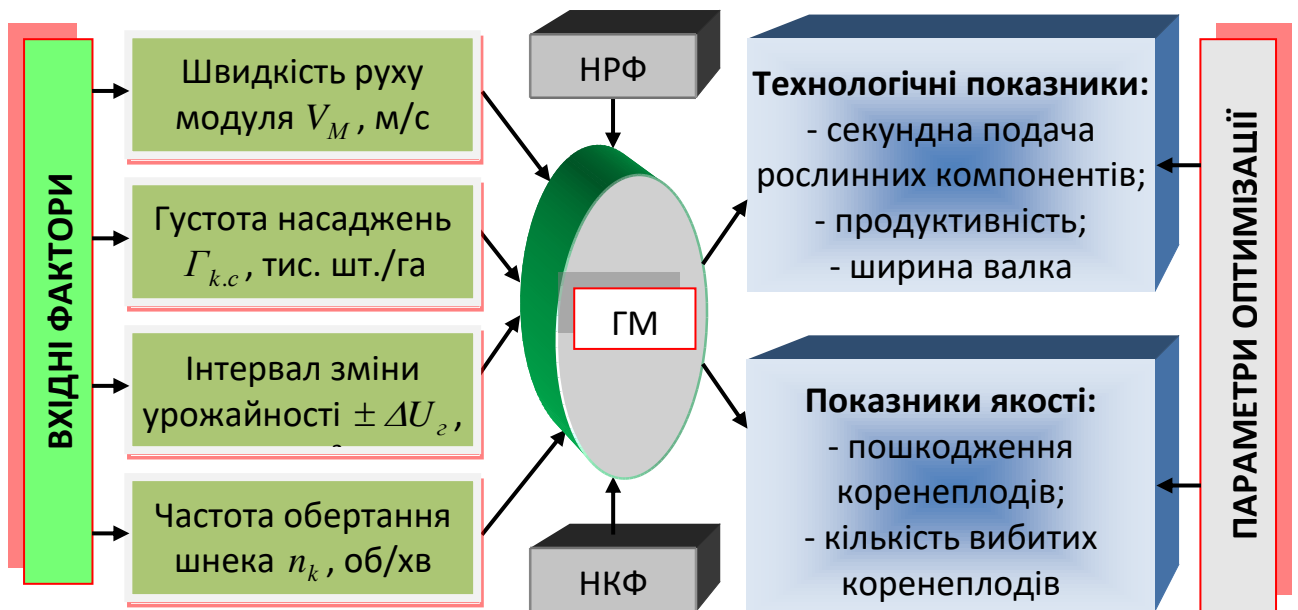


Рисунок 3.1 – Структурна модель проведення експериментальних досліджень гичкозбирального модуля

Подача рослинних компонентів, які зрізані ножами роторного гичкоріза, до гвинтового конвеєра залежить від агробіологічних характеристик насаджень коренеплодів у період їх збирання та конструктивно-кінематичних характеристик збиральної машини.

Продуктивність гичкозбирального модуля регламентується його пропускною здатністю робочих органів і загалом та в основному залежить від продуктивності гвинтового конвеєра, яка характеризується конструктивно-кінематичними параметрами основного робочого органу гвинтового конвеєра – шнека.

Для проведення експериментальних досліджень секундної подачі рослинних компонентів P_{ke}^* , які зрізуються ножами роторного гичкоріза до гвинтового конвеєра, продуктивності гвинтового конвеєра Q_{ke} , ширини утвореного валка гички $B_{v.ei}$ та показників якості роботи гичкозбирального модуля (пошкодження P_k коренеплодів і кількості вибитих B_k коренеплодів з ґрунту) та подальшої розробки рівнянь регресії, які описують характер зміни P_{ke}^* , Q_{ke} , $B_{v.ei}$, P_{ke} і B_{ke} , використано експериментальний зразок польової установки причіпного гичкозбирального модуля.

Конструктивна схема експериментальної польової установки гичкозбирального модуля наведена на рис. 1.30 та рис. 1.31. Загальний вигляд експериментального обладнання, установки та робочих органів гичкозбирального модуля наведено на рис. 3.2.

Гичкозбиральний модуль складається з рами 1 (рис. 3.2) на якій змонтовано причіпну сницю 2, опорні колеса 3, горизонтальний роторний гичкоріз 4, гвинтовий конвеєр 5, обрізники 6 головок коренеплодів.

Горизонтальний роторний гичкоріз виконано у вигляді барабана 7, на якому встановлено Г-подібні ножі 8. Ножі роторного гичкоріза встановлено шарнірно на пальці 9, який встановлено в опорні пластини 10, що закріплені на барабані.

Гвинтовий конвеєр встановлено у горизонтальному жолобі 11 та виконано у вигляді барабана 12 на якому закріплено спіральні витки 13. Крок витків збільшується в сторону вихідної частини 14 гвинтового конвеєра. Верхня частина ножів і гвинтового конвеєра закрита кожухом 15.

Позаду жолоба змонтовано обрізники головок коренеплодів, кожен з яких виконано у вигляді паралелограмної шарнірної підвіски 16, на кронштейні 17 якої послідовно змонтовано пасивний гребінчастий копір 18 і ніж 19. Між пластинами 20 і 21 кронштейна і копіром встановлено амортизатор удару, який виконано у вигляді пружної прокладки 22.

Горизонтальний зазор між гребінчастим копіром 7 (рис. 1.Г.1.1 додатка Г.1.1) і ножем 9 регулюють переміщенням копіра 7 в пазах кронштейна 6, а вертикальний зазор – перестановкою кронштейна 10 в пазах стояка 5 і фіксацією положення ножа 9 різьбовим з'єднанням 11. Змінюючи довжину верхньої тяги 4, встановлюють кут різання головки коренеплодів лезом ножа 9, а встановлена пружина 13 між верхньою тягою 4 і рамою 1, притискає копір 7 вниз.

Роторний гичкоріз обертається зустрічно напрямку руху гичкозбирального модуля з частотою обертання n_p , а висота зрізування основного масиву гички регулюється вертикальним переміщенням опорних коліс на рамі. Гвинтовий конвеєр обертаються з частотою обертання n_k .

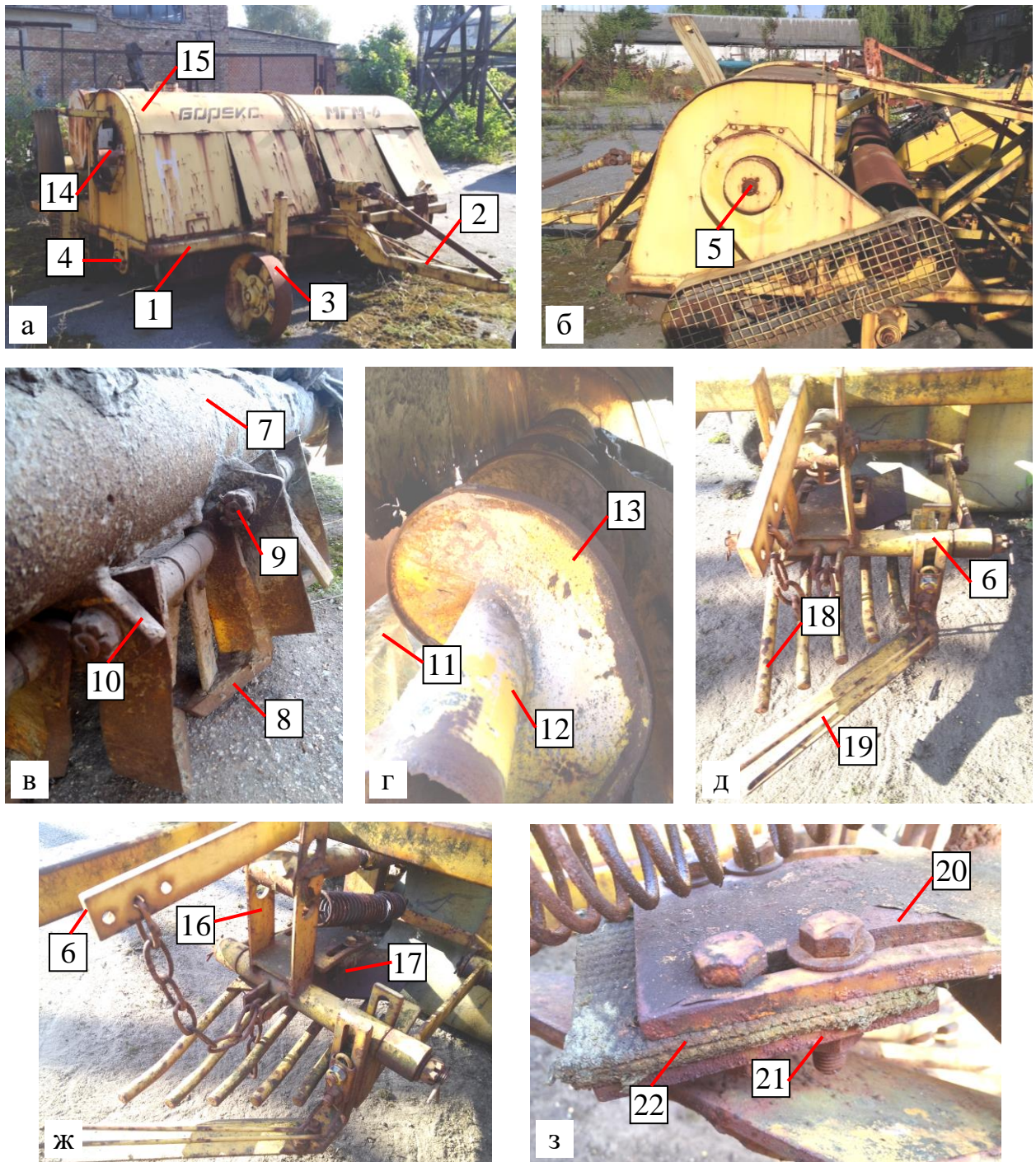


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд гичкозбирального модуля (а, б – вигляд спереду та збоку) та робочих органів: в – роторного гичкоріза, вигляд збоку; г – гвинтового конвеєра; д, ж – обрізника залишків гички, вигляд спереду; 1 – рама; 2 – сниця; 3 – колесо; 4 – роторний гичкоріз; 5 – гвинтовий конвеєр; 6 – обрізник; 7, 12 – барабан; 8 – ніж; 9 – палець; 10 – опорна пластина; 11 – жолоб; 13 – виток; 14 – вихідна частина гвинтового конвеєра; 15 – кожух; 16 – паралелограмна підвіска; 17 – кронштейн; 18 – копір; 19 – ніж; 20, 21 – пластина кронштейна; 22 – пружна прокладка

Гичкозбиральний модуль працює наступним чином.

Під час переміщення гичкозбирального модуля вздовж рядків коренеплодів і обертання барабана 7 (рис. 3.2) роторного гичкоріза 4, Г-подібні ножі 8 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії направлення кожуха 15 в жолоб 11, або до гвинтового конвеєра 5, де витки 13 переміщують зрізану в сторону вихідної частини 14 та вивантажують гичку на зібране поле у валок.

Гребінчастий копір 18 обрізників 6 головок коренеплодів найжджає на головку коренеплодів і копіює їх головки. Ніж 19, рухаючись по головці коренеплодів, лезом ріжучої кромки обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу. Крім того, під час зустрічі копіра з головкою коренеплодів відбувається ударна взаємодія робочої поверхні копіра з головкою коренеплоду, що може призводити до його вивалювання з ґрунту, або пошкодження у вигляді різного ступеня сколів, тріщин тощо.

Завдяки виконанню копіра пружним, або наявності амортизатора удару, виконаного у вигляді пружної прокладки 22, сила удару копіра по головці коренеплоду значно зменшується за рахунок того, що частина енергії удару витрачається на деформацію амортизатора, або компенсується на деформацію прокладки 22. При цьому ця частина сили удару не передається на шарнірні з'єднання паралелограмної шарнірної навіски і копіра, а отже і головці коренеплоду. Це зумовлює зниження вибивання, або вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження.

Технічну характеристику польової установки гичкозбирального модуля наведено в табл. 1.Г.2.1 додатка Г.2.1.

3.2. Методика проведення експериментальних досліджень подачі рослинних компонентів, продуктивності гвинтового конвеєра та ширини утвореного валка гички

Експериментальні дослідження секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового

конвеєра гичкозбирального модуля, які формалізовано у вигляді структурної моделі (рис. 3.1), провели з метою визначення функціональних закономірностей впливу вхідних факторів на зміну вихідної величини.

Для отримання емпіричної моделі у вигляді рівняння регресії, яка характеризує зміну секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, продуктивності Q_{ke} гвинтового конвеєра та ширини утвореного валка $V_{v.ei}$ вибирали план, відповідно, три- та двофакторного планованого експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали:

- під час реалізації трифакторного планованого експерименту типу ПФЕ 3^3 , або при дослідженні секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра: швидкість руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля, яку кодували індексом x_1 , або $\mathcal{G}_M \rightarrow x_1$; густоту насаджень коренеплодів Γ_{kc} , яку кодували індексом x_2 , або $\Gamma_{kc} \rightarrow x_2$; інтервал зміни урожайності гички $\pm \Delta U_z$, яку кодували індексом x_3 , тобто $\pm U_z \rightarrow x_3$;

- під час реалізації двофакторного планованого експерименту типу ПФЕ 3^2 , або при дослідження продуктивності роботи Q_{ke} та ширини утвореного валка $V_{v.ei}$ гвинтового конвеєра: швидкість руху V_M гичкозбирального модуля, яку кодували індексом x_1 , або $V_M \rightarrow x_1$; частоту обертання гвинтового конвеєра n_k , яку кодували індексом x_4 , тобто $n_k \rightarrow x_4$.

Плановані три- та двофакторні експеримент провели на трьох рівнях варіювання змінними вхідними факторами, тобто реалізували планований експеримент типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2 .

Експериментальні дослідження з визначення секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля формалізовано у вигляді структурної моделі, яку наведено на рис. 3.3. Порядок побудови та проведення експериментальних досліджень апроксимуючої математичної моделі у вигляді функції $P_{ke}^* = f_{II}(x_1; x_2; x_3)$ або $P_{ke}^* = f_{II}(\mathcal{G}_M; \Gamma_{kc}; \pm \Delta U_z)$ та $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_4)$ або

$Q_{ke} = f_Q(\mathcal{G}_M; n_k)$, які на емпіричному рівні характеризують зміну сумарної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від вхідних змінних факторів, був таким:

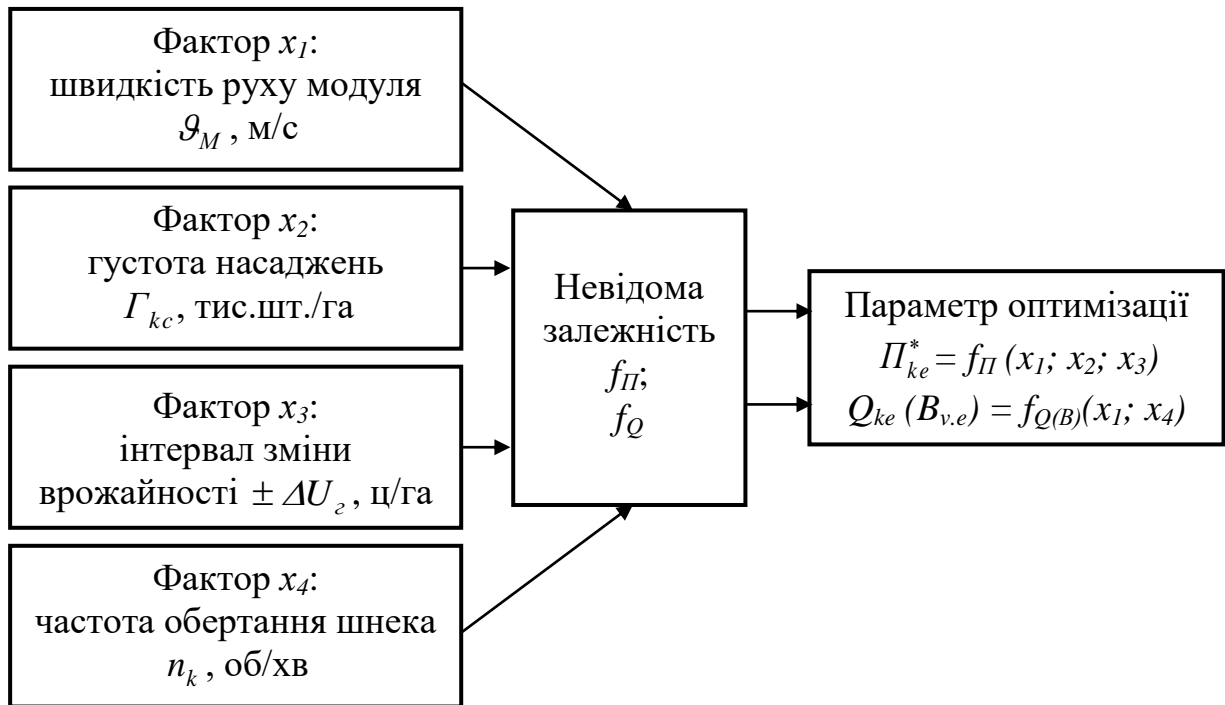


Рис. 3.3. Схема моделі планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2

- визначення змінних вхідних факторів і проведення кодування факторів;
- встановлення верхнього, середнього та нижнього рівнів і інтервалу варіювання кожного фактора;
- складання план-матриці проведення планованих факторних експериментів типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2 ;
- проведення рандомізації складених план-матриць;
- реалізацію експериментів згідно з нумерованим порядком їх проведення згідно з рандомізованими план-матрицями;
- обробку експериментального масиву даних з метою одержання рівняння регресії параметра оптимізації з визначенням вигляду функціональної залежності та її коефіцієнтів;

- перевірку відтворюваності одержаних функціональних числових значень 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 планованих факторних експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та середнього рівня варіювання факторами, відповідно +1, -1, 0.

Тому, що під час проведення факторних експериментів незалежні змінні фактори є неоднорідними та мають різні фізичні одиниці вимірювання, а числа, що виражають їх значення – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від кодованих величин до натуральних значень.

Зв'язок між кодованими x_i та натуральними X_i значеннями змінних вхідних факторів планованих експериментів типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2 встановлювали згідно з залежністю:

$$x_i = (X_i - X_{i0}) / \Delta X_i, \quad (3.1)$$

де X_{i0} – значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактору.

Середнє значення X_{i0} , або нульовий рівень та інтервал варіювання ΔX_i кожного змінного фактора, визначали за формулами:

$$X_0 = 0,5(X_{max} + X_{min}), \quad \Delta X_i = 0,5(X_{max} - X_{min}), \quad (3.2)$$

де X_0 , X_{max} , X_{min} – значення нульового, верхнього та нижнього рівнів фактора;

ΔX_i – числове значення інтервалу варіювання i -го фактора.

Результати кодування вхідних змінних факторів і рівні їх варіювання під час проведення планованих факторних експериментів типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2 наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час проведення планованих факторних експериментів типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні / кодовані		
	Натур.	Код.				
Швидкість руху модуля, м/с	g_M	x_1	0,3	1,6/-1	1,9/0	2,2/+1
Густота насаджень коренеплодів, тис.шт./га	Γ_{kc}	x_2	20	70/-1	90/0	110/+1
Інтервал зміни врожайності коренеплодів, ц/га	$\pm \Delta U_2$	x_3	2	3/-1	5/0	7/+1
Частота обертання шнека, об/хв	n_k	x_4	60	100/-1	160/0	220/+1

Для встановлення послідовності проведення експериментів і після кодування вхідних змінних факторів, які діють в експерименті складали план-матрицю три- та двофакторного планованого експерименту типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2 . При цьому загальне число дослідів однієї повторності встановлювали за формулою $N = P^k$, де P – кількість рівнів варіювання кожного фактора, k – кількість діючих вхідних факторів у експерименті. Для підвищення точності значення параметра оптимізації кожний нумерований дослід планованого факторного експерименту провели в трикратній повторності.

План-матрицю проведення три- та двофакторного планованого експерименту типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2 , відповідно, наведено у табл. 1.Г.3.2 та табл. 2.Г.3.2 додатка Г.3.2. Для усунення впливу неконтрольованих і нерегульованих факторів (відповідно, НКФ і НРФ, рис. 3.1) на значення параметра оптимізації під час реалізації складеної план-матриці, провели її рандомізацію шляхом витягання пронумерованих порядкових номерів кожного експерименту з урни.

Рандомізовану план-матрицю три- та двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^2 наведено у табл. 1.Г.4.2 та табл. 2.Г.4.2 додатка Г.4.2.

Для реалізації експериментів з дослідження характеру функціональної зміни секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка $B_{v.ei}$ залежно від вхідних змінних факторів використовували експериментальну польову установку, рис. 3.2.

Загальну будову та принцип роботи експериментальної польової установки гичкозбирального модуля наведено у підрозділі 3.1, а її технічну характеристику – у табл. 1.Г.2.1 додатка Г.1.1.

Умови проведення експериментальних досліджень, загальну характеристику культури та залікової ділянки поля наведено, відповідно, у табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2. додатка Г.5.2.

При цьому наведені показники характеристики культури та залікової ділянки поля, на якій проводили експериментальні дослідження, визначали згідно з стандартними методиками.

Послідовність реалізації першого та наступних експериментів з дослідження характеру функціональної зміни секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка $B_{v.ei}$ встановлювали згідно з проведеною нумерацією рандомізованих план-матриць планованих факторних експериментів типу ПФЕ 3^3 та ПФЕ 3^3 згідно з табл. 1.Г.4.2 та табл. 2.Г.4.2 додатка Г.4.2.

Порядок проведення експериментальних досліджень під час визначення секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра був таким.

1. Визначали довжину гону залікової ділянки поля посівів коренеплодів. При цьому довжину гону L_g залікової ділянки посівів коренеплодів сорту «Київський» з якої відбирали кожену залікову пробу визначали за формулою $L_g = \mathcal{G}_M t_{\Pi}$, де заліковий час t_{Π} проведення кожного експерименту під час

дослідження секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра дорівнював $t_{II} = 5$ с.

При цьому довжина гону L_g залікової ділянки поля за швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G}_M = 1,6; 1,9$ і $2,2$ м/с, відповідно, дорівнювала $L_g = 8,0; 9,5$ і $11,0$ м.

Числове значення часу t_{II} було встановлено попередньо шляхом візуального спостереження за часом наповнення робочого простору жолоба гвинтового конвеєра за умови його не переповнення при верхньому рівні варіювання швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G}_M = 2,2$ м/с та відключеному приводі обертання гвинтового конвеєра.

2. Густиоту насадження Γ_{kc} (тис. шт./га) рослин коренеплодів залікової ділянки визначали шляхом накладання прямокутної рамки з розмірами сторін прямокутника 90×111 (см) або площею прямокутника рівною 1 м^2 на поверхню поля коренеплодів (рис. 3.4) за формулою

$$\Gamma_{kc} = K \cdot z_c, \quad (3.3)$$

де K – число погонних метрів рядків на га, $K = 22222$ м;

z_c – середнє число рослин на погонному метрі рядка, шт.

3. Біологічний врожай гички U_{zi} (ц/га) коренеплодів кожної рівнозначної ділянки, яка суміжна з кожною заліковою ділянкою визначили за формулою

$$U_z = \frac{100 \cdot M_{IIz}}{S_\delta}, \quad (3.4)$$

де M_{IIz} – маса гички зрізана вручну з суміжної ділянки, кг,

S_δ – площа суміжної ділянки, м^2 .

Інтервал зміни врожайності гички $\pm \Delta U_z$ (ц/га) наступної залікової ділянки визначали як різницю врожайності гички попередньої та наступної залікових ділянок, або відповідно, $\pm \Delta U_z = U_{zn} - U_{zn}$.

4. Перед початком руху гичкозбирального модуля відключали привод гвинтового конвеєра 5 (рис. 2.2), а зрізана ножами 8 роторного гичкоріза 4 гичка коренеплодів після проходження гичкозбиральним модулем 6-ти рядків залікової ділянки за заліковий час t_{Π} проведення кожного експерименту накопичувалася у жолобі 11.



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд рамки на поверхні поля коренеплодів

Експериментальне визначення функціональної зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра залежно від параметрів процесу проводили таким чином:

– після зупинки гичкозбирального модуля включали привод гвинтового конвеєра та вивантажували зібрану гичку на полотно;

– вивантажену гичку з полотна вручну збирали в ємність та зважували зібрану гичку на вазі з точністю $\pm 0,1$ кг, яка відповідала сумарній подачі

$\sum_{i=1}^N \Pi_{ke}^*(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра

– отримані експериментальні значення сумарної подачі $\sum_{i=1}^N \Pi_{ke}^*(t)$

рослинних компонентів до гвинтового конвеєра для граничних значень відповідних точок композиційного плану трифакторного експерименту типу

ПФЕ 3³, заносили у відповідні граfi рандомізованої план-матриці експериментів;

– секундну подачу Π_{ke}^* (кг/с) рослинних до гвинтового конвеєра для граничних значень відповідних точок композиційного плану трифакторного експерименту типу ПФЕ 3³ визначали за формулою

$$\Pi_{ke}^* = \sum_{i=1}^N \Pi_{ke}^*(t) / t_{\Pi}. \quad (3.5)$$

Порядок проведення експериментальних досліджень під час визначення функціональної зміни продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка $B_{v.ei}$ був таким:

- після проходу гичкозбирального модуля ділянки з зібраною гичкою з коренеплодів рулеткою вимірювали необхідну довжину гону L_g утвореного на поверхні поля валка гички залікової ділянки з точністю ± 1 см;

- з відповідної довжини гону L_g утвореного валка залікової ділянки вручну збирали гичку коренеплодів з наступним її зважуванням на терезах з точністю $\pm 0,1$ кг;

- продуктивність Q_{ke} гвинтового конвеєра визначали за формулою

$$Q_{k.e} = M_{Qe} \mathcal{G}_M / L_g, \quad (3.6)$$

де M_{Qe} – маса зібраної гички з відповідної довжини валка, кг;

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

L_g – довжина гону утвореного валка гички залікової ділянки, м;

Після проходження гичкозбиральним модулем 6-ти рядків залікової ділянки утворювався валок зрізаної гички. Ширину утвореного валка $B_{v.ei}$ на кожній довжині залікової ділянки L_g вимірювали за допомогою рулетки з точністю ± 1 см через інтервал 1 м та визначали середнє значення

$$B_{v.e} = \sum_{i=1}^n B_{v.ei} / n.$$

Отримані експериментальні значення продуктивність Q_{ke} гвинтового конвеєра та ширини утвореного валка $B_{v.ei}$ для граничних значень відповідних точок композиційного плану планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 занесли у відповідні графі рандомізованої план-матриці експериментів.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки результатів досліджень для отримання в кінцевому випадку емпіричної математичної моделі у вигляді функцій $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(x_1; x_2; x_3)$ або $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_{kc}; \pm \Delta U_c)$, $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_4)$ або $Q_{ke} = f_Q(\mathcal{G}_M; n_k)$ та $B_{v.e} = f_B(x_1; x_4)$ або $B_{v.e} = f_Q(\mathcal{G}_M; n_k)$, які на емпіричному рівні характеризують зміну сумарної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка $B_{v.ei}$ гички залежно від вхідних змінних факторів.

При цьому було використано методи кореляційного та регресійного аналізу апроксимуючої функції, яка характеризує вплив факторів і їх взаємодію на параметр оптимізації, тобто Π_{ke}^* , Q_{ke} і $B_{v.ei}$.

Порядок обробки отриманих експериментальних даних секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка $B_{v.ei}$ був таким.

1. Визначивши масив експериментальних даних проводили перевірку його відтворюваності.

Для оцінки відтворюваності проведених експериментів застосовували критерій Кохрена

$$G = \frac{S_{u.max}^2}{\sum_{i=1}^n S_u^2} \leq G_m(0,05; n; f_u), \quad (3.7)$$

де G_m – табличне значення критерію Кохрена при 5%-му рівні значимості та числі дослідів n , $G_m = (0,05; N; f_u)$;

f_u – число степенів свободи для кількості повторності m , $f_u = m - 1$;

S_u^2 , – дисперсія та її максимальне значення ($S_{u_{\max}}^2$).

Дисперсію відтворюваності експериментальних значень на u -му рівні визначали за формулою

$$S_u^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{uik} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.8)$$

де y_{uik} – значення вихідного параметру на відповідній повторності.

У загальному похибку значення параметра оптимізації кожного експерименту розраховували за формулою

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (3.9)$$

Якщо в результаті перевірки за допомогою критерію Кохрена доведено, що процес відтворюваний, то наступним кроком в обробці результатів експериментальних даних є визначення коефіцієнтів регресії.

2. Коефіцієнти рівняння регресії апроксимуючої функції, представленої у вигляді $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(x_1; x_2; x_3)$, $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_4)$ та $B_{v.e} = f_B(x_1; x_4)$ за умови ортогональності та симетрії побудованої моделі ПФЕ 3³ та ПФЕ 3², визначали за формулами:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_{ui}}{N}; b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; b_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u; b_{ijl} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} x_{lu} \bar{y}_u \\ b_0 = \frac{\sum y_i \sum \lg^2 x_i - \sum y_i \lg x_i \sum \lg x_i}{N \sum \lg^2 x_i - (\sum \lg x_i)^2}; \\ b_i = \frac{N \sum \lg x_i \lg y_i - \sum \lg x_i \sum \lg y_i}{N \sum \lg^2 x_i - (\sum \lg x_i)^2} \end{array} \right., \quad (3.10)$$

де $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijk}$ – вільний член, коефіцієнти i -го фактора, коефіцієнти сумісної взаємодії факторів рівняння регресії;

x_{iu} – значення кодованої змінної у відповідному стовпці плану-матриці

проведення експериментів;

\bar{y}_u – середній результат u -го дослідження;

u – порядковий номер дослідження

j, k – номер фактора та номер фактора, відмінного від i -го;

N – кількість проведених експериментів однієї повторності.

Рівняння регресії апроксимуючої функції, представлені у вигляді функціональної залежності $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(x_1; x_2; x_3)$, $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_4)$ та $B_{v.e} = f_B(x_1; x_4)$ у загальному вигляді має запис

$$Y = b_0 + b_p X_p + b_r X_r + \dots + b_{pr} X_p X_r + \dots + b_p^2 X_p^2 + \dots \quad (3.11)$$

Це рівняння описує вплив окремих факторів і їх взаємодій на вихідний параметр оптимізації, або секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка $B_{v.ei}$ гички.

3. Перевірку адекватності рівняння регресії, представленого у вигляді функції, яка характеризує зміну секундної подачі $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(x_1; x_2; x_3)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, продуктивності роботи $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_4)$ гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля та ширини утвореного валка $B_{v.e} = f_B(x_1; x_4)$ гички, проводили за відповідним критерієм Фішера

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_m(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (3.12)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності, $S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2$;

$f_{ad} = n - k - 1$ – число степенів свободи дисперсії адекватності при кількості факторів рівному k ;

$f_y = n(m - 1)$ – число степенів свободи дисперсії відтворюваності.

Визначали дисперсію адекватності та розрахунковий критерій відповідності Фішера F_p

$$S_{ag}^2 = \frac{n}{N - g'} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2 ; F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2}, \quad (3.13)$$

де $N - g'$, g' – число степенів вільності дисперсії адекватності та значимих коефіцієнтів в рівнянні регресії;

\tilde{y}_u – значення відгуку в u -й точці плану, обчислене за рівнянням регресії;

S_y^2 – дисперсія відтворення досліду.

Визначали табличне значення критерію Фішера F_T за заданим рівнем значимості α і двома степенями відповідності $f_{ag} = N - g$ та $f_y = N(n - 1)$.

Умову адекватності вибраної емпіричної математичної моделі $L_d = f_L(x_1; x_2)$ перевіряли згідно з нерівністю (3.12) $F_p < F_m$.

Отримане розрахункове значення F_p порівнювали з табличним значення критерію Фішера F_m . Якщо умова $F_p < F_m(0,05, f_{ag}, f_y)$, виконувалась, тобто розрахункове значення F_p - критерію Фішера менше табличного F_m при 5 %-му рівні значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності $f_{ag} = N - g$ та числі степені вільності дисперсії відтворюваності $f_y = N(n - 1)$, то одержане емпіричне рівняння регресії вибраної математичної моделі $L_d = f_L(x_1; x_2)$ адекватно описує реальний процес зміни параметра оптимізації, або зміни експериментальних даних.

4. Провівши перевірку адекватності необхідно оцінити значимість коефіцієнтів регресії b_i , b_{ij} , b_{ijk} , використавши критерій Стюдента, при цьому коефіцієнт регресії b_i , b_{ij} , b_{ijk} значимий, якщо виконується умова

$$|b_i| \geq t_m(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (3.14)$$

де $t_m(0,05; f_y)$ – табличне значення критерію Ст'юдента при 5%-ому рівні значимості.

Визначали дисперсію похибок дослідів у рядках плану планованого факторного експерименту ПФЕ

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.15)$$

де n – кількість повторності одного експерименту; $j = 1, 2, \dots, n$.

Визначали дисперсію відтворення дослідів та похибку відтворення

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2; \quad S_y = \sqrt{S_y^2}; \quad (3.16)$$

- визначали умову значимості коефіцієнтів b_i рівняння регресії, яке характеризує P_{ke}^* та Q_{ke}

$$b_{i(jk)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{Nn}}, \quad (3.17)$$

де t_T – табличне значення коефіцієнта Ст'юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності f та рівня значимості α , при цьому $f = (n-1)N$.

Якщо умова значимості (3.17) не виконується, то такий коефіцієнт b_i рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член x_i (відповідний фактор) рівняння регресії виключали.

5. Встановлення зв'язку між величинами (між вихідним параметром і фактором, а також факторами між собою) проводили на основі проведення кореляційного аналізу.

Визначали коефіцієнт кореляції між величинами x (факторами) і y (параметром оптимізації)

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{S_x S_y}, \quad (3.18)$$

де S_x, S_y – середньоквадратичне відхилення відповідних величин;

K_{xy} – кореляційний момент.

Якщо коефіцієнт кореляції рівний нулю, то величини некорельовані, при умові що коефіцієнт кореляції більший 0,7 – кореляційний зв'язок сильний, 0,3...0,7 – середній, менше 0,3 – слабкий.

Середньоквадратичну похибку коефіцієнта кореляції визначали за формулою

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{n - 2}}. \quad (3.19)$$

Зв'язок між величинами істотний при умові, що розрахунковий критерій Стьюдента більший за його табличне значення.

Тобто

$$t_r = \frac{r_{xy}}{S_r} \geq t_{таб}. \quad (3.20)$$

При одночасній дії кількох величин на параметр оптимізації доцільно застосовувати множинний коефіцієнт кореляції.

Тісноту зв'язку між величинами x і y, z можна визначити за відомою формулою

$$R_{x,yz} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}} \quad (3.21)$$

і позитивною величиною з межами можливої її зміни від 0 до 1. Нульове значення множинного коефіцієнту кореляції означає відсутність лінійного зв'язку між величинами, але можливий при цьому нелінійний.

Якщо ж цей коефіцієнт рівний 1, то існує лінійний зв'язок, а всі експериментальні дані лежать в одній площині, яка в свою чергу є поверхнею відгуку.

Квадрат коефіцієнту кореляції є детермінацією (d), яка показує частку змін протікання і виражає залежність однієї величини від іншої.

6. Область максимуму чи мінімуму значень параметру оптимізації визначали методом двомірних перерізів.

Для цього диференціюється рівняння регресії по відповідним факторам, а отримані часткові похідні прирівнюються до нуля

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{dy}{dx_1} = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} = 0, \\ \dots, \\ \frac{dy}{dx_n} = 0. \end{array} \right\} . \quad (3.22)$$

Цей метод призначений для одночасного визначення значень факторів за яких функція відгуку приймає максимальне, або мінімальне значення. При цьому розв'язавши систему рівнянь відносно факторів отримаємо, відповідно, оптимальні значення кожного фактора.

Для дослідження цього двомірного перерізу запишемо рівняння в канонічному вигляді

$$K^2 + I_1 K + I_2 = 0, \quad (3.23)$$

$$\text{де } \left. \begin{array}{l} I_1 = -(b_{ii} + b_{jj}), \\ I_2 = b_{ii} b_{jj} - 0,25 b_{ij}^2, \end{array} \right\} \text{, куди входять відповідні коефіцієнти регресії.}$$

При розв'язку характеристичного рівняння отримаємо корені K_i, K_j . Якщо $|K_i| < |K_j|$, то двомірний переріз витягнутий вздовж вісі, яка відповідає фактору X_i .

Якщо корені характеристичного рівняння менші нуля, то центр контурних кривих є максимумом.

Тангенс кута повороту осей визначали за формулою

$$\operatorname{tg} 2\beta = \frac{b_{ij}}{b_{ii} - b_{jj}}. \quad (3.24)$$

Згідно наведених формул проводили регресійний і кореляційний аналіз, а використавши метод двомірних перерізів за відомого рівняння регресії визначали максимальне чи мінімальне значення вихідного параметру.

Необхідні числові розрахунки параметра оптимізації проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для комп'ютера.

Для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень будували графічні залежності, які відтворюють характер зміни секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від зміни параметрів процесу.

3.3. Методика проведення порівняльних експериментальних досліджень гичкозбирального модуля

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

Структурну модель об'єкта дослідження представлено у вигляді структурної схеми моделі планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3², яку наведено на рис. 3.5.

Для визначення ефективності використання вдосконаленої конструкції обрізника головок коренеплодів, який встановлено на гичкозбиральний модуль, провели польові експериментальні дослідження пошкодження коренеплодів і кількості вибитих коренеплодів з ґрунту для двох конструкцій виконання обрізника:

- серійного обрізника, який використовується в конструкціях багатьох коренезбиральних машинах, який виконаний за типом «пасивний копір-пасивний ніж»;

- удосконаленого обрізника, який виконаний за типом «демпферний пасивний копір-підпружинений пасивний ніж».

У другому випадку пасивний копір встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної гумової пластини або прокладки.

Змінними факторами планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 , який провели на трьох рівнях варіювання факторами (нижній рівень фактора, або (-1), середній рівень фактора, або (0), верхній рівень фактора, або (+1)), приймали:

- швидкість руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M , яка відповідала швидкості руху обрізника та яку кодували індексом $\mathcal{G}_M \rightarrow x_1$;

- висоту розташування h_k головок коренеплодів відносно поверхні рівня ґрунту, яку кодували індексом $h_k \rightarrow x_2$.

Порядок побудови та проведення експериментальних досліджень з отримання апроксимуючої емпіричної математичної моделі $P_{ke} = f_P(x_1; x_2)$ та $B_{ke} = f_B(x_1; x_2)$, яка характеризує функціональну залежність зміни P_{ke} та B_{ke} від параметрів процесу проводили згідно з методикою, яку наведено у підрозділі 3.2, при цьому:

- результати кодування змінних факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 3.2;

- план-матрицю проведення планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 наведено у табл. 2.Г.3.2 додатка Г.3.2, при цьому експерименти

для кожного пронумерованого досліду план матриці проводили у трикратній повторності;

- рандомізовану план-матрицю планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 наведено у табл. 2.Г.4.2 додатка Г.4.2.

Для реалізації експериментів використовували експериментальну польову установку (рис. 3.2). Загальну будову та принцип роботи експериментальної установки наведено у підрозділі 3.1, а її технічну характеристику – у табл. 1.Г.2.1 додатка Г.2.1.

Таблиця 3.2

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

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Швидкість руху модуля, м/с	g_M	x_1	0,3	1,6/-1	1,9/0	2,2/+1
Висота розміщення головок, см	h_k	x_2	3,0	3,0/-1	6,0/0	9,0/+1

Умови проведення досліджень і загальну характеристику культури та залікової ділянки поля наведено, відповідно, у табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2 додатка Г.5.2.

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

Послідовність проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 .

Перед початком кожного експерименту на заліковій ділянці коренеплодів, довжина гону L_g якої за швидкості руху $g_M = 1,6; 1,9$ і $2,2$ м/с, відповідно, дорівнювала $L_g = 8,0; 9,5$ і $11,0$ м, фіксували положення кожного коренеплоду відносно рівня поверхні ґрунту шляхом нанесення на тіло коренеплоду відповідної позначки, яку виконували маркером.

Після проходу гичкозбирального модуля залікової ділянки вимірювали висоту розміщення головок коренеплодів h_k відносно рівня поверхні ґрунту лінійкою з точністю ± 2 мм, вимірюючи при цьому лінійкою відстань від сліду маркера на поверхні тіла коренеплоду до вершини його головки.

Вимірювання висоти розміщення головок коренеплодів h_k відносно рівня поверхні ґрунту проводили, як для вибитих коренеплодів з ґрунту, так і для тих коренеплодів, які залишилися в ґрунті, тобто для невибитих з ґрунту.

Пошкодження коренеплодів P_{ke} визначали згідно з загальновідомою стандартною методикою та встановлювали візуальним спостереженням шляхом вимірювання лінійкою глибини рани та наявності відповідних сколів тіла коренеплодів. При цьому показники P_{ke} та B_{ke} визначали в відсотках від загальної маси коренеплодів одного експерименту та для двох варіантів конструктивного виконання обрізника головок коренеплодів.

Для цього, під час визначення пошкодження коренеплодів P_{ke} , з залікової ділянки відбирали пошкоджені коренеплоди та визначали масу пошкоджених коренеплодів M_{Pk} шляхом зважування на терезах з точністю $\pm 0,5$ кг. Загальну масу коренеплодів M_k одного експерименту визначали, як суму маси пошкоджених коренеплодів M_{Pk} і маси непошкоджених коренеплодів M_{Hk} , яку визначали шляхом зважування на терезах з точністю $\pm 0,5$ кг, тобто

$$M_k = M_{Pk} + M_{Hk} \quad (3.25)$$

Пошкодження коренеплодів P_{ke} (%) одного експерименту визначали за формулою

$$P_{ke} = \frac{M_{Pk}}{M_{Pk} + M_{Hk}} 100\%, \text{ або } P_{ke} = \frac{M_{Pk}}{M_k} 100\%. \quad (3.26)$$

Кількість вибитих коренеплодів B_{ke} з ґрунту встановлювали шляхом диференційованого відбору з залікової ділянки кількості вибитих коренеплодів

з ґрунту однієї розмірної висоти h_k їх розміщення над рівнем поверхні ґрунту. При цьому інші коренеплоди, які розміщувалися над рівнем поверхні ґрунту з висотою розміщення, відмінною від розмірної висоти h_k , не вважали вибитими з ґрунту.

Масу вибитих коренеплодів M_{Bk} з ґрунту зважували на терезах з точністю $\pm 0,5$ кг.

Кількість вибитих коренеплодів B_{ke} (%) робочими органами обрізника визначали за формулою

$$B_{ke} = \frac{M_{Bk}}{M_k} 100\% . \quad (3.27)$$

Отримані результати експериментальних досліджень заносили у відповідні графи рандомізованої план-матриці.

Обробку одержаних експериментальних даних, які отримали після реалізації планових експериментів, проводили згідно порядком, який наведено у підрозділі 3.2.

Оцінку показників якості роботи робочих органів в умовах виробництва та встановлення технологічної ефективності застосування удосконалених робочих органів гичкозбиральних машин (залежно від агробіологічних властивостей і характеристики гички та коренеплодів, кінематичних режимів роботи та параметрів технологічної наладки робочих органів тощо) провели шляхом реалізації порівняльних експериментальних досліджень.

Оцінку показників якості роботи та технологічну ефективність застосування удосконаленого гичкозбирального модуля визначали шляхом порівняння отриманих показників якості роботи з агротехнічними вимогами до процесу збирання гички коренеплодів, при цьому:

- зріз головки коренеплодів повинен бути прямим (горизонтальним), гладким і без відколів, а кількість коренеплодів з косим зрізом – не більше 10 % відносно загальної маси коренеплодів;

- площа зрізу повинна проходити не нижче рівня підстави зелених черешків і не вище 2 см від верхівки головки коренеплодів, при цьому залишки гички на головках не повинні перевищувати 4 % від її урожайності;

- загальні втрати зеленої маси гички (не враховуючи залишки гички на головках коренеплодів) не повинні перевищувати 10 % від її врожайності;

- кількість пошкоджених коренеплодів не повинно бути більше 15 %, у тому числі сильнопошкоджених – не більше 5 %;

- вибитих коренеплодів з ґрунту – не більше 2,5 %, у тому числі обрізником головок коренеплодів – не більше 1,5 %.

Порядок проведення, умови відбору проб і визначення показників якості роботи технологічного процесу збирання гички під час проведення порівняльних досліджень удосконалених і базових робочих органів гичкозбирального модуля проводили за стандартними методиками згідно з встановленими положеннями.

Умови проведення порівняльних досліджень, які були однаковими для обох випадків визначали згідно з стандартною методикою. Умови проведення порівняльних досліджень наведено у в табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2. додатка Г.5.2.

3.4. Методика проведення експериментальних досліджень з визначення довжини різання головок коренеплодів

Для проведення експериментальних досліджень з визначення довжини різання L_d головок коренеплодів застосовували розроблену та виготовлену польову експериментальну установку. На рис. 3.6 наведено конструктивну схему експериментальної установки, на рис. 3.7 – її загальний вигляд.

Експериментальна польова установка виконана у вигляді маятникового копра, який складається з станини 1 (рис. 3.5) на якій змонтовано опорну плиту 2. На опорній плиті встановлено механізм регулювання 3, який виконано у вигляді чотирьох гвинтових пар «болт-гайка», на які встановлено два корпуси з

підшипниками 4. У підшипники встановлено поворотну вісь 5, на торцеву частину якої посаджено маятник 6 в якому змонтовано подовжувач 7 і фіксатор 8. До переднього корпусу з підшипником закріплено градуйовану шкалу 9, яка має два рухомі та поворотні покажчики, які виконано у вигляді стрілок 10 і 11. Відповідні стрілки показують, на який кут відхилено маятник до різання (кут α) і на який кут відхилиться маятник після закінчення процесу зрізування головки коренеплоду (кут ε). На нижній кінець подовжувача встановлено корпус 12 з підшипником, який посаджено на вісь подовжувача. До корпусу закріплено поворотний плоский двоплечевий ніж 13, який за допомогою пружини 14 виконаний підпружиненим у горизонтальній площині його повороту.

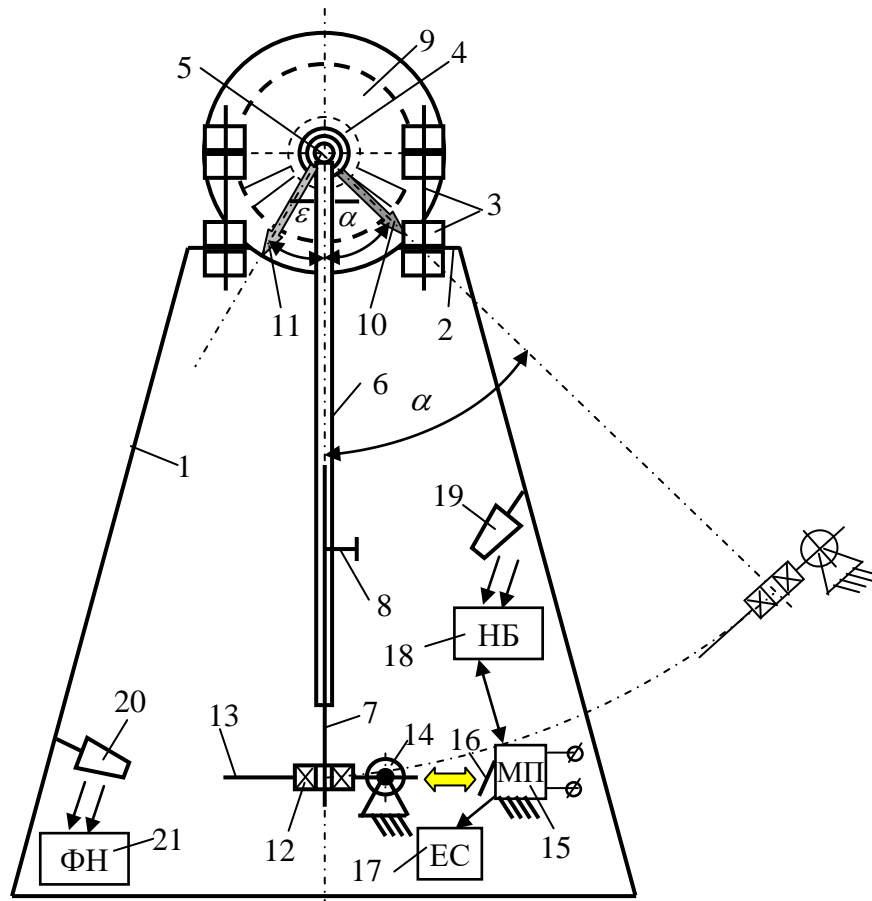


Рисунок 3.6 – Конструктивна схема експериментальної установки:

1 – станина; 2 – опорна плита; 3 – механізм регулювання; 4 – корпус з підшипником; 5 – поворотна вісь; 6 – маятник; 7 – подовжувач; 8 – фіксатор; 9 – шкала; 10, 11 – стрілка; 12 – корпус з підшипником; 13 – ніж; 14 – пружина; 15 – мікроперемикач; 16 – рухомий контакт; 17 – секундомір; 18 – ноутбук; 19 – відеокамера; 20 – відеореєстратор; 21 – флеш-накопичувач



Рис. 3.6. Загальний вигляд: а – експериментальної установки;
 б – механізму регулювання; в – підпружиненого ножа

На подовжувачі закріплено контактний мікроперемикач 15 (рис. 1.Г.6.4а додатка Г.6.4), при цьому рухомий контакт 16 мікроперемикача має початковий контакт з торцем вільного плеча поворотного ножа. Мікроперемикач зв'язаний електричною схемою з електросекундоміром 17 ноутбука 18.

Також на станині встановлено:

- мультимедійну швидкісну відеокамеру 19 (рис. 1.Г.6.4б додатка Г.6.4), яка зв'язана з ноутбуком;

- відеореєстратор 20 (рис. 1.Г.6.4в додатка Г.6.4) з флеш-накопичувачем файлів 21 для відеофіксації процесу різання головок коренеплодів підпружиненим ножом і фіксації тривалості (часу) різання;

- мультимедійна швидкісна відеокамера за допомогою комунікаційних проводів зв'язана з ноутбуком і відеореєстратором.

Принцип роботи маятникового копра наступний.

Перед початком проведення експерименту встановлюють положення ножа 13 відносно розташування головки коренеплоду над рівнем поверхні ґрунту, або необхідну висоту зрізування головки. Попередньо грубе регулювання положення ножа відносно головки коренеплоду виконують шляхом переміщення корпусів підшипників 4 «вверх-вниз» по болту та їх фіксації гайками механізму регулювання 3. Більш точне, або остаточне регулювання положення ножа встановлюють за рахунок переміщення подовжувача 7 в порожнині маятника 6 та його фіксації фіксатором 8. Крім того, маятник розташовують так, щоб передній торець леза підпружиненого ножа у стані спокою торкався поверхні тіла головки коренеплоду, при цьому кут $\alpha = 0$. У подальшому встановлюють необхідний кут α повороту (відхилення) маятника, або задану початкову швидкість різання V_p головки коренеплоду. Необхідне значення кута α відхилення маятника визначають згідно з положенням поворотної стрілки 10 відносно показника градуйованої шкали 9.

Відхиленням маятника встановлюють початковий кут α та відпускають маятник, який починає переміщуватися разом з ножом по траєкторії руху до головки коренеплоду. Під час проходження леза ножа крайньої нижньої точки його траєкторії руху, або початку його дотику з тілом головки коренеплоду, лезо ножа з початковою швидкістю V_p методом різання ковзанням зрізує головку коренеплоду на заданій висоті зрізування. При цьому з початком повороту підпружиненого ножа, або з початком різання головки коренеплоду, рухомий контакт 16 замикає контакти мікроперемикача 15, який включає електронний секундомір 17, який проводить підрахунок часу до моменту закінчення процесу зрізування головки коренеплоду, або до моменту повного виходу леза ножа з площини різання.

При повному виході леза ножа з площини різання, або закінчення процесу зрізування головки коренеплоду, пружина 14 повертає ніж в початкове положення, при цьому рухомий контакт також повертається у початкове положення та розмикає контакти мікроперемикача, який виключає відлік часу

електронним секундоміром. Після закінчення зрізування головки коренеплоду маятник під дією сили інерції продовжує рухатися вгору, при цьому рухома стрілка 10 відхиляється на кут ε .

Відеокамера 19 та відеореєстратор 20 у режимі «он-лайн» фіксують процес різання головки з позиції «вигляд збоку» та «вигляд зверху» за рахунок надходження відповідних сигналів до ноутбука 18 та флеш-накопичувача 21.

Експериментальні дослідження довжини різання L_d головок коренеплодів кормових буряків з використанням маятникового копра, які формалізовано у вигляді структурної моделі (рис. 3.7), проведено з метою визначення функціональних закономірностей впливу вхідних факторів на вихідну величину, або параметр оптимізації.

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну довжини ходу ножа в площині зрізування або довжину різання L_d головок коренеплодів залежно від основних технологічних параметрів процесу, вибирали відповідний план двофакторного експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали: швидкість різання V_p , яка відповідає, або буде адекватна швидкості руху гичкозбирального модуля V_M ($V_p = V_M$), яку кодували індексом x_1 ; коефіцієнт пружності пружини k_n , який кодували індексом x_2 .

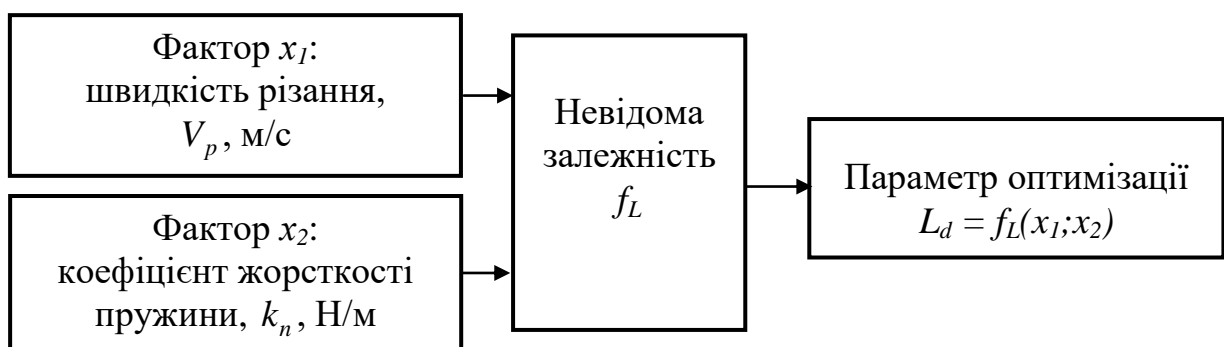


Рис. 3.7. Схема моделі планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3^2

Дослідження функціональної зміни параметра оптимізації L_d провели для двох випадків конструктивного виконання гичкозрізувального ножа – у першому випадку ніж закріплено жорстко на маятнику під кутом $\alpha_p = 35^0$ до площини

різання головки коренеплодів, а в другому випадку ніж виконано підпружиненим і закріплено з можливістю його повороту на осі маятника до $\alpha_{p.max} = 35^0$.

Порядок побудови та проведення експериментальних досліджень апроксимуючої математичної моделі як функціонала $L_d = f_L(x_1; x_2)$, або $L_d = f_L(V_p; k_n)$ яка на емпіричному рівні характеризує зміну довжини різання L_d головок коренеплодів кормових буряків, був аналогічним порядку п.п. 3.2.

Результати кодування факторів і рівні їх варіювання наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Швидкість різання, V_p , м/с	X_1	x_1	0,4	1,6/-1	2,0/0	2,4/+1
Коефіцієнт жорсткості пружини, k_n , н/см	X_2	x_2	15	25/-1	40/0	55/+1

Кут відхилення осі маятника α або зміна положення леза підпружиненого ножа відносно вертикальної площини регулюється в межах $0 \dots 90^0$, а довжина маятника – в межах $0,6 \dots 1,2$ м.

Перед початком реалізації експериментів установку леза підпружиненого ножа на необхідну висоту різання головки коренеплоду проводили у наступній послідовності. Маятниковий копер розміщували у рядку коренеплодів так, щоб у стані спокою маятника лезо ножа доторкалося до поверхні тіла головки коренеплоду на заданій висоті різання, або за умови $\alpha = 0$, $V_p = 0$. Висоту різання головки коренеплоду встановлювали на рівні проростання стебел гички на його головці та регулювали шляхом підведення леза ножа за допомогою переміщення подовжувача маятника. Також штангельциркулем вимірювали діаметр коренеплоду з точністю ± 1 см, а рулеткою – довжину маятника з точністю ± 1 см.

Згідно з визначеною довжиною маятника встановлювали необхідний кут α відхилення осі маятника шляхом візуального спостереження за переміщенням стрілки відносно градуйованої шкали, який забезпечує необхідну початкову швидкість різання головки коренеплоду $V_p = V_M$.

При цьому необхідний кут α відхилення осі маятника визначали з відомої формули

$$V_p = V_M = 2 \sin(0,5\alpha) \sqrt{gl}, \text{ або } \alpha = \arcsin(V_p / \sqrt{gl}), \quad (3.28)$$

де α – кут відхилення осі маятника від вертикальної площини, град;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

l – довжина маятника копра, м.

Співвідношення кута відхилення маятника, довжини маятника копра та відповідної швидкості різання під час проведення експериментів наведено у додатку Г.7.4.

При відхиленні осі маятника, або, відповідно, леза ножа на фіксований кут α та початком проходження маятника крайньої нижньої точки траєкторії його руху, лезо ножа, одночасно з його поворотом від початкового (нульового) положення, входить в тіло головки коренеплоду, виконуючи при цьому різання методом ковзання.

Довжина ходу ножа в площині зрізування або довжина різання L_d головки коренеплоду буде залежати від накопиченої енергії різання або, відповідно, від кута α відхилення маятника.

При цьому за недостатньої енергії різання або початкової швидкості різання V_p лезо ножа не буде виконувати повне зрізування головки коренеплоду за рахунок зупинки ножа в площині зрізу.

Після повної зупинки маятника копра в площині різання головки коренеплоду, або повного проходження леза ножа по площини різання, визначали довжину різання L_d головки коренеплоду шляхом її вимірювання лінійкою з точністю $\pm 1 \text{ мм}$.

Отримані експериментальні значення довжини різання L_d головки коренеплодів кормових буряків для граничних значень відповідних точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 , заносили у відповідні графі рандомізованої план-матриці експериментів.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки результатів досліджень для отримання в кінцевому випадку емпіричної математичної моделі у вигляді функціонала $L_d = f_L(x_1; x_2)$ з використанням методів кореляційного і регресійного аналізу апроксимуючої функції, яка характеризує вплив факторів і їх взаємодію на параметр оптимізації, тобто довжини різання L_d головки коренеплодів.

Необхідні числові розрахунки параметра оптимізації проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК.

Для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень будували графічні залежності, які відтворюють характер зміни довжини різання L_d головки коренеплодів залежно від зміни параметрів процесу зрізування головки лезом ножа в першому та другому випадках його конструктивного виконання.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

4.1. Експериментальні дослідження секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра

Відповідно до програми експериментальних досліджень і перевірки адекватності теоретичних положень розробленої математичної моделі, яка характеризує залежність зміни секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля провели експериментальні дослідження експериментальної польової установки, конструктивну схему якої наведено на рис. 1.30 і рис. 1.31, а її загальний вигляд і загальний вигляд робочих органів – на рис. 3.2.

Методику та порядок проведення польових експериментальних досліджень з визначення секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від параметрів процесу наведено у пункті 3.2 розділу 3. Дослідження P_{ke}^* провели на основі реалізації планованого трифакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами, або експерименту типу ПФЕ 3^3 .

Схема моделі експерименту типу ПФЕ 3^3 наведена на рис. 3.3.

Умови проведення досліджень і загальну характеристику культури та залікової ділянки поля наведено у табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2. додатка Г.5.2. Технічну характеристику польової установки наведено у табл. 1.Г.2.1 додатка Г.2.1. При цьому діаметр шнека становив $D = 0,3$ м, крок першого витка шнека $S_1 = 0,15$ м, інтервал збільшення кроку шнека $\Delta S = 0,05$ м, кутова швидкість обертання шнека $\omega_k = 190$ об/хв, число заходів шнека $z = 1$.

Послідовність проведення першого та наступних експериментів з визначення секундної подачі P_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового

конвеєра гичкозбирального модуля залежно від параметрів процесу встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці трифакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 (табл. 1.Г.4.2 додатка Г.4.2).

Характеристику встановлених змінних вхідних факторів і значення їх рівнів варіювання наведено у табл. 3.2. Межі зміни рівнів варіювання факторами встановлювали згідно з результатами аналітичних досліджень секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, які проведено в п. 2.1.

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

Числові значення реалізації план-матриці експериментальних досліджень з визначення функціональної зміни сумарної подачі $\sum_{i=1}^6 \Pi_{ke}^*(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля, записаної у вигляді функції $\sum_{i=1}^6 \Pi_{ke}^*(t) = f_{II}(\mathcal{G}_M; \Gamma_{kc}; -\Delta U_c)$, наведено у табл. 4.1.

Обробку розрахованого експериментального масиву даних, який наведено у додатку Д.1.1, трактування та аналіз отриманих результатів зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра провели згідно з методикою, яку наведеною в пункті 3.2 розділу 3 дисертаційної роботи.

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

$$\Pi_{ke}^* = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (4.1)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти відповідних значень x_i ;

x_1, x_2, x_3 – кодовані фактори.

Таблиця 4.1

Результати досліджень подачі $\sum_{i=1}^6 \Pi_{ke}^*(t)$ рослинних компонентів до

гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля

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

Невідомі значення коефіцієнтів рівняння регресії у вигляді функціонала

$\Pi_{ke}^* = f_Q(x_1; x_2; x_3)$ у кодованих величинах визначали за першою та другою

формулами (3.10), а перехід від кодованих величин до натуральних, або визначення коефіцієнтів рівняння регресії апроксимуючої моделі $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; \Gamma_{kc}; -\Delta U_z)$ у натуральних величинах – за формулами (3.1), (3.2).

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії зміни секундної подачі

Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра

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

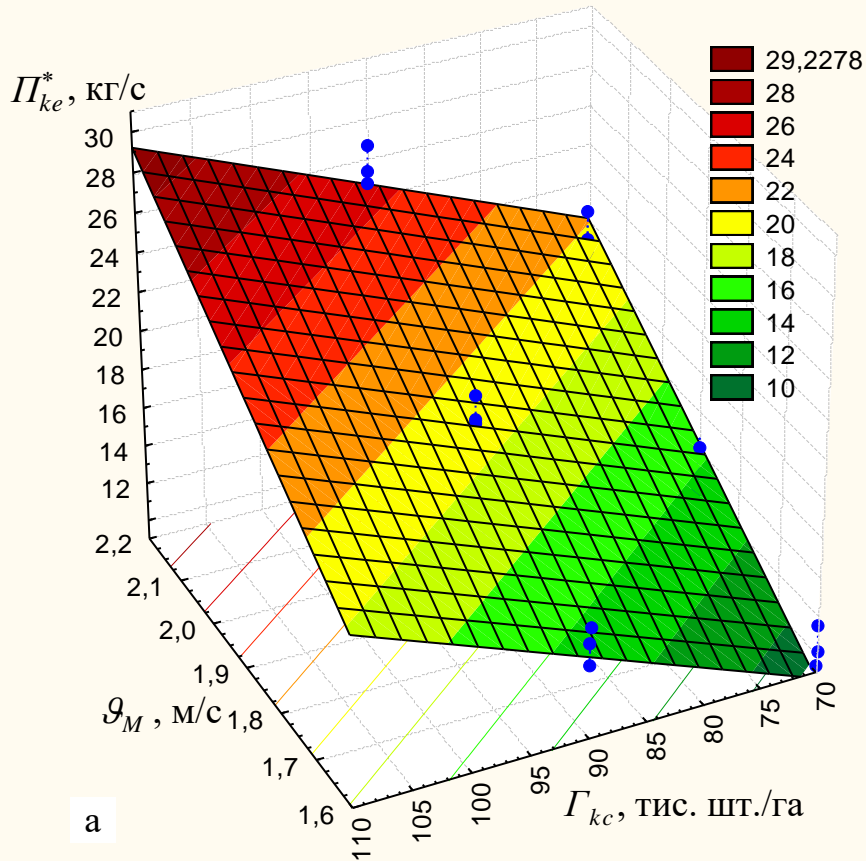
Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності моделі згідно з (3.12) та (3.14) (додаток Д.2.1) і переходу від кодованих позначень змінних факторів до натуральних, отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра у натуральних величинах:

$$\Pi_{ke}^* = -32,81 + 17,35\vartheta_M + 0,23\Gamma_{kc} - 0,23(-\Delta U_z). \quad (4.2)$$

Отримане рівняння регресії (4.2) може бути використано для встановлення характеру функціональної зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра згідно з апроксимуючою моделлю $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; \Gamma_{kc}; -\Delta U_z)$ у наступних межах зміни діапазону значень вхідних факторів:

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

Var4



a

Var1

Var2

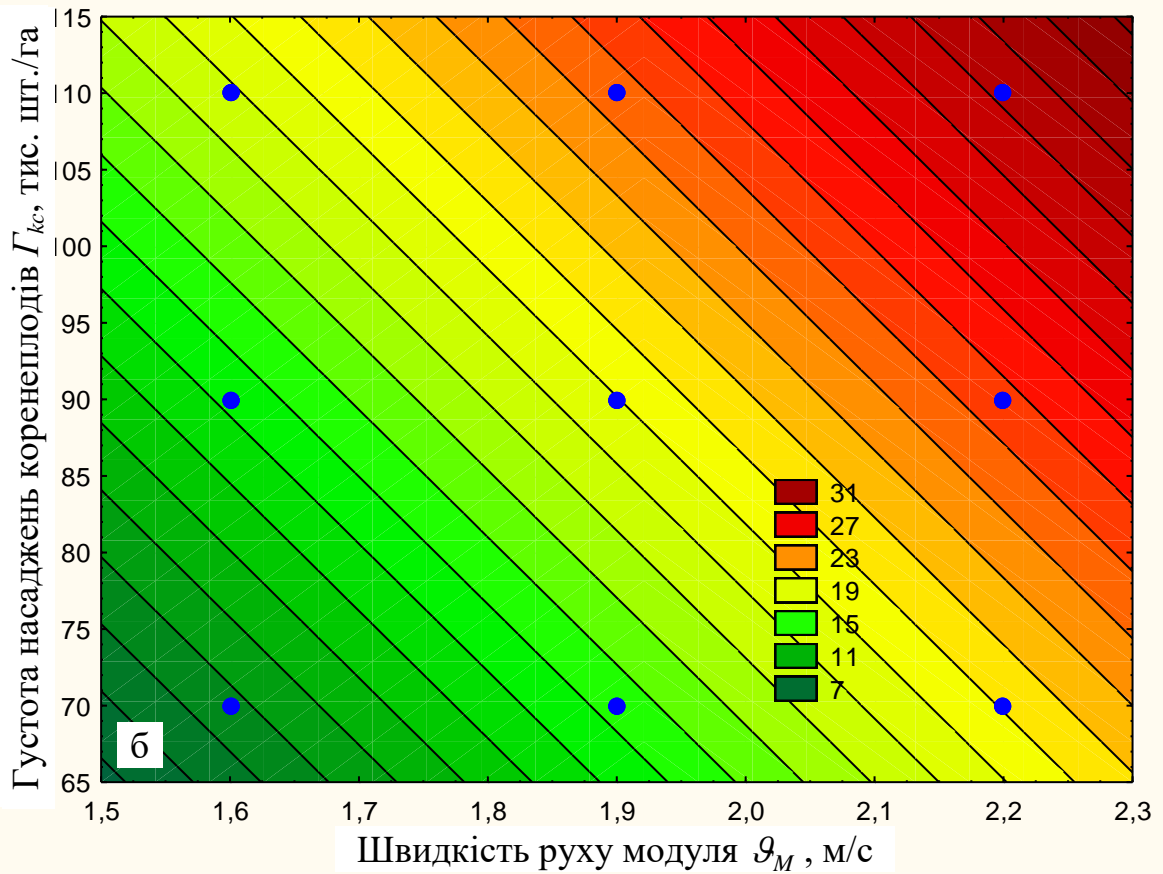


Рисунок 4.1 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) функціональної зміни $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_{kc})$

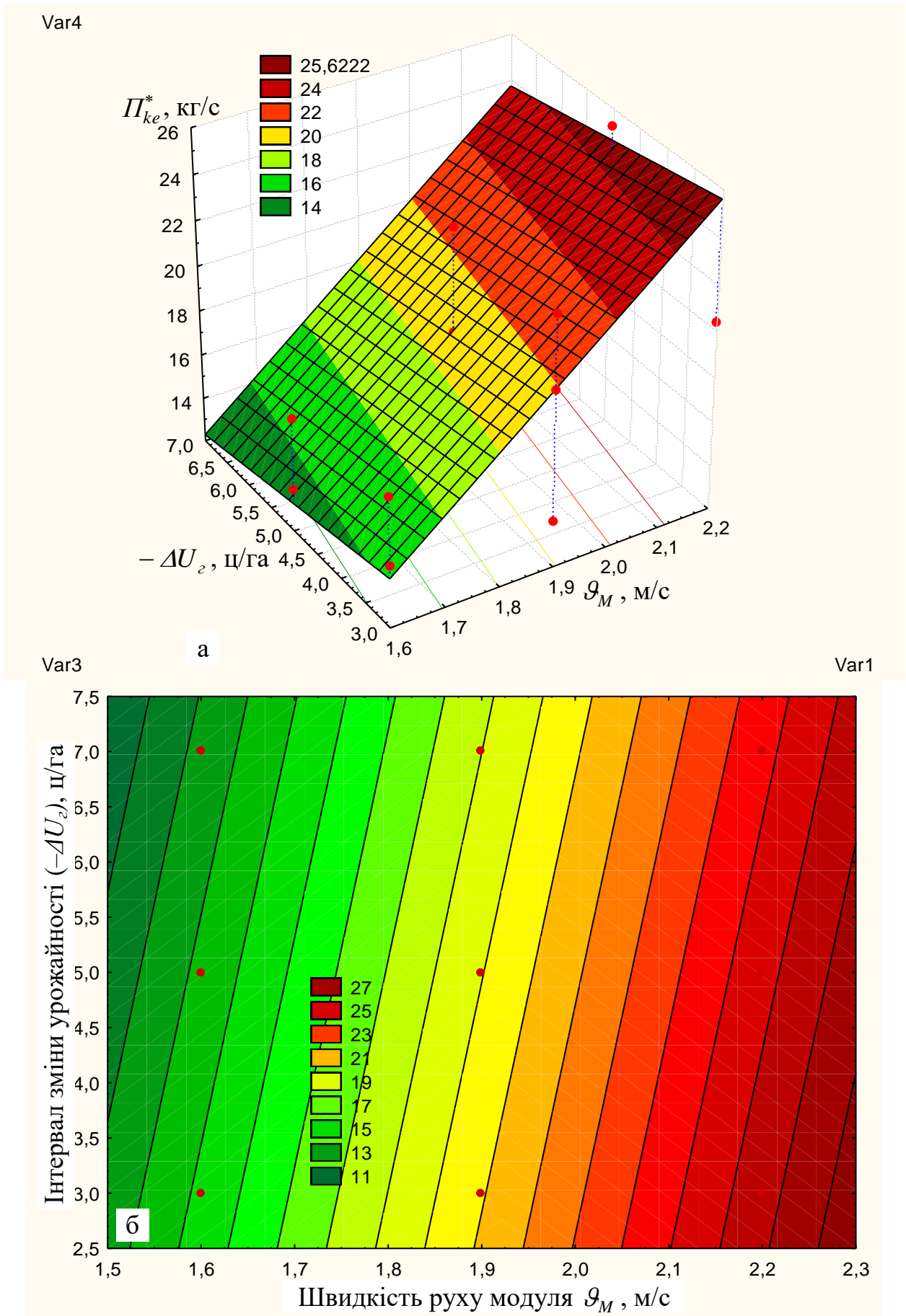
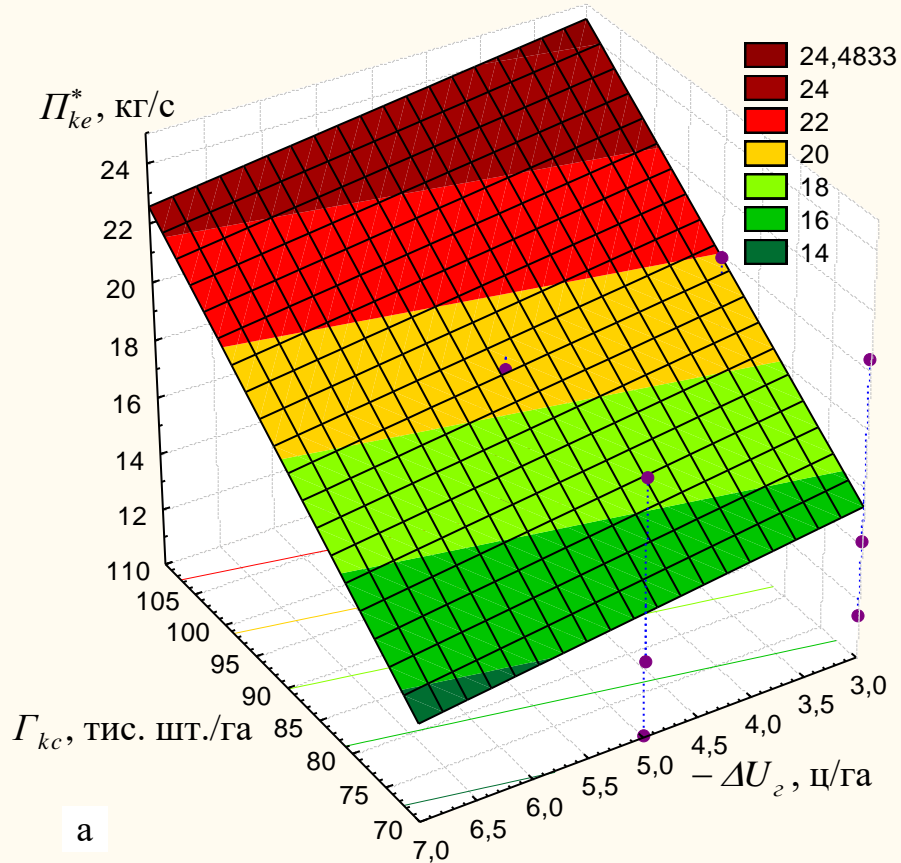


Рисунок 4.2 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) функціональної зміни $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(g_M; -\Delta U_2)$

Var4



Var2

Var3

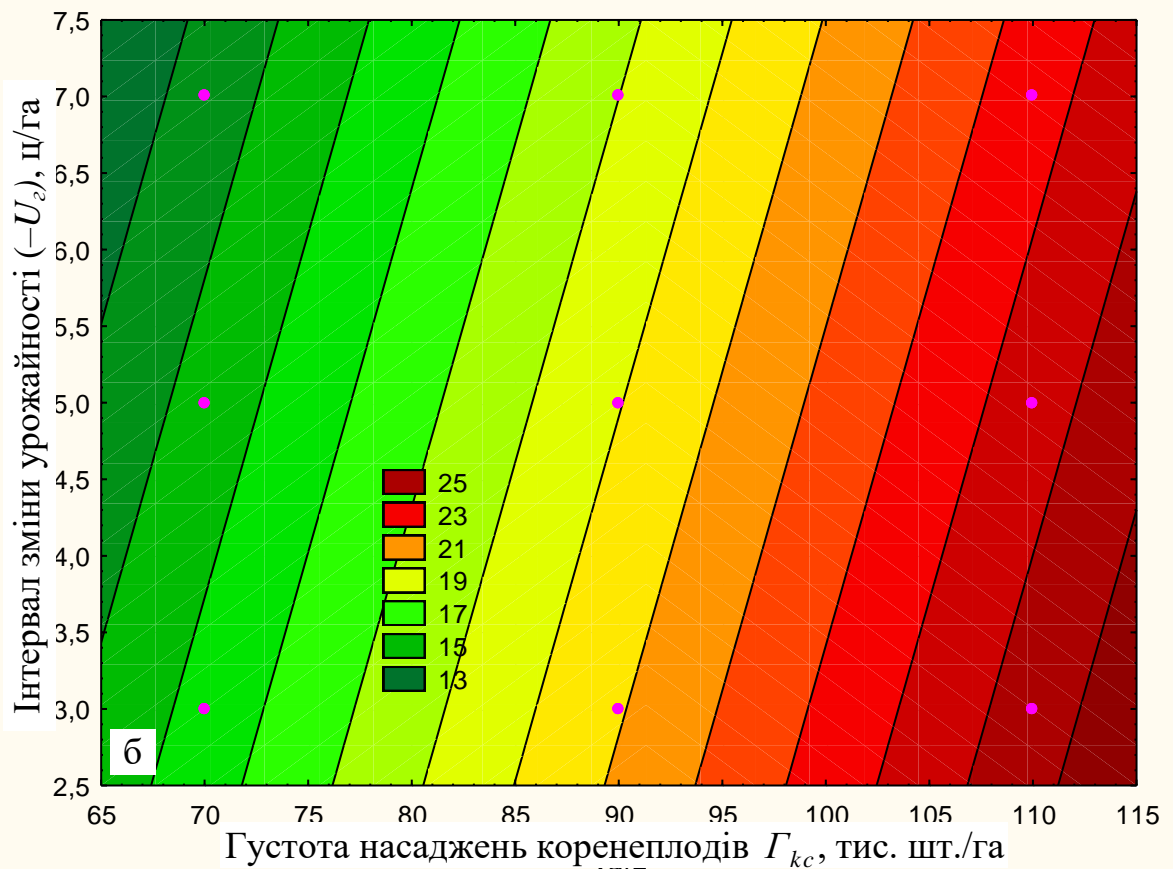


Рисунок 4.3 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) функціональної зміни $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\Gamma_{kc}; -\Delta U_2)$

Згідно з рівнянням регресії (4.2) побудовано поверхні відгуку та двомірні перерізи поверхонь відгуку, які характеризують функціональну зміну секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від:

- швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M та густоти насаджень коренеплодів Γ_{kc} як функція $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_{kc})$, рис. 4.1;

- швидкості руху \mathcal{G}_M та інтервалу зміни врожайності гички $(-\Delta U_2)$ коренеплодів як функція $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; -\Delta U_2)$, рис. 4.2;

- густоти насаджень коренеплодів Γ_{kc} та інтервалу зміни врожайності гички $(-\Delta U_2)$ як функція $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\Gamma_{kc}; -\Delta U_2)$, рис. 4.3.

На основі проведеного аналізу отриманого рівняння регресії (4.2) та побудованих згідно з ним поверхонь відгуку як функція $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_{kc})$, рис. 4.1, $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; -\Delta U_2)$, рис. 4.2, $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\Gamma_{kc}; -\Delta U_2)$, рис. 4.3 встановлено, що функціональна зміна секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра залежно від вхідних змінних факторів має двоякий характер:

- зі збільшенням швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля та густоти насаджень коренеплодів Γ_{kc} секундна подача Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра також збільшується;

- зі збільшенням інтервалу зміни врожайності гички $(-\Delta U_2)$ секундна подача Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра зменшується.

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

Це твердження також характерно функціональній зміні секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, які наведено на рис. 4.4 та побудовано згідно з рівнянням регресії (4.1) як функція $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M)$, рис. 4.4а та $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\Gamma_{kc})$, рис. 4.4б.

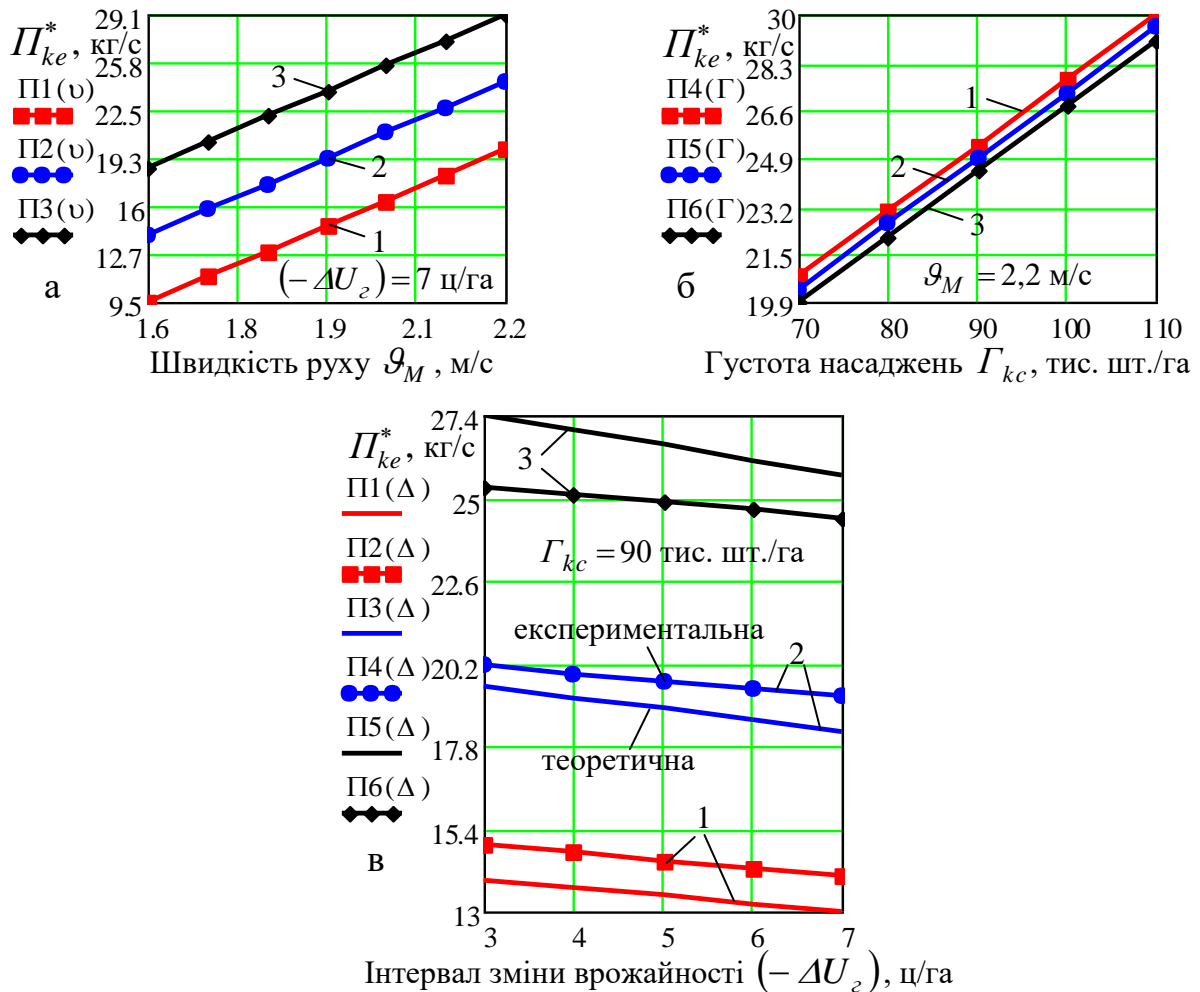


Рисунок 4.4 – Залежність зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до шнекового конвеєра як функція: а – $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M)$, 1, 2 і 3 – відповідно, $\Gamma_{kc} = 70, 90$ і 110 тис. шт./га; б – $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\Gamma_{kc})$, 1, 2 і 3 – відповідно, $(-\Delta U_z) = 3, 5$ і 7 ц/га; в – $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(-\Delta U_z)$, 1, 2 і 3 – відповідно, $\mathcal{G}_M = 1,6; 1,9$ і $2,2$ м/с

Домінуючими факторами, збільшення яких призводить до зростання секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра

гичкозбирального модуля є зміна швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля та густоти насаджень коренеплодів Γ_{kc} .

При цьому приріст, або зростання секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра у межах варіювання кожного фактора \mathcal{G}_M та Γ_{kc} , відповідно, від $1,6 \leq \mathcal{G}_M \leq 2,2$ м та $70 \leq \Gamma_{kc} \leq 110$ тис. шт./га приблизно однаковий та становить в середньому $9 \dots 11$ кг/с, що характерно залежностям, які наведено на рис. 4.1а, б.

Збільшення інтервалу зміни врожайності гички $(-\Delta U_2)$ в межах $3 \leq -\Delta U_2 \leq 7$ ц/га призводить до незначного, в середньому на $0,2 \dots 0,25$ ц/га, зменшення секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра.

На основі графічних порівнянь (рис. 4.4в) встановлено, що розбіжність експериментальних значень секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, які отримано згідно з рівнянням регресії (4.2) (прямі $\Pi_2(\Delta)$, $\Pi_4(\Delta)$ та $\Pi_6(\Delta)$) та теоретичних значень Π_k^* (прямі $\Pi_1(\Delta)$, $\Pi_3(\Delta)$ та $\Pi_5(\Delta)$), які отримано на аналітичному рівні згідно з математичною моделлю (2.11) знаходиться у межах $8 \dots 12$ %.

На основі цього можна стверджувати, що розроблена теоретична модель (2.11), яка функціонально описує зміну секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля залежно від агробіологічних характеристик коренеплоді та гички й технологічних параметрів роботи гичкозбирального модуля у загальному аспекті в задовільній мірі або адекватно на аналітичному рівні описує реальний процес зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, який одержаної на емпіричному рівні згідно з рівнянням регресії (4.2).

Одержані експериментальні значення секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра є вихідними умовами для подальшого обґрунтування параметрів гичкозбирального модуля.

4.2. Результати експериментальних досліджень продуктивності роботи гвинтового конвеєра

Для перевірки адекватності теоретичних положень і викладень розробленої математичної моделі (2.35), яка на аналітичному рівні характеризує функціональну зміну продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра та згідно з програмою експериментальних провели експериментальні дослідження з визначення експериментальних значень зміни продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля.

Експериментальні дослідження з визначення продуктивності Q_{ke} гвинтового конвеєра проводили згідно з методикою, яку викладено у пункті 3.2 розділу 3 дисертаційної роботи. При цьому дослідження провели на основі реалізації планованого двофакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами, або експерименту типу ПФЕ 3^2 , схему моделі якого наведено на рис. 3.3.

Конструктивну схему експериментальної установки наведено на рис. 1.30, а загальний вигляд – на рис. 3.2. Технічну характеристику польової установки гичкозбирального модуля наведено в табл. 1.Г.2.1 додатка Г.2.1, при цьому діаметр шнека становив $D=0,3$ м, крок першого витка шнека $S_1=0,15$ м, інтервал збільшення кроку шнека $\Delta S=0,05$ м, число заходів шнека $z=1$.

Умови проведення досліджень і загальну характеристику культури та залікової ділянки поля посівів коренеплодів наведено у табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2. додатка Г.5.2.

Послідовність проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 (табл. 2.Г.4.2 додатка Г.4.2).

Характеристику визначених факторів і значення їх рівнів варіювання, які встановлено з результатами проведених теоретичних досліджень продуктивності шнека (пункт 2.2, розділ 2), наведено у табл. 3.1.

Результати реалізації план-матриці експериментальних досліджень з визначення – маси зібраної гички M_{Q_e} з відповідної довжини валка наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Результати експериментальних досліджень маси зібраної гички M_{Q_e} з відповідної довжини валка

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

Обробку одержаного експериментального масиву даних, який наведено у додатку Д.3.2, трактування та аналіз отриманих результатів продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля провели згідно з методикою, яку наведеною в пункті 3.2 розділу 3 дисертаційної роботи.

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

$$Q_{ke} = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_4 \ln x_4, \quad (4.3)$$

де b_0, b_1, b_4 – вільний член і коефіцієнти відповідних значень x_1 і x_4 ;

x_1, x_4 – відповідні кодовані фактори.

Невідомі значення коефіцієнтів рівняння регресії у вигляді функції $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_4)$ у кодованих величинах визначали за третьою та четвертою формулами (3.10), а перехід від кодованих величин до натуральних, або визначення коефіцієнтів рівняння регресії апроксимуючої моделі $Q_{ke} = f_Q(\mathcal{G}_M; n_k)$ у натуральних величинах – за формулами (3.1), (3.2).

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії зміни продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра наведено у табл. 4.4

Таблиця 4.4

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії зміни продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра

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

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності емпіричної моделі згідно з (3.9), (3.11) (додаток Г.3.2) і переходу від кодованих позначень факторів до натуральних величин, отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну продуктивності Q_{ke} гвинтового конвеєра у натуральних факторах

$$Q_{ke} = -62,98 + 31,31 \ln(\mathcal{G}_M) + 12,98 \ln(n_k). \quad (4.4)$$

Отримана регресійна залежність або емпірична модель (4.4) може бути застосована для визначення продуктивності Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля згідно з апроксимуючою моделлю $Q_{ke} = f_Q(\mathcal{G}_M; n_k)$ у таких межах зміни діапазону значень вхідних факторів: швидкості руху гичкозбирального модуля $1,6 \leq \mathcal{G}_M \leq 2,2$ м/с; частоти обертання гвинтового конвеєра $100 \leq n_k \leq 220$ об/хв.

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

Аналіз одержаного рівняння регресії (4.3) та побудованої згідно з ним поверхні відгуку (рис. 4.5) як функції $Q_{ke} = f_Q(\mathcal{G}_M; n_k)$ показує, що функціональна зміна продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра залежно від вхідних змінних факторів має прямо пропорційний характер – зі збільшенням швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля та частоти обертання шнека n_k продуктивність гвинтового конвеєра Q_{ke} також збільшується. Основний масив апроксимованих експериментальних значень продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра знаходиться у межах від 12,4 до 33,3 кг/с, що також характерно функціональній зміні продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра згідно з залежностями, які наведено на рис. 4.6.

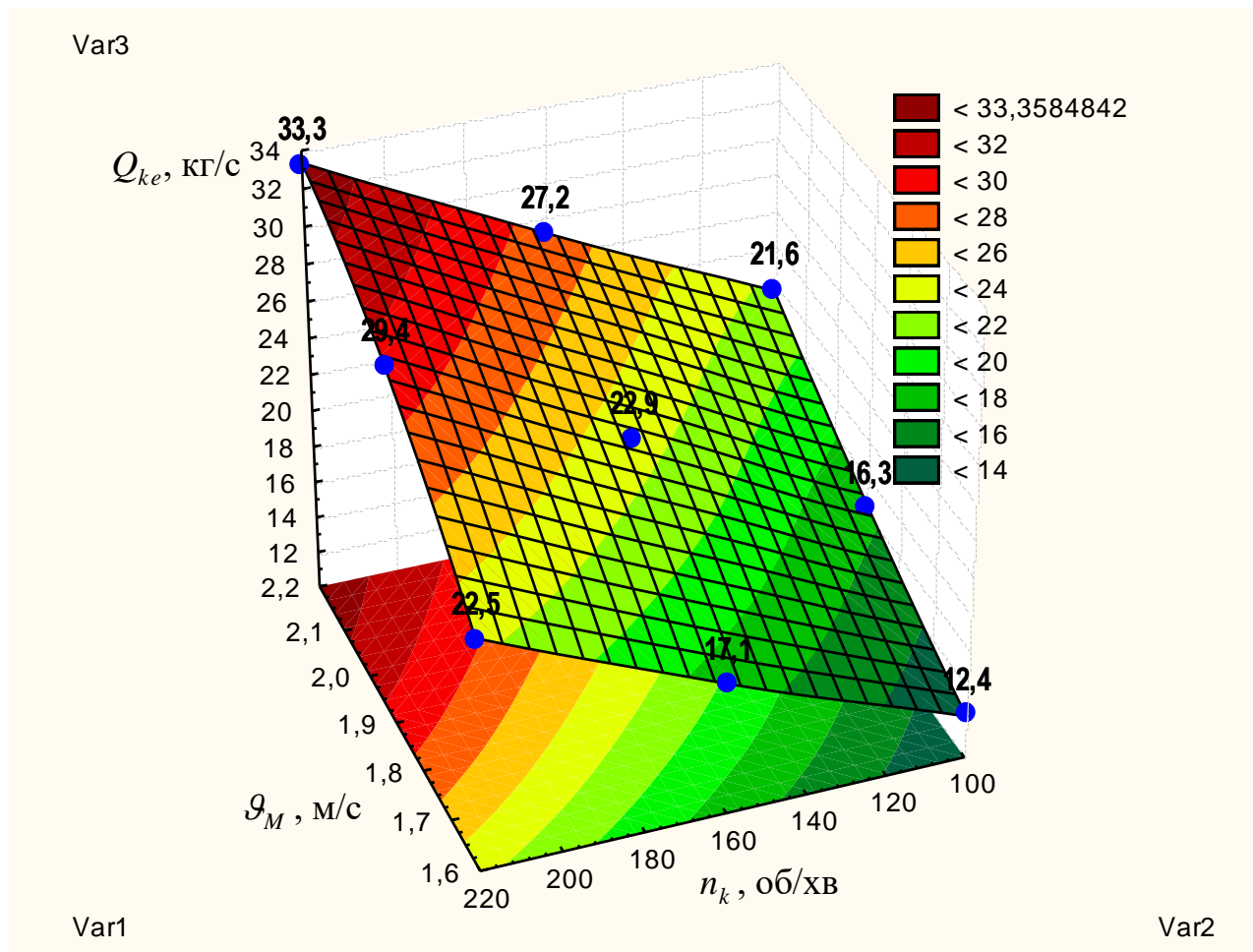


Рисунок 4.5 – Поверхня відгуку функціональної залежності зміни продуктивності роботи $Q_{k.e}$ шнекового конвеєра від швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля та частоти обертання шнека n_k

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

При цьому зростання продуктивності Q_{ke} у межах варіювання вхідних змінних факторів \mathcal{G}_M і n_k (рис. 4.6), відповідно, від $1,6 \leq \mathcal{G}_M \leq 2,2$ м/с і $100 \leq n_k \leq 220$ об/хв приблизно однаковий та становить 10...12 кг/с.

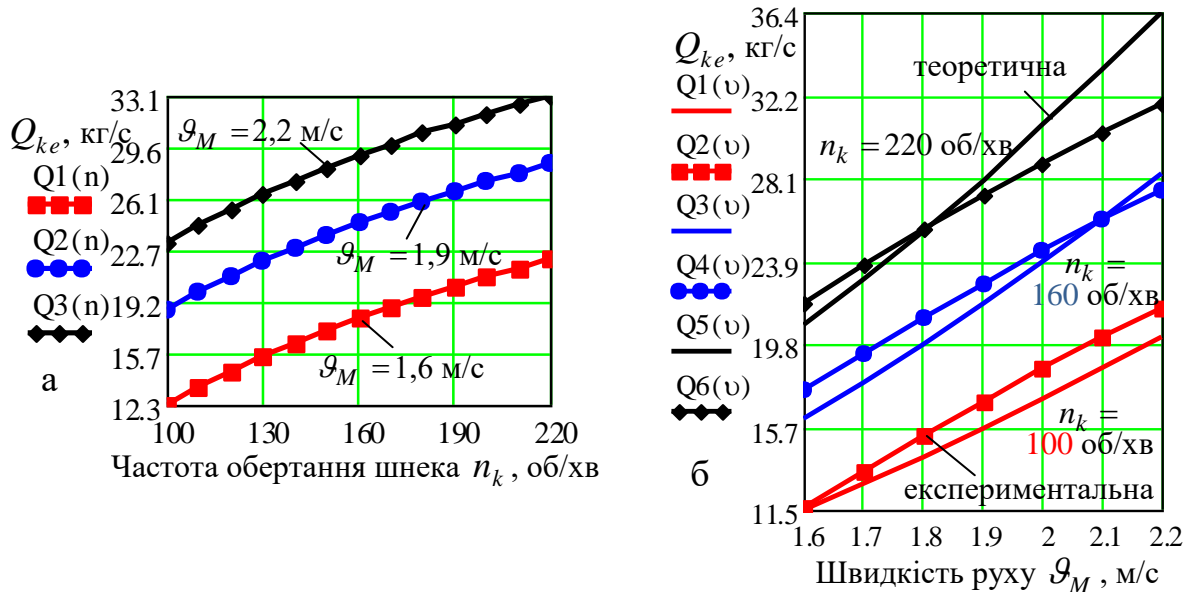


Рис. 4.6. Залежність зміни продуктивності роботи Q_{ke}

гвинтового конвеєра як функція: а – $Q_{ke} = f_Q(n_k)$; б – $Q_{ke} = f_Q(\mathcal{G}_M)$

Згідно з умовою (2.32), за якої для забезпечення раціонального функціонування гвинтового конвеєра, або переміщення рослинних компонентів шнеком без їх «звантаження» на робочих поверхнях шнека, продуктивність роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра повинна бути не менше діапазону зміни секундної подачі рослинних компонентів Π_{ke}^* до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля.

Згідно з графічними побудовами (рис. 4.1-рис. 4.4) секундна подача рослинних компонентів Π_{ke}^* до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля знаходиться в діапазоні $\Pi_{ke}^* = 20 \dots 30$ кг/с за осередненої швидкості руху модуля $\mathcal{G} \geq 1,9$ м/с.

Тоді на основі аналізу графічних побудов, які наведено на рис. 4.1 та рис. 4.4 - 4.6 можна констатувати, що умова $Q_{ke} \geq P_{ke}^*$ виконується за всіх значень варіювання факторами:

- за швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля від 1,6 до 2,2 м/с;
- за частоти обертання n_k шнека від 100 до 220 об/хв.

При цьому:

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

Розбіжність експериментальних значень продуктивності гвинтового конвеєра Q_{ke} , які отримано згідно з рівнянням регресії (4.4) (криві Q2(n), Q4(n), Q6(n)) та теоретичних значень продуктивності гвинтового конвеєра Q_k (прямі Q1(n), Q3(n), Q5(n)), які отримано на аналітичному рівні згідно з математичною моделлю (2.35) знаходиться у межах 5...10 %, рис. 4.6б.

На основі цього можна стверджувати, що розроблена теоретична модель (2.35), яка функціонально описує зміну продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра залежно від конструктивно-кінематичних параметрів шнека та технологічних параметрів роботи гичкозбирального модуля у загальному аспекті адекватно, або в задовільній мірі на аналітичному рівні описує реальний процес зміни продуктивності роботи Q_{ke} , отриманого на емпіричному рівні згідно з рівнянням регресії (4.4).

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

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

4.3. Експериментальні дослідження ширини утвореного валка

Згідно з програмою експериментальних досліджень і перевірки адекватності теоретичних положень і викладень розробленої математичної моделі, яка характеризує залежність зміни ширини утвореного валка b_e розкиданої на поверхні ґрунту подрібненої гички (2.107) провели експериментальні дослідження лабораторної установки, конструктивну схему якої наведено на рис. 1.2, а загальний вигляд – на рис. 3.2.

Методику та порядок проведення експериментальних досліджень з визначення ширини утвореного валка b_e гички наведено у пункті 3.3 розділу 3. При цьому дослідження провели на основі реалізації трифакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами, або планованого експерименту типу ПФЕ 3^3 , схему моделі якого наведено на рис. 3.3.

Умови проведення досліджень і загальну характеристику культури та залікової ділянки поля наведено у табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2. додатка Г.5.2. Технічну характеристику польової установки наведено у додатку Г.2.1, при цьому діаметр шнекового конвеєра становив $D = 0,3$ м, число заходів витків шнека $z = 1$.

Послідовність проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці трифакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 (табл. 2.Г.3.2 додатка Г.3.2.). Характеристику визначених факторів і значення їх рівнів варіювання, які встановлено згідно з результатами проведених теоретичних досліджень продуктивності шнека (пункт 2.2, розділ 2), наведено у табл. 3.1.

Рандомізовану план-матрицю проведення трифакторного планованого експерименту типу ПФЕ 3^3 , наведено у табл. 1.Г.4.2 додатка Г.4.2.

Для усунення впливу неконтрольованих і нерегульованих факторів (відповідно, НКФ і НРФ, рис. 3.1) на значення параметра оптимізації під час реалізації складеної план-матриці, провели її рандомізацію шляхом витягання пронумерованих порядкових номерів кожного експерименту з урни.

Апроксимуючу функцію відгуку, або параметра оптимізації, тобто ширини утвореного валка b_e гички, визначену експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі логарифмічної функції

$$b_e = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3, \quad (4.5)$$

де b_e – ширина утвореного валка, м;

b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти відповідних значень x_i ;

x_1, x_2, x_3 – відповідні кодовані фактори.

Невідомі значення коефіцієнтів рівняння регресії у вигляді функціонала $b_e = f_b(x_1; x_2; x_3)$ у кодованих величинах визначали за формулами (3.7), а перехід від кодованих величин до натуральних, або визначення коефіцієнтів рівняння регресії апроксимуючої моделі $b_e = f_b(V_M; U_g; n_k)$ у натуральних величинах – за формулами (3.1), (3.2).

Таблиця 4.5

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії зміни b_e

Позначення	Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії			
	b_0	b_1	b_2	b_3
$b_e = f_b(V_M; U_g; n_k)$	-8,74	0,27	1,21	0,79

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії і перевірки адекватності моделі згідно з (3.9), (3.11) та переходу від кодованих позначень змінних факторів до натуральних, одержано рівняння регресії, яке характеризує зміну ширини утвореного валка b_e гички у натуральних величинах

$$b_e = -8,74 + 0,27 \ln(V_M) + 1,21 \ln(U_g) + 0,79 \ln(n_k). \quad (4.5)$$

Одержана регресійна залежність (4.5) може бути використана для визначення ширини утвореного валка b_e зрізаної роторним гичкорізом та укладеної на зібране поле подрібненої гички коренеплодів кормових буряків

згідно з апроксимуючою моделлю $b_e = f_b(V_M; U_g; n_k)$ у наступних межах зміни діапазону значень вхідних факторів:

- швидкості руху гичкозбирального модуля $1,6 \leq V_M \leq 2,4$ м/с;
- врожайності гички кормових буряків $120 \leq U_g \leq 180$ ц/га;
- частоти обертання шнекового конвеєра $40 \leq n_k \leq 100$ об/хв.

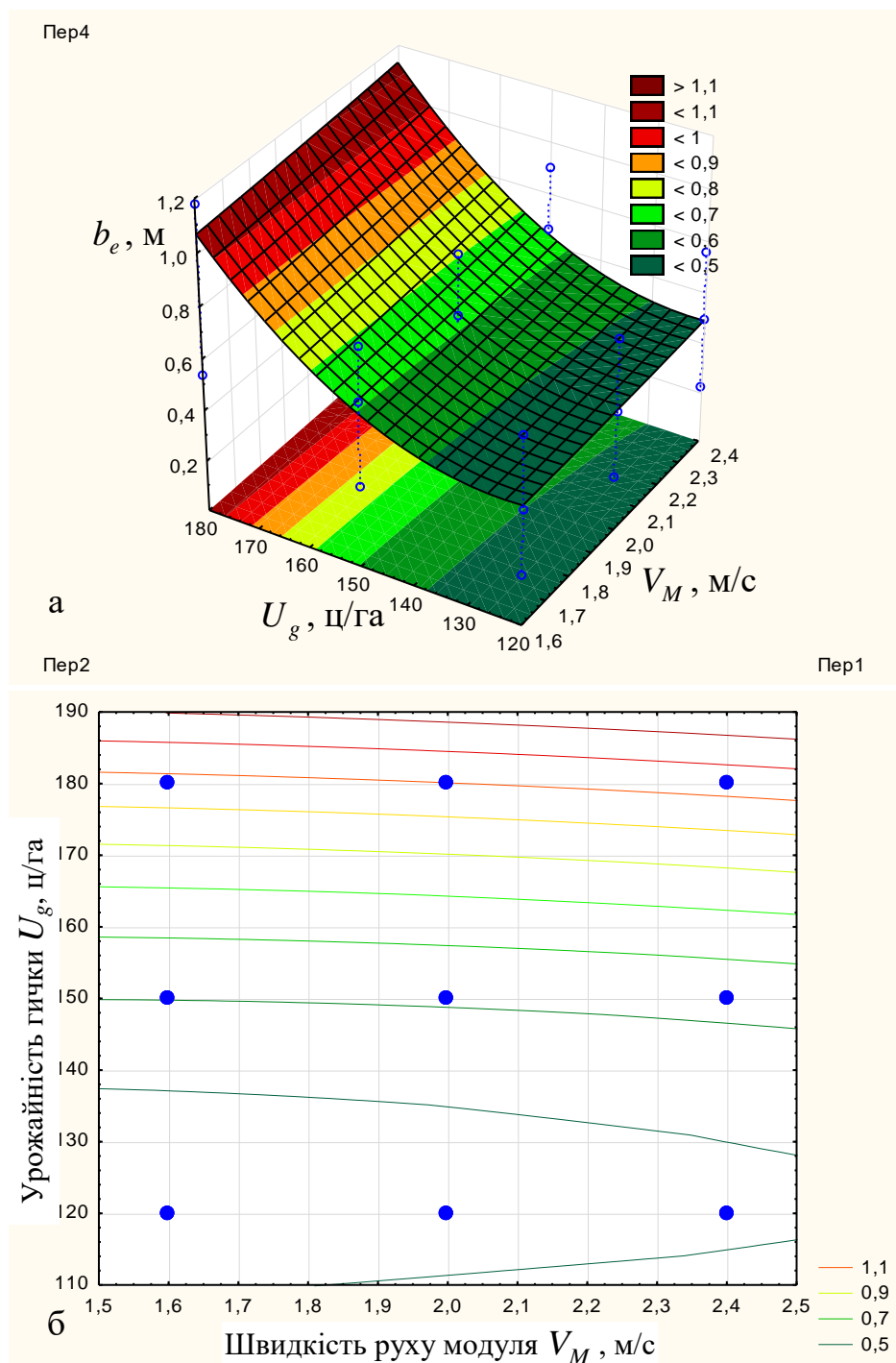


Рисунок 4.7 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку зміни ширини утвореного валка b_e як функціонал $b_e = f_b(V_M; U_g)$

На рис. 4.7-рис. 4.9 наведено поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку функціональної зміни ширини утвореного валка b_e зрізаної роторним гичкорізом та укладеної на зібране поле шнековим конвеєром подрібненої гички коренеплодів кормових буряків, які побудовано згідно з рівнянням регресії (4.5), отриманого на основі апроксимуючої емпіричної

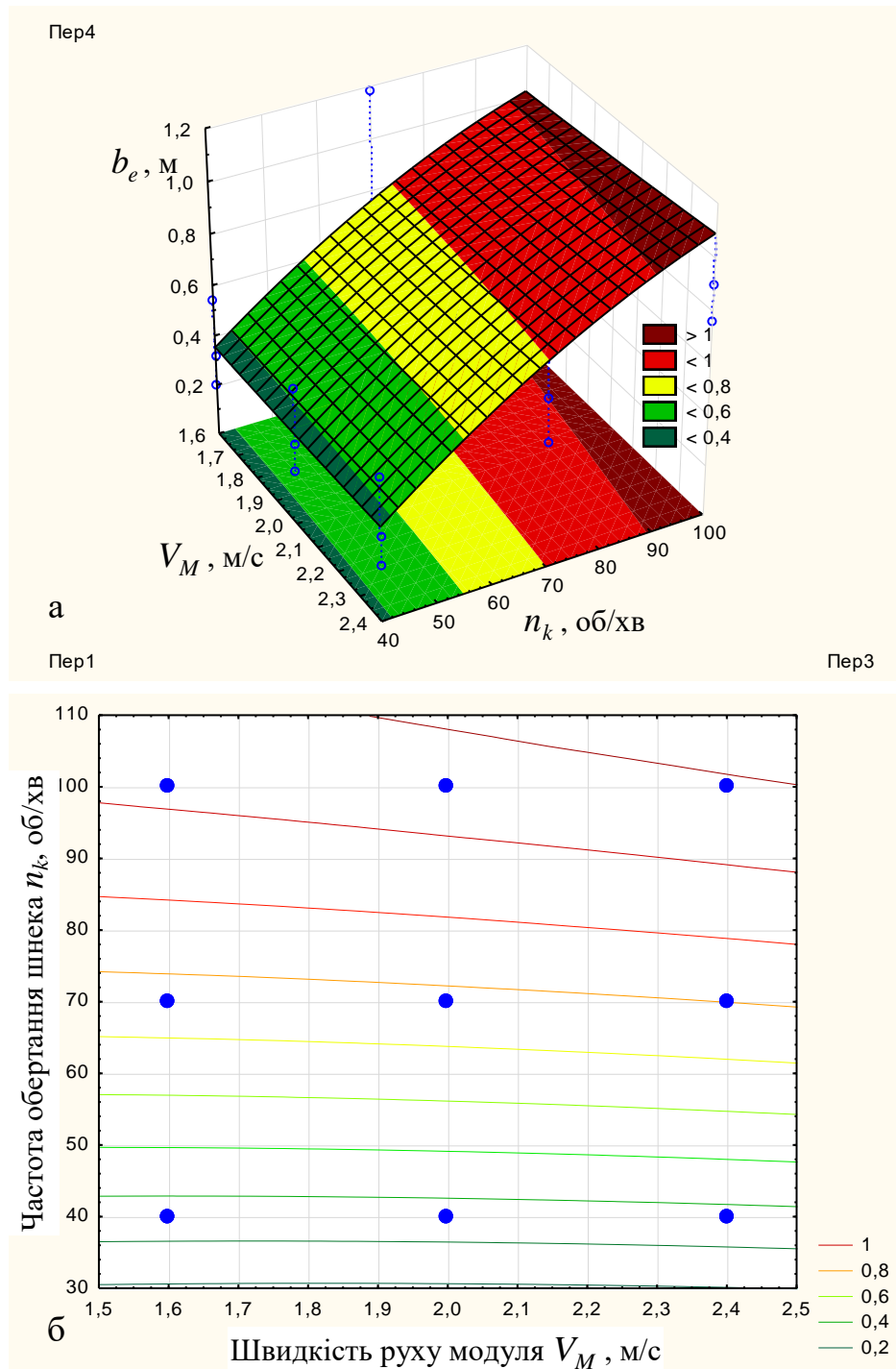


Рисунок 4.8 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку зміни ширини утвореного валка b_e як функціонал $b_e = f_b(V_M; n_k)$

математичної моделі $b_e = f_b(V_M; U_g; n_k)$, відповідно:

- рис. 4.7 – як функціонал $b_e = f_b(V_M; U_g)$;
- рис. 4.8 – як функціонал $b_e = f_b(V_M; n_k)$;
- рис. 4.9 – як функціонал $b_e = f_b(U_g; n_k)$.

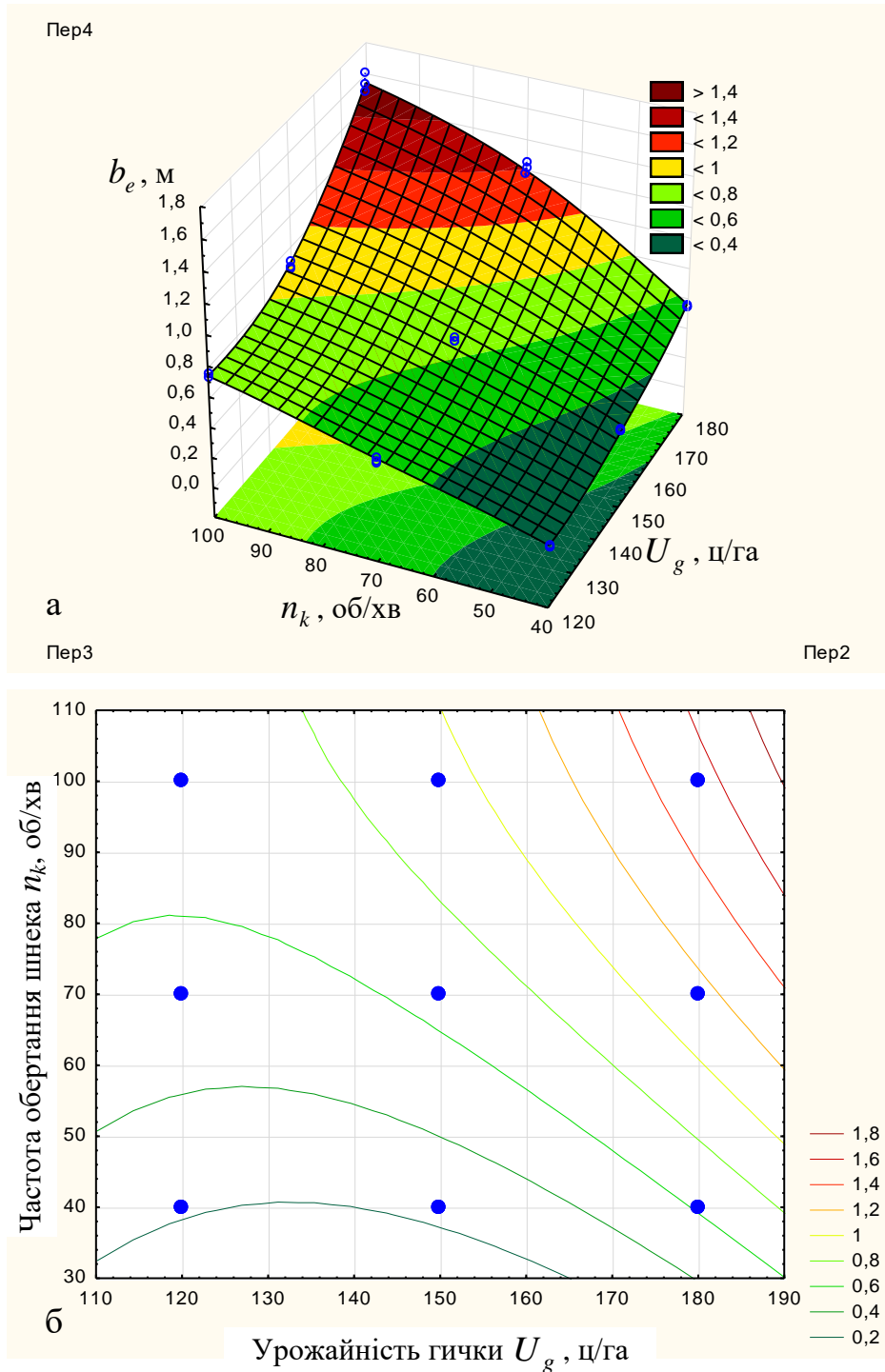


Рисунок 4.9 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку зміни ширини утвореного валка b_e як функціонал $b_e = f_b(U_g; n_k)$

У заданих межах варіювання змінних вхідних факторів, швидкості руху модуля $1,6 \leq V_M \leq 2,4$ м, урожайності гички коренеплодів $120 \leq U_g \leq 180$ ц/га і частоти обертання шнека $40 \leq n_k \leq 100$ об/хв ширина утвореного валка b_e подрібненої гички знаходиться в діапазоні від 0,5 до 1,4 м, рис. 4.7-рис. 4.9.

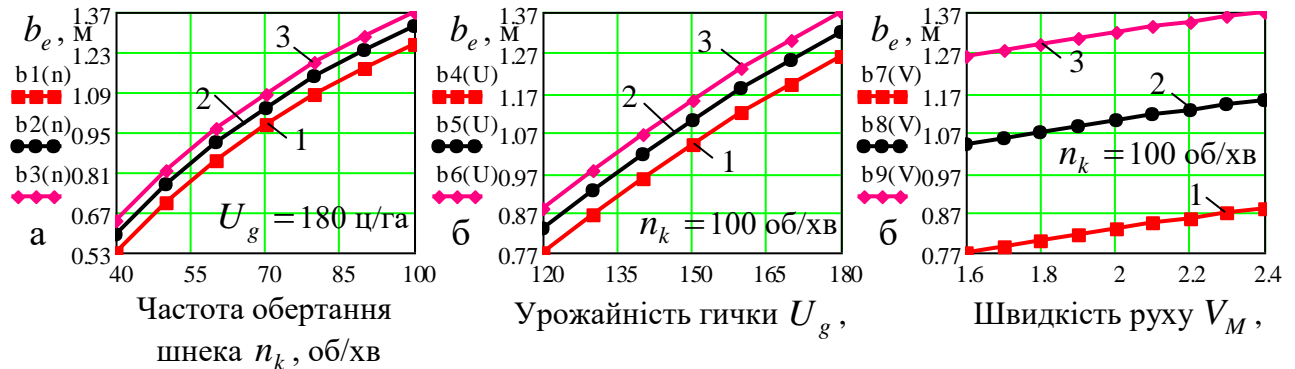


Рисунок 4.10 – Залежність зміни ширини утвореного валка b як функціонал: а – $b = f_b(n_k)$, 1, 2, 3 – відповідно, $V_M = 1,6; 2,0; 2,4$ м/с;

б – $b = f_b(U_g)$, 1, 2, 3 – відповідно, $V_M = 1,6; 2,0; 2,4$ м/с;

в – $b = f_b(V_M)$, 1, 2, 3 – відповідно, $U_g = 120; 150; 180$ ц/га

Функціональна зміна ширини утвореного валка b_e подрібненої гички залежно від зміни вхідних факторів має прямий характер – зі збільшенням V_M , U_g і n_k ширина утвореного валка b_e подрібненої гички також збільшується, при цьому домінуючими факторами, які мають значний вплив на приріст параметра оптимізації є частота обертання шнека n_k та урожайність гички U_g коренеплодів кормових буряків.

За збільшення частоти обертання шнека n_k від 40 до 100 об/хв ширина утвореного валка b_e укладеної на поверхні ґрунту подрібненої гички збільшується в середньому на 0,7 м (рис. 4.10а), а за збільшення урожайності гички коренеплодів від 120 до 180 ц/га – в середньому на 0,5 м (рис. 4.10б).

Приріст ширини утвореного валка b_e укладеної на поверхні ґрунту подрібненої гички в межах збільшення швидкості руху гичкозбирального модуля V_M від 1,6 до 2,4 м/с незначний – середнє значення приросту b_e

знаходиться в межах $0,05 \dots 0,1$ м (рис. 4.10а, б, в).

З позиції системного аналізу технологічного процесу роботи сучасних самохідних коренезбиральних машин, які виконують однофазний спосіб збирання коренеплодів можна стверджувати, що доцільність експериментального дослідження ширини утвореного валка b_e укладеної на зібране поле шнековим конвеєром подрібненої гички коренеплодів регламентується забезпеченням технологічності роботи транспортних засобів, які задіяні для частково вивантаження зібраних коренеплодів з заповненого бункера коренезбиральної машини без її зупинки.

У цьому аспекті значення ширини утвореного валка b_e укладеної на зібране поле подрібненої гички є важливим технологічним показником технологічного процесу роботи гичкозбирального модуля, при цьому для забезпечення технологічності роботи транспортних засобів ширина утвореного валка b_e подрібненої гички не повинна бути більшою за міжосьову відстані рушіїв транспортного засобу або ширину транспортної колії B_m .

У більшості випадків і, як правило, ширина транспортної колії технологічного транспорту, який використовують під час збирання коренеплодів становить $B_m = 1,8$ м.

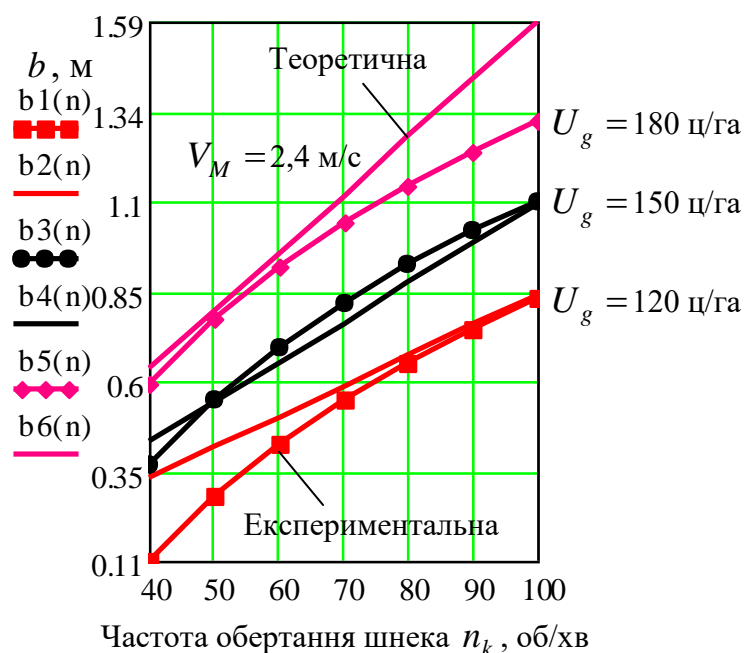


Рисунок 4.11 – Залежність зміни ширини утвореного валка b як функціонал $b = f_b(n_k)$

Тоді можна констатувати, що отриманні межі зміни теоретичних і експериментальних значень ширини утвореного валка подрібненої гички коренеплодів $b \leq 1,6$ м не перевищують ширину транспортної колії технологічного транспорту $B_m = 1,8$ м, тобто розкидана по поверхні зібраного поля подрібнена гичка не буде заважати нормальному переміщенню транспортного засобу (відсутність буксування рушіїв транспортного засобу).

Розбіжність експериментальних значень ширини утвореного валка b_e укладеної на зібране поле подрібненої гички, які побудовано згідно з рівнянням регресії (4.6) (залежності $b_1(n)$, $b_3(n)$, $b_5(n)$) та теоретичних значень b (залежності $b_2(n)$, $b_4(n)$, $b_6(n)$), одержаних на аналітичному рівні згідно з математичною моделлю (2.107) знаходиться у межах 5...10 %, рис. 4.11.

На основі цього можна стверджувати, що розроблена теоретична модель (2.77), яка функціонально описує зміну ширини утвореного валка b укладеної на зібране поле подрібненої гички залежно від конструктивно-кінематичних параметрів шнека та технологічних параметрів роботи гичкозбирального модуля у загальному контексті на аналітичному рівні адекватно, або в задовільній мірі описує реальний процес зміни ширини утвореного валка b_e укладеної на зібране поле подрібненої гички, яку отримано на емпіричному рівні згідно з рівняннями регресії (4.6).

4.4. Експериментальні дослідження процесу різання головок коренеплодів з використанням маятникового копра

Експериментальні дослідження процесу різання головок коренеплодів кормових буряків ножем, який встановлено на маятнику копра (рис. 3.5, рис. 3.6а, в) провели з метою визначення максимально можливої довжини різання L_d тіла коренеплодів залежно від початкової швидкості руху ножа, виконаного в двох варіантах: перший варіант виконання ножа – встановленого жорстко на маятнику копра під кутом $\alpha_p = 35^0$; другий варіант виконання ножа –

підпружиненого ножа, який встановлено на нерухомому вертикальному пальці з можливістю повороту на максимальний кут $\alpha_{p,max} = 35^{\circ}$.

Опис експериментальної установки наведено у підрозділі 3.1, а методику проведення експериментальних досліджень процесу різання головок коренеплідів з використанням маятнікового копра – у підрозділі 3.2 розділу 3 дисертаційної роботи.

Довжина маятника l копра під час проведення експериментів була постійною та становила $l = 0,55$ м (додаток В.5.2).

Результати реалізації план-матриці експериментальних досліджень двофакторного (в другому випадку) та однофакторного (в першому випадку) експерименту з визначення довжина різання, відповідно, L_{2d} , L_{1d} головки коренеплоду, або експериментальний масив даних наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Результати дослідження довжини різання L_d головки коренеплоду

ксп.	Фактори		Другий випадок, L_{2d} , см				Перший випадок, L_{1d} , см			
	, м/с V_M	k_n , Н/см	Повторності			L_{2cd}	Повторності			L_{1cd}
			L_{21d}	L_{22d}	L_{23d}		L_{11d}	L_{12d}	L_{13d}	
1	1,2	15	8,8	8,7	8,6	8,7	8,0	8,4	8,8	8,6
2	1,6	15	9,7	10,0	10,0	9,9	10,1	9,6	9,1	9,6
3	2,0	15	12,0	11,9	11,8	11,8	11,7	11,8	11,0	11,5
4	1,2	35	9,4	9,5	9,9	9,6				
5	1,6	35	13,0	12,8	12,3	12,7				
6	2,0	35	16,0	15,8	16,4	16,1				
7	1,2	55	10,3	11,0	10,2	10,5				
8	1,6	55	15,0	15,5	15,1	15,3				
9	2,0	55	18,8	18,1	18,3	18,4				

Обробку одержаного експериментального масиву даних, який наведено у табл. 4.6, трактування та аналіз отриманих результатів довжини різання L_{id} головки коренеплоду кормових буряків провели згідно з методикою, яку наведеною в пункті 3.4 розділу 3 дисертаційної роботи з використанням наведених залежностей (3.4)-(3.27).

Апроксимуючу функцію відгуку, або параметра оптимізації, тобто зміну довжини різання L_{id} головки коренеплоду, визначену експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі полінома другої степені

$$L_{2d} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12} + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2; \quad (4.7)$$

$$L_{1d} = b_0 + b_1x_1 + b_{11}x_1^2, \quad (4.8)$$

де L_{1d} , L_{2d} – довжина різання головки коренеплоду, см;

$b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти відповідних значень x_i ;

x_1, x_2, x_3 – відповідні кодовані фактори.

Невідомі значення коефіцієнтів рівняння регресії у вигляді функціонала $L_{2d} = f_{2L}(x_1; x_2)$, $L_{1d} = f_{1L}(x_1)$ у кодованих величинах визначали за формулами (3.7), а перехід від кодованих величин до натуральних, або визначення коефіцієнтів рівняння регресії апроксимуючої моделі $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$, $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$ у натуральних величинах – за формулами (3.1), (3.2).

Таблиця 4.7

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії зміни L_{1d} , L_{2d}

Позначення	Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії					
	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
$L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$	4,52	2,3	-0,08	0,18	-0,42	-0,001
$L_{1d} = f_{1L}(V_p)$	11	-5,38			2,81	

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії і перевірки адекватності моделі згідно з (3.9), (3.11) та переходу від кодованих позначень змінних факторів до натуральних, одержано рівняння регресії, яке характеризує зміну довжини різання L_{2d} , L_{1d} головки коренеплоду:

$$L_{2d} = 4,52 + 2,3V_p - 0,08k_n + 0,18V_p k_n - 0,42(V_p)^2 - 0,001(k_n)^2; \quad (4.9)$$

$$L_{1d} = 11,0 - 5,38V_p + 2,81(V_p)^2. \quad (4.10)$$

Отримані регресійні залежності (4.9) і (4.10) можуть бути використані для визначення довжини різання L_{2d} , L_{1d} головки коренеплоду згідно з апроксимуючою моделлю $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$ та $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$ у наступних межах зміни діапазону значень вхідних факторів: початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с; жорсткості пружини $15 \leq k_n \leq 55$ Н/см.

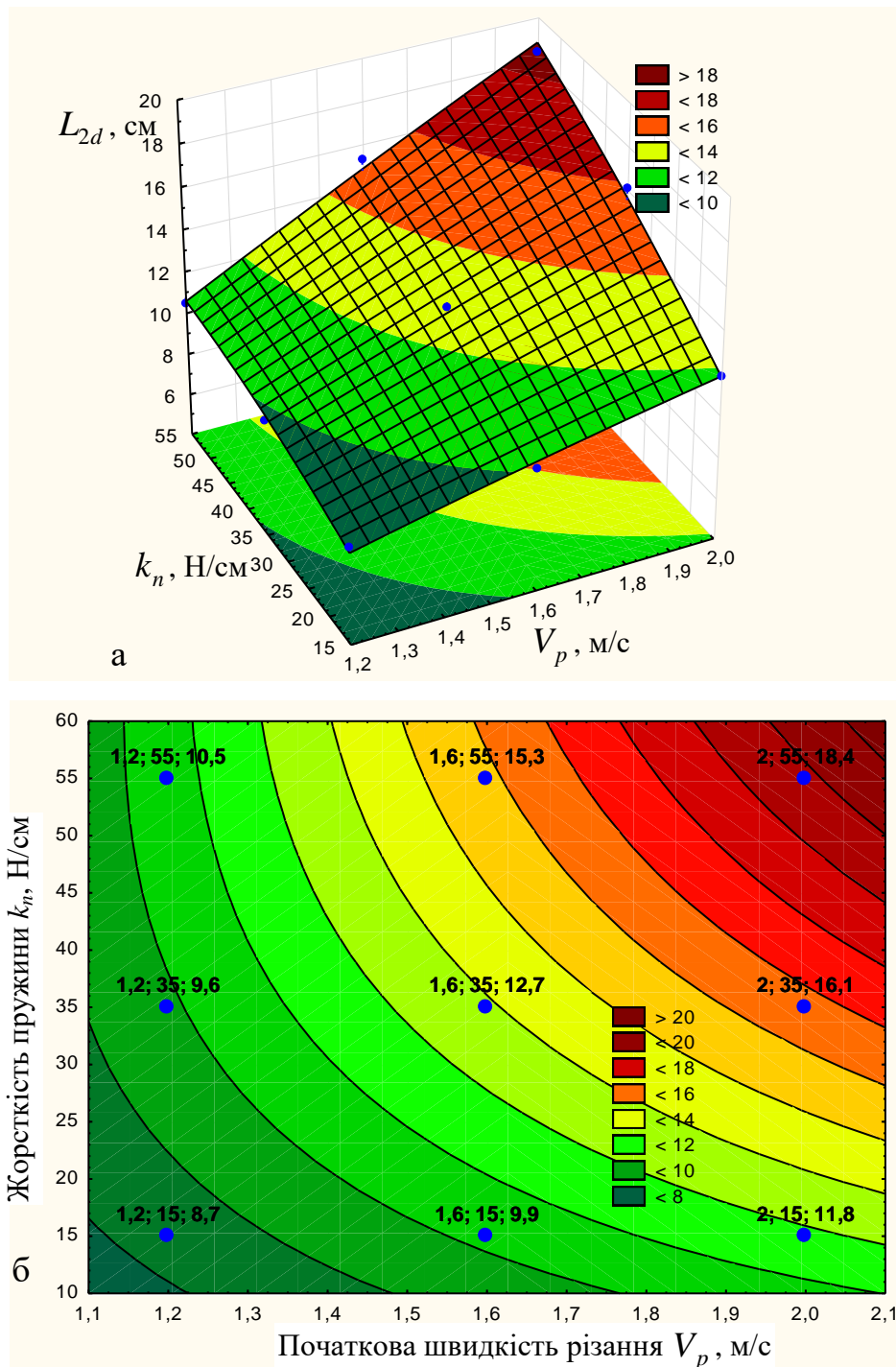


Рисунок 4.12 – Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку зміни довжини різання L_{2d} як функціонал $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$

На рис. 4.12 наведено поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку зміни довжини різання L_{2d} головок для другого варіанту виконання ножа (підпружиненого ножа, який встановленого на вертикальному пальці) як функціонал $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$, які побудовано згідно рівняння регресії (4.9).

Довжина різання L_{2d} головок коренеплодів кормових буряків у межах зміни діючих вхідних факторів $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с та $15 \leq k_n \leq 55$ Н/см у другому випадку змінюється в діапазоні від 8,7 до 18,4 см, що також характерно аналізу графічної інтерпретації, яку наведено на рис. 4.13а.

Довжина різання L_{1d} головок коренеплодів кормових буряків у межах зміни діючого вхідного фактора $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с у першому випадку змінюється в діапазоні від 8,6 до 11,5 см (рис. 4.13б) згідно з апроксимованою поліноміальною залежністю 1, яка найбільш адекватно описує функціональну залежність зміни $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$. При цьому в обох випадках виконання ріжучого ножа (у другому випадку – підпружиненого ножа, який встановленого на вертикальному пальці; у першому випадку – жорстко встановленого ножа, або серійного ножа) довжина різання L_{2d} та L_{1d} головок коренеплодів кормових буряків зростає зі збільшенням, як початкової швидкості різання V_p , так і жорсткості пружини k_n у другому випадку, що також адекватно характеру залежності зміни L_{2d} і L_{1d} , яку наведено на рис. 4.14.

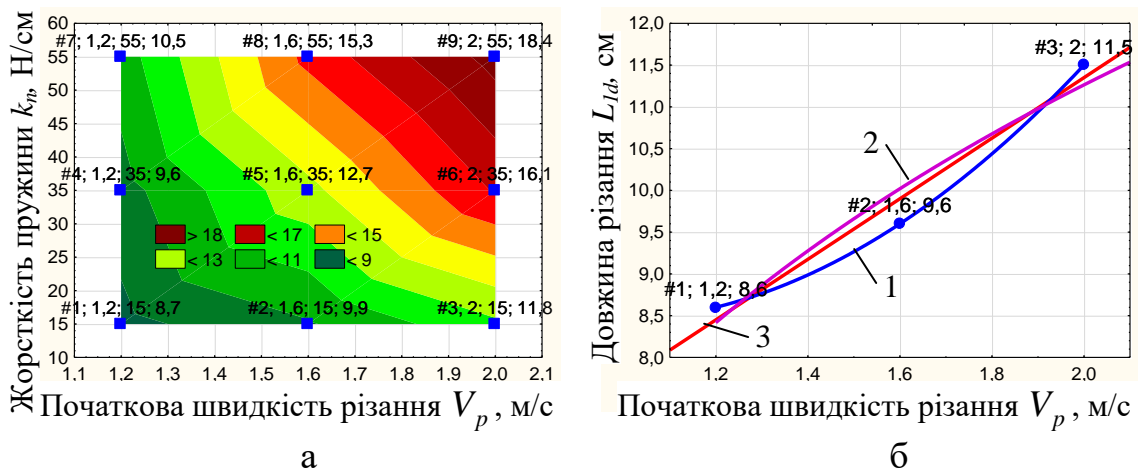


Рисунок 4.13 – Залежності зміни довжини різання головок коренеплодів:

а – зміна проекції L_{2d} від V_p і k_n ; б – апроксимація залежності

зміни L_{1d} як функціонал $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$: 1 – поліноміальна;

2 – логарифмічна; 3 – лінійна

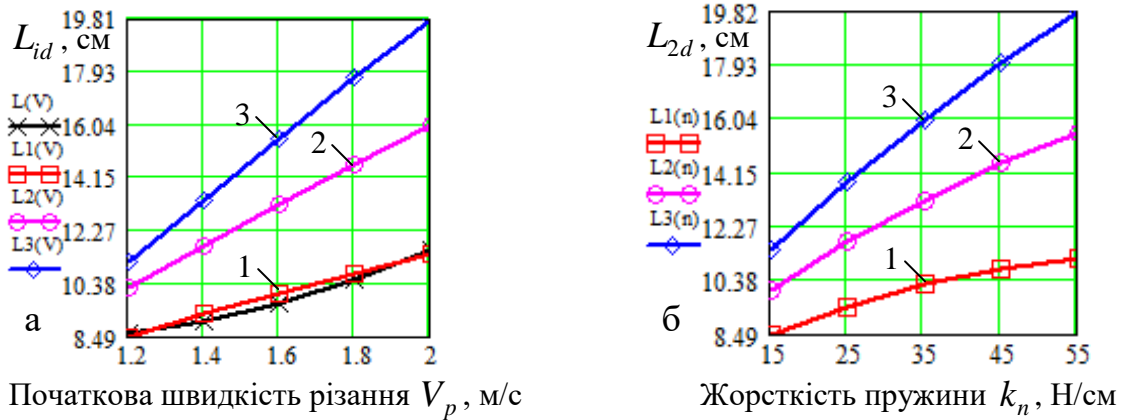


Рисунок 4.14 – Залежність зміни довжини різання головок коренеплодів:

а – від початкової швидкості різання V_p : $L(V)$ – як функціонал

$L_{1d} = f_{1L}(V_p)$, $L1(V)$ - $3(V)$ – $L_{2d} = f_{2L}(V_p)$, 1, 2, 3 – за $k_n = 15, 35, 55$ Н/см;

б – від жорсткості пружини k_n як функціонал $L_{2d} = f_{2L}(k_n)$,

1, 2, 3 – за $V_p = 1,2; 1,4; 2,0$ м/с

На основі порівняльного графічного аналізу встановлено, що за значення жорсткості пружини $k_n = 15$ Н/см довжина різання головок коренеплодів для обох випадків конструктивного виконання ріжучого ножа практично однакова та становить 8,5...11,5 см в межах зміни початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с (рис. 4.14а, залежності $L(V)$ і $L1(V)$), при цьому за жорсткості пружини k_n в межах від 15 до 35 Н/см та початкової швидкості різання V_p в межах від 1,2 до 1,4 м/с довжина різання не перевищує 12 см (рис. 4.12).

В зв'язку з цим можна констатувати, що застосування пружини жорсткістю $k_n \leq 35$ Н/см за початкової швидкості різання $V_p \leq 1,6$ м/с для збільшення швидкості різання головок коренеплодів або довжини різання L_d є практично не раціональним, тому що у вказаних межах зміни жорсткості пружини $15 \leq k_n \leq 35$ Н/см та початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 1,6$ м/с довжина різання L_d головок коренеплодів практично однакова та не перевищує 12 см. Ефективне підсилення швидкості різання головок коренеплодів відбувається за жорсткості пружини $k_n > 35$ Н/см.

4.5. Експериментальні дослідження вдосконаленого обрізника залишків гички та результати порівняльних досліджень гичкозбирального модуля

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

Технологічну ефективність застосування модернізованої конструкції обрізника залишків гички, який було встановлено на гичкозбиральний модуль, реалізовано на основі проведення польових досліджень двох типів обрізників: серійного, який виконано за типом «пасивний копір-пасивний ніж»; удосконаленого обрізника у конструкції якого ніж виконано підпружиненим, а копір встановлено на амортизаторі удару, який являє собою пружну пластину, встановлену між перами та підвіскою копіра (рис. 3.2д, ж, з та рис. 3.Г.1.1 додатка Г.1.1).

Технічну характеристику польових установок наведено у додатку Г.1.1, а умови проведення порівняльних досліджень та загальну характеристику залікової ділянки поля і сорту кормових буряків у табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2 додатка Г.2.2.

На першому етапі провели польові порівняльні експериментальні дослідження другого та третього типів конструктивного виконання удосконаленого обрізника залишків гички коренеплодів, які відрізнялися один від одного конструкцією копіра. У першому випадку на копіри встановлено амортизатор, який виконано у вигляді пружної пластини (рис. 4.15б, зона І), а в другому – копір виконано без амортизатора, при цьому в обох випадках ніж обрізника був підпружиненим.

Конструктивну схему удосконаленого обрізника залишків гички коренеплодів наведено на рис. 1.31.

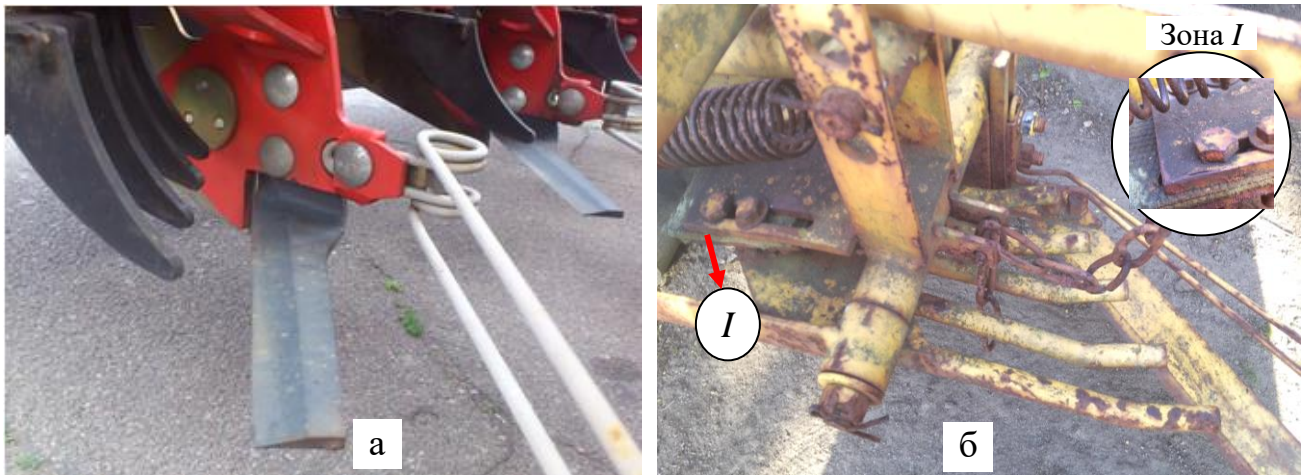


Рисунок 4.15 – Загальний вигляд обрізників залишків
гички: а – серійного; б – удосконаленого

Під час дослідження другого типу конструктивного виконання копіра обрізника, амортизатор було демонтовано з кронштейна механізму навіски пасивного гребінчастого копіра.

Метою проведення таких досліджень було встановлення закону функціонального розподілу значень випадкових величин кількості вибитих коренеплодів кормових буряків з ґрунту V_i та кількості пошкоджених коренеплодів $П_i$ для двох типів конструктивного виконання обрізника залишків гички, або для першого та другого випадку виконання гребінчастого копіра.

Реалізацію даних досліджень здійснено на основі проведення обробки експериментального масиву генеральної вибірки (додаток Д.4.5) згідно зі стандартною методикою. Кількість вимірів значення вибитих коренеплодів з ґрунту V_i і кількості пошкоджених коренеплодів $П_i$ у відсотках від загальної кількості коренеплодів визначали з об'єму вибірки, який становив $Z_k = 100$, при цьому кількість повторності (кількість проб) становила $N = 29$, або три повторності експерименту типу ПФЕ 3^2 .

Після обробки одержаних значень генеральної вибірки проведених експериментів побудовано гістограми та полігон розподілення частот випадкових величин для двох випадків конструктивного виконання копіра (рис. 4.16, 4.17).

Графічні побудови характеризують функціональну залежність розподілення випадкових величин, або емпіричний закон розподілення кількості вибитих

коренеплодів з ґрунту B_i (рис. 4.16) та кількості пошкоджених коренеплодів Π_i (рис. 4.17) робочими органами обрізника залишків гички на основі обробки генеральної вибірки.

Аналіз побудованих гістограм і полігону щільності розподілення випадковості процесу пошкодження коренеплодів і вивалювання їх з ґрунту робочими

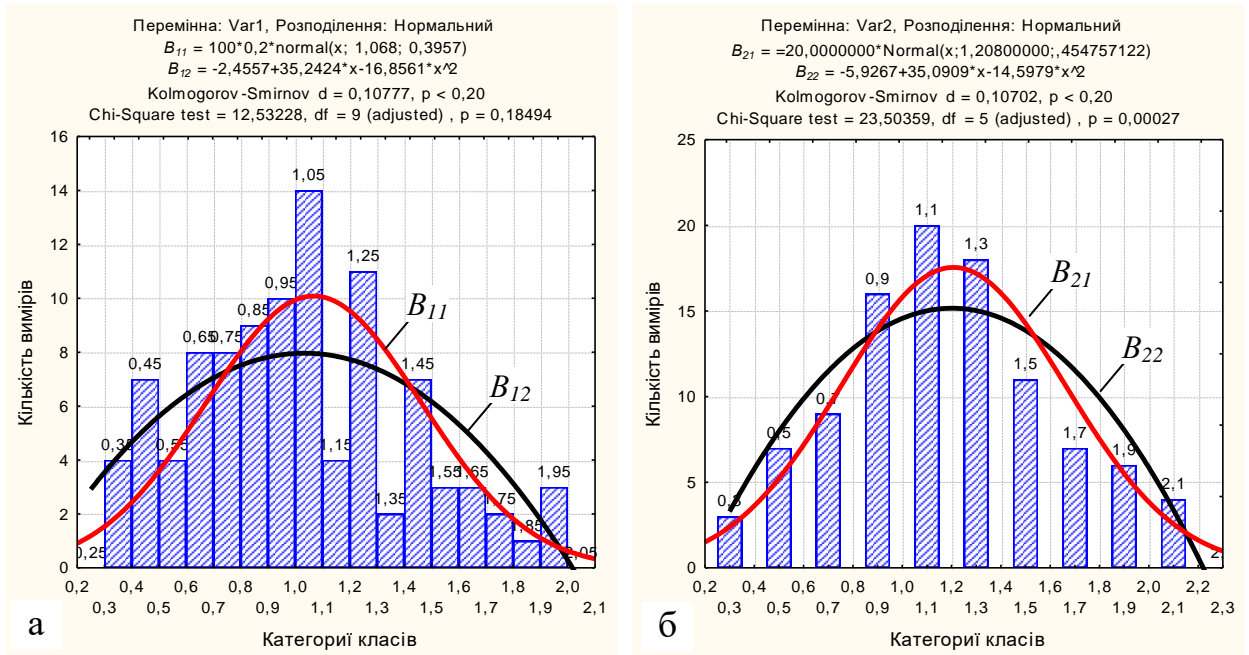


Рисунок 4.16 – Гістограма та полігон щільності розподілення вибитих коренеплодів з ґрунту: а – з амортизатором; б – без амортизатора

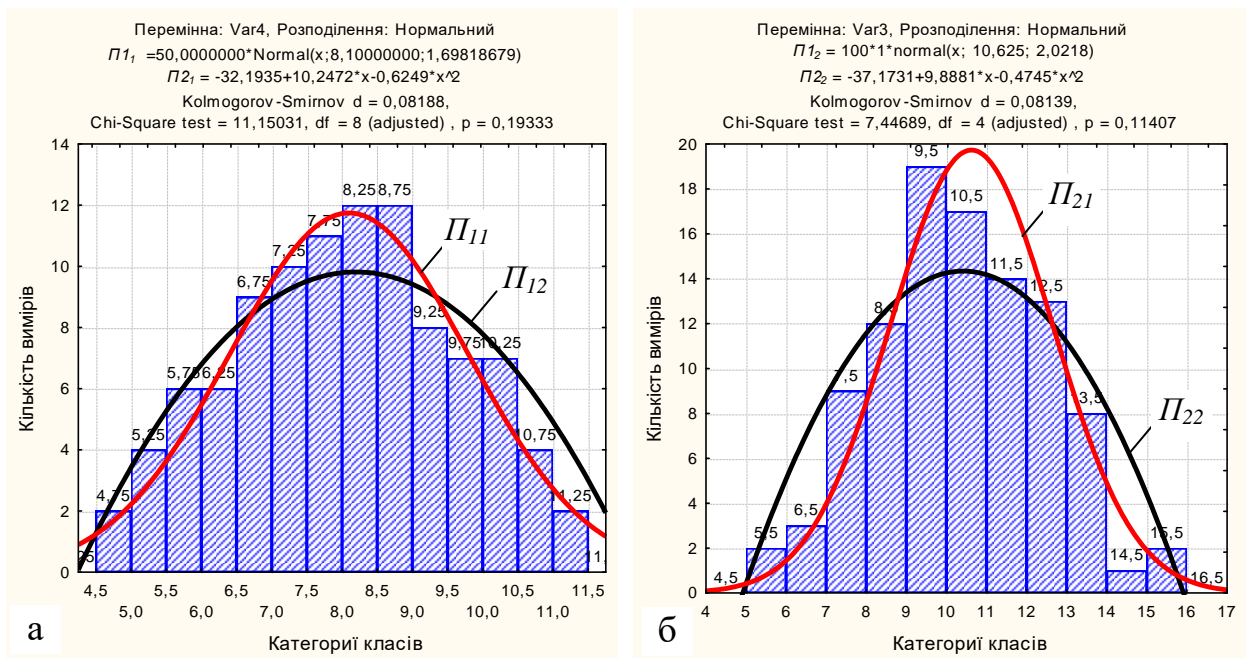


Рисунок 4.17 – Гістограма та полігон щільності розподілення пошкоджених коренеплодів: а – з амортизатором; б – без

органами обрізника показує, що диференційний закон щільності розподілення B_i і Π_i близький до нормального та описується, відповідно, кривою B_{11} і B_{21} (рис. 4.16) та кривою Π_{11} і Π_{21} (рис. 4.17).

Безпосередньо диференційний закон вірогідності щільності розподілення в загальному випадку регламентується залежністю

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2}, \quad (4.11)$$

де σ_i – середнє квадратичне відхилення i -го параметра відповідного діапазону кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та пошкоджених коренеплодів;

μ_i – математичне сподівання i -го параметра відповідного діапазону кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та пошкоджених коренеплодів.

Числові значення σ і μ для кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та пошкоджених коренеплодів наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8.

Числові значення σ і μ

	B_{11}	B_{21}	Π_{11}	Π_{21}
σ	1,21	1,07	10,63	8,1
μ	0,46	0,4	2,02	1,7

Перевірку адекватності зміни випадкової величини емпіричному нормальному закону розподілення, як для кількості вибитих коренеплодів з ґрунту, так і для кількості пошкоджених коренеплодів провели за критерієм відповідності $K(\lambda)$ Колмогорова-Смірнова.

Таким чином, одержані залежності, які описують диференційний закон вірогідності щільності розподілу кількості вибитих коренеплодів з ґрунту для двох випадків конструктивного виконання копіра обрізника:

- вибитих коренеплодів з ґрунту з використанням амортизатора

$$B_{11} = f(x_{2B}) = \frac{1}{1,21 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{2B} - 0,46}{1,21} \right)^2}; \quad (4.12)$$

- вибитих коренеплодів з ґрунту без використання або амортизатора

$$B_{21} = f(x_{1B}) = \frac{1}{1,07\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x_{1B}-0,4}{1,107}\right)^2}; \quad (4.13)$$

- пошкоджених коренеплодів з ґрунту з використання амортизатора

$$П_{12} = f(x_{2П}) = \frac{1}{10,63\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x_{2П}-2,02}{10,63}\right)^2}; \quad (4.14)$$

- пошкоджених коренеплодів з ґрунту без амортизатора

$$П_{12} = f(x_{1П}) = \frac{1}{8,1\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x_{1П}-1,7}{8,1}\right)^2}. \quad (4.15)$$

Встановлено, що кількість вибитих коренеплодів з ґрунту для першого випадку зі значенням $B_{11} > 1,5\%$ і для другого випадку зі значенням $B_{21} > 1,5\%$ конструктивного виконання копіра обрізника головок коренеплодів складає, відповідно, 12 і 23 випадки (рис. 4.18), тобто кількість вибитих коренеплодів з ґрунту з застосуванням амортизатора зменшується приблизно у 2 рази.

Кількість пошкоджених коренеплодів для першого випадку зі значенням $П_{11} > 10,0\%$ і для другого випадку зі значенням $П_{21} > 10,0\%$ конструктивного виконання копіра обрізника головок коренеплодів складає, відповідно, 13 і 55 випадків (рис. 4.19), тобто кількість вибитих коренеплодів з ґрунту з застосуванням амортизатора зменшується приблизно у 4 рази.

Закономірності зміни встановлених показників кількості вибитих коренеплодів з ґрунту B_{11} і B_{21} та пошкоджених коренеплодів $П_{11}$ і $П_{21}$ також підтверджено діаграмами щільності розподілення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та пошкоджених коренеплодів, які наведено на рис. 4.18 і рис. 4.19.

На другому етапі провели експериментальні дослідження з визначення пошкодження коренеплодів P_{ke} і кількості вибитих коренеплодів B_{ke} з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля на основі реалізації

двофакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами, або планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3^2 , схему моделі якого наведено на рис. 3.5.

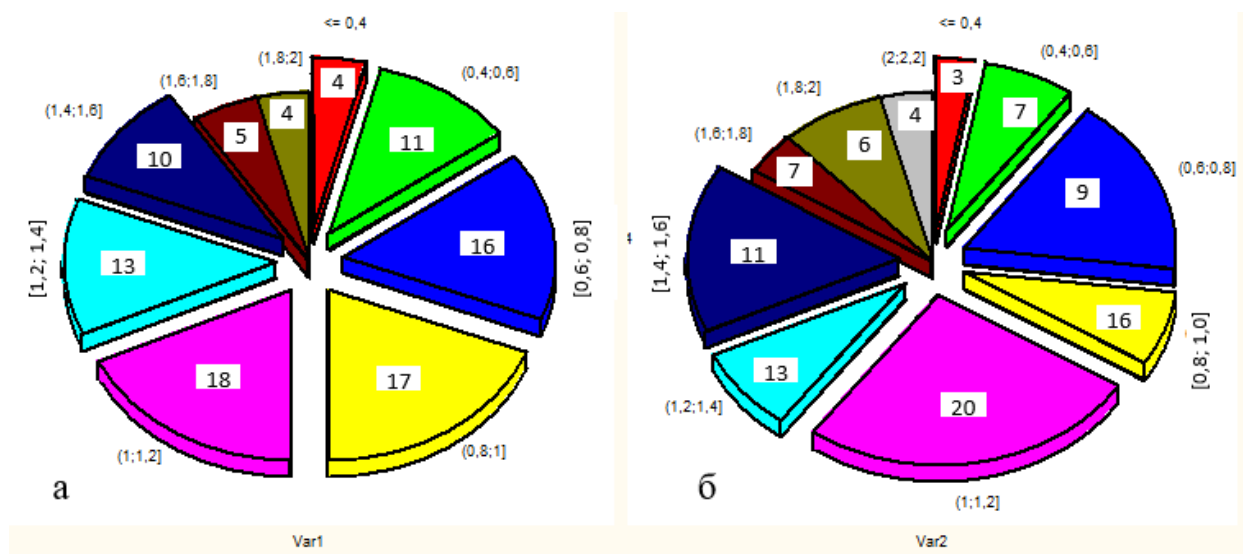


Рисунок 4.18 – Діаграма щільності розподілення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту: а – з амортизатором; б – без амортизатора

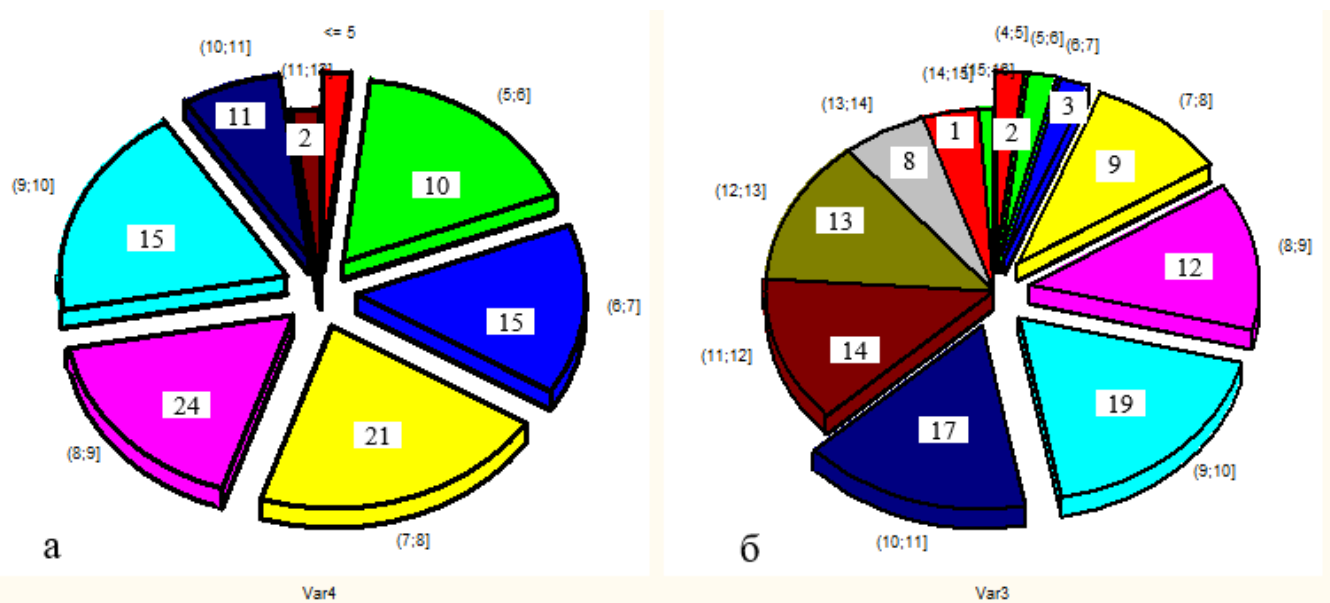


Рисунок 4.19 – Діаграма щільності розподілення кількості пошкоджених коренеплодів: а – з амортизатором; б – без амортизатора

Методика проведення експериментальних досліджень з визначення пошкодження коренеплодів P_{ke} і кількості вибитих коренеплодів B_{ke} з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля наведена у пункті 3.3 розділу 3 дисертаційної роботи.

Значення рівнів варіювання та характеристики факторів наведено у табл. 3.5, а послідовність проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 (табл. 2.Г.4.2 додатка Г.4.2).

У процесі дослідження першого типу конструктивного виконання обрізника головок коренеплодів, амортизатор удару або пружну прокладку 22 (рис. 3.2д, ж, з) демонтували з кронштейна 17 паралелограмного механізму 16 навіски пасивного гребінчастого копіра 18, а між пластини 20 і 21 кронштейна встановлювали металеву пластину, а поворот ножа 19 фіксували упором.

Результати проведення експериментальних досліджень з визначення пошкодження коренеплодів P_{ke} і кількості вибитих коренеплодів B_{ke} з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля, або експериментальний масив даних наведено у додатку Д.4.3 і додатку Д.5.3. При цьому досліджували емпіричні залежності, які функціонально описують зміну пошкодження коренеплодів P_{ke} і кількості вибитих коренеплодів B_{ke} з ґрунту робочими органами від одночасної зміни двох вхідних факторів – швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M та висоти розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту h_k у вигляді функції $P_{ke}; B_{ke} = f_{P(B)}(\mathcal{G}_M, h_k)$.

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

$$P_{ike}; B_{ike} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12} + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (4.16)$$

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

x_1, x_2 – кодовані фактори.

Після обробки масиву експериментальних даних P_{ke} і B_{ke} , проведеної за стандартною методикою, визначали невідомі коефіцієнти рівняння регресії за першою, другою, третьою та четвертою формулами (3.10).

Отримані значення коефіцієнтів рівняння регресії наведено у табл. 4.9.

Таблиця 4.9.

Значення коефіцієнтів рівняння регресії під час дослідження пошкодження коренеплодів P_{ke} і кількості вибитих коренеплодів B_{ke} з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля

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

Перевірку адекватності вибраної моделі (4.16), яку записано у вигляді функції $P_{ke}; B_{ke} = f_{P(B)}(\mathcal{G}_M, h_k)$, або ймовірної відповідності отриманого емпіричного розподілу випадкових величин реальному експериментальному масиву даних, проводили за F -критерієм Фішера згідно з формулою (3.12). При цьому табличне значення F -критерію Фішера позначили як $F_T(0,05; f_{ag}; f_u)$, де 0,05 означає 5 % рівень значущості (рівний $1-\alpha$, де α - довірча ймовірність). Статистичну значимість розрахованих коефіцієнтів b_i , b_{ij} , b_{ii} рівнянь регресії з визначення пошкодження коренеплодів P_{ke} і кількості вибитих коренеплодів з ґрунту робочими органами гичкозбирального модуля B_{ke} , визначали за t -критерієм Стюдента згідно з положеннями та згідно з формулою (3.12).

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

Результати статистичних розрахунків обробки експериментального масиву даних з визначення P_{ke} і B_{ke} наведено у додатку Д.6.3.

Отримано рівняння регресії у натуральних величинах, які функціонально описують зміну пошкодження коренеплодів P_{ke} і кількість вибитих коренеплодів B_{ke} з ґрунту робочими органами від загальної маси коренеплодів однієї проби у вигляді функції $P_{1ke} = f_P(\mathcal{G}_M, h_k)$, $P_{2ke} = f_P(\mathcal{G}_M, h_k)$, $B_{1ke} = f_B(\mathcal{G}_M, h_k)$ і $B_{2ke} = f_B(\mathcal{G}_M, h_k)$ у межах зміни діючих факторів (швидкість руху гичкозбирального модуля $1,6 \leq \mathcal{G}_M \leq 2,2$ м/с, висота розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту $3,0 \leq h_k \leq 9,0$ см), мають вигляд:

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

$$\left. \begin{aligned} P_{1ke} &= -0,8 + 3,3\mathcal{G}_M - 1,8h_k + 0,6\mathcal{G}_M h_k - 1,1\mathcal{G}_M^2 + 0,1h_k^2; \\ P_{2ke} &= 6,5 - 3,9\mathcal{G}_M - 1,7h_k + 0,4\mathcal{G}_M h_k + 0,7\mathcal{G}_M^2 + 0,1h_k^2 \end{aligned} \right\}; \quad (4.17)$$

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

$$\left. \begin{aligned} B_{1ke} &= 15,9 - 12,3\mathcal{G}_M - 2,9h_k + 0,4\mathcal{G}_M h_k + 4,6\mathcal{G}_M^2 + 0,4h_k^2; \\ B_{2ke} &= -5,7 + 5,1\mathcal{G}_M - 1,9h_k + 1,1\mathcal{G}_M h_k - 0,4\mathcal{G}_M^2 + 0,1h_k^2 \end{aligned} \right\}. \quad (4.18)$$

На рис. 4.20 і рис. 4.21 наведено поверхню відгуку та її двомірний переріз, які побудовано згідно з рівняннями регресії (4.17) і (4.18). Графічні залежності характеризують і функціонально описують зміну P_{ke} і B_{ke} з для двох типів конструктивного виконання обрізника залишків гички з головок коренеплодів залежно від швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M та висоти розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту h_k в таких межах зміни вхідних факторів : $1,6 \leq \mathcal{G}_M \leq 2,2$ м/с; $3,0 \leq h_k \leq 9,0$ см.

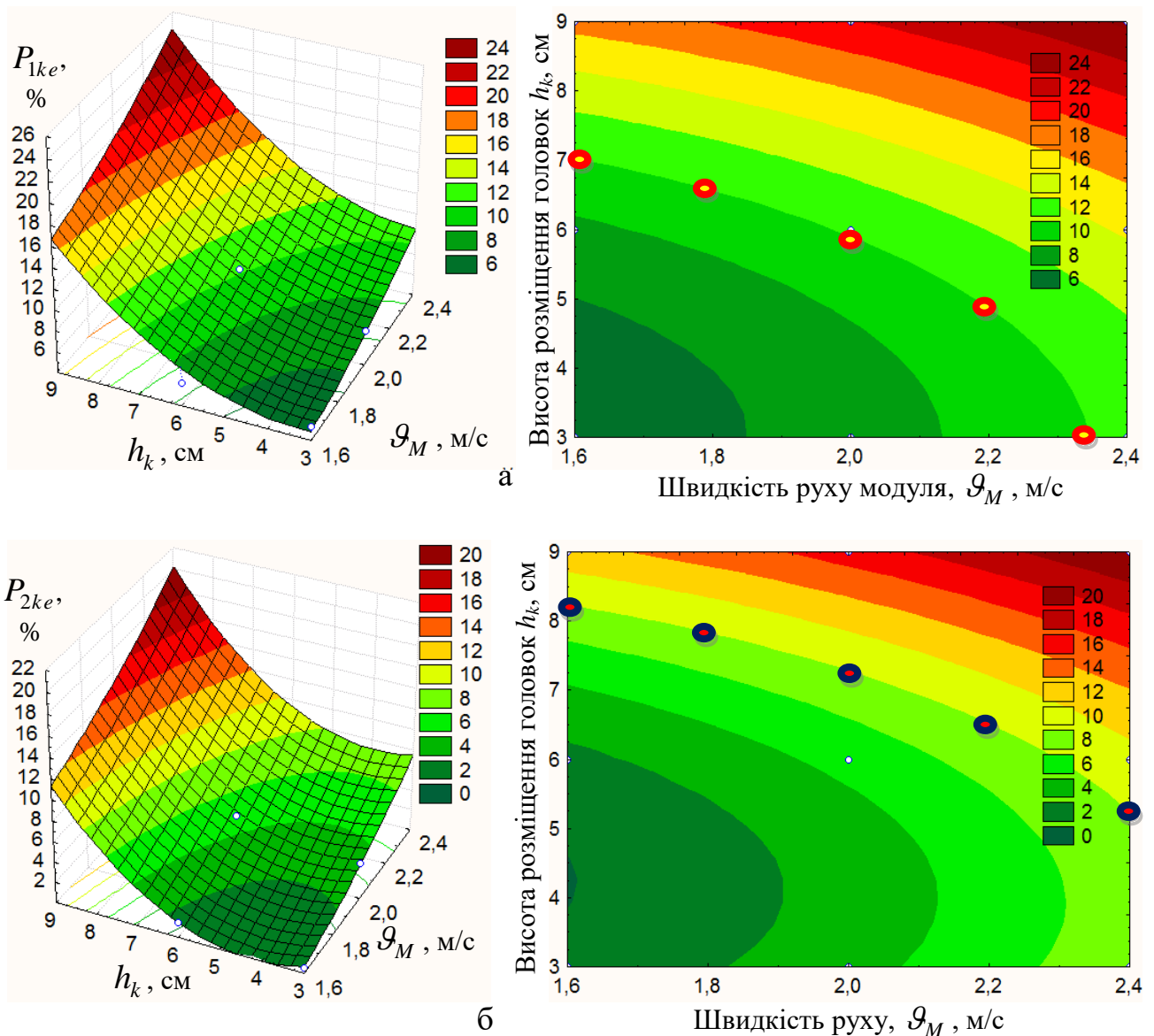


Рисунок 4.20 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз пошкодження коренеплодів як функція: а – $P_{1ke} = f_P(\mathcal{G}_M, h_k)$; б – $P_{2ke} = f_P(\mathcal{G}_M, h_k)$

Аналіз отриманих рівнянь регресії (4.17), які функціонально описують характер зміни пошкодження коренеплодів P_{1ke} серійним обрізником головок і пошкодження коренеплодів P_{2ke} удосконаленим обрізником головок коренеплодів гичкозбирального модуля і побудованих згідно з ними поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів (рис. 4.20) показує, що закономірність, або характер зміни P_{1ke} і P_{2ke} однаковий – зі збільшенням швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M та висоти розташування коренеплодів h_k відносно рівня поверхні ґрунту, пошкодження коренеплодів збільшуються для двох випадків.

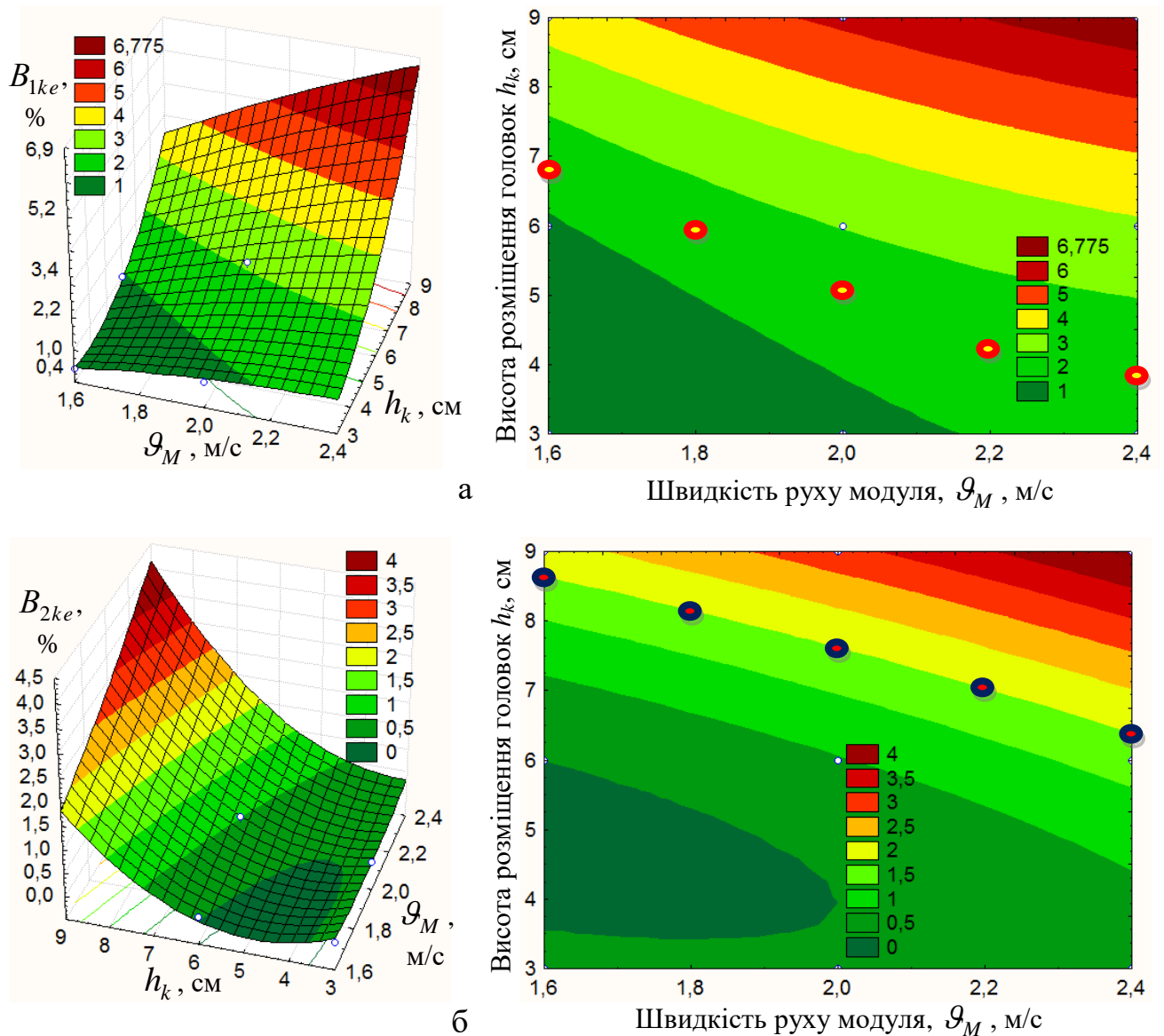


Рисунок 4.21 – Поверхня відгуку та її двомірний переріз кількості вибитих коренеплодів з ґрунту як функція: а – $B_{1ke} = f_B(G_M, h_k)$; б – $B_{2ke} = f_B(G_M, h_k)$

Найбільші числові значення пошкодження коренеплодів кормових буряків спостерігаються у серійного обрізника головок коренеплодів, виконаного за типом «пасивний копір-пасивний ніж», при цьому значення пошкодження P_{1ke} знаходяться у діапазоні $P_{1ke} = 6,0...24,0$ %, рис. 4.21а. Відповідно, для обрізника у якого ніж виконано підпружиненим, а копір встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної прокладки пошкодження коренеплодів кормових буряків знаходяться у діапазоні $P_{2ke} = 2...20$ % (рис. 4.21б), що менше за нижній рівень P_{1ke} у три рази.

Домінуючим фактором, який впливає на показник функціональної зміни пошкодження коренеплодів, як у серійного P_{1ke} , так і удосконаленого P_{2ke} обрізника головок коренеплодів є висота h_k розташування головок коренеплодів відносно рівня поверхні ґрунту (рис. 4.20). У межах збільшення висоти h_k розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту від 3 до 9 см пошкодження коренеплодів P_{1ke} і P_{2ke} робочими органами серійного та удосконаленого обрізника, або двох конструкцій виконання ріжучого ножа та копіра обрізника головок коренеплодів (серійного плоского ножа і гребінчастого копіра та підпружиненого плоского ножа та гребінчастого копіра, встановленого на амортизаторі удару) збільшуються у приблизно в середньому у 2,5...3,0 рази.

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

На основі проведеного аналізу рівнянь регресії (4.20) та побудованих згідно з ними поверхонь відгуку і їх двомірних перерізів (рис. 4.21) встановлено, що характер зміни кількості вибитих коренеплодів з ґрунту B_{1ke} серійного обрізника та B_{2ke} удосконаленого обрізника головок коренеплодів кормових буряків ідентичний – зі збільшенням швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M та висоти розташування коренеплодів h_k відносно рівня поверхні ґрунту, значення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту, як для серійного B_{1ke} , так і для удосконаленого B_{2ke} обрізника збільшуються, рис. 4.21.

Найбільша кількість вибитих з ґрунту коренеплодів кормових буряків спостерігається у серійного обрізника, значення яких знаходяться у діапазоні

$B_{1ke} = 1,0 \dots 6,7$ % (рис. 4.21а), а мінімальні значення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту $B_{2ke} = 0,5 \dots 3,9$ % (рис. 4.21б), отримано для удосконаленого обрізника у якого ніж виконано підпружиненим, а копір жорстко встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної гумової прокладки.

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

За збільшення висоти h_k розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту від 3 до 9 см кількість вибитих коренеплодів кормових буряків з ґрунту робочими органами серійного обрізника B_{1ke} та удосконаленого обрізника B_{2ke} , або для обох типів виконання ріжучого ножа та гребінчастого копіра обрізника гичкозбирального модуля збільшується у середньому в 2,5...4,5 рази, рис. 4.21.

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

Польові дослідження модернізованого гичкозбирального модуля провели з метою встановлення технологічної ефективності процесу роботи удосконалених робочих органів загалом або показників якості роботи порівняно з показниками базової машини. Польові порівняльні дослідження базового та модернізованого гичкозбирального модуля проводили в однакових польових умовах і згідно з методикою, яку наведено у підрозділі 3.3 розділу 3.

Технічна характеристика конструктивно-кінематичних параметрів удосконаленого і базового гичкозбирального модуля наведена у додатку Д 7.3. Умови проведення порівняльних польових досліджень базового та удосконаленого гичкозбиральних модулів і загальна характеристика плантації насаджень коренеплодів кормових буряків наведено у табл. 1.Г.5.2 та табл. 2.Г.5.2. додатка Г.5.2..

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

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

Технологічний процес зрізування залишків гички з головок коренеплодів удосконаленим обрізником передбачає наступне: гребінчастий копір обрізника головок коренеплодів наїжджає на головку коренеплодів, копіює головки коренеплодів і за допомогою паралелограмної шарнірної підвіски передає це переміщення гребінчастого копіра підпружиненому ножу. Ніж, рухаючись по головці коренеплодів, лезом ріжучої кромки обрізує головку коренеплодів на заданій висоті зрізу, виконуючи різання методом ковзання. Крім того, під час зустрічі копіра з головкою коренеплодів відбувається ударна взаємодія робочої поверхні гребінчастого копіра та головки, що призводить до їх вивалювання з ґрунту, або пошкодження. Завдяки виконанню гребінчастого копіра пружним, або наявності амортизатора удару, виконаного у вигляді гумової прокладки, сила удару гребінчастого копіра значно зменшується за рахунок того, що частина енергії удару витрачається на деформацію амортизатора або гумової прокладки. При цьому ця частина сили удару не передається на шарнірні з'єднання паралелограмної шарнірної навіски і копіру. Це знижує вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження.

Таким чином, заміна процесу рублення головок коренеплодів процесом різання з проковзування леза ріжучої кромки ножа відносно головок коренеплодів і наявності амортизатора удару (гумової прокладки) покращує якість обрізування головок за рахунок значного зменшення кількості їх сколів і вивалювання коренеплодів кормових буряків з ґрунтового середовища.

Основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри удосконаленого гичкозбирального модуля, які були встановлені під час проведення польових порівняльних досліджень вибирали на основі проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень: робоча швидкість руху гичкозбирального модуля – 1,7 м/с; частота обертання ротора гичкоріза – 600 об/хв; діаметр ротора гичкоріза – 0,6 м; діаметр гвинтового конвеєра – 0,3 м; частота обертання гвинтового конвеєра – 170 об/хв.

Таблиця 4.10

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

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

* - показники якості роботи визначено відносно маси коренеплодів однієї проби; АТВ – агротехнічні вимоги до гичкозбиральних машин

Показники якості виконання технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків під час проведення польових порівняльних досліджень наведено в табл. 4.9.

Встановлено, що значення всіх основних показників якості роботи, які отримано під час збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем значно нижчі за аналогічні показники базового гичкозбирального модуля, окрім показників низького зрізування головок коренеплодів, де значення практично однакові для обох машин – 0,2 і 0,3 %.

При цьому показник нормального зрізу головок коренеплодів кормових буряків під час збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем більший відносно базового модуля на 4,6 %, а залишків гички на головках коренеплодів менше приблизно у 1,6 рази, відповідно, 1,8 % в удосконаленого гичкозбирального модуля та 2,9 % у базового. Це дозволяє збільшити термін зберігання кормових буряків і підвищити якість приготування корму для згодовування тваринам.

Крім того кількість коренеплодів із косим зрізом головок коренеплодів кормових буряків під час збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем порівняно з базовим зменшується приблизно у 1,8 рази, відповідно, з 7,1 % у базового до 3,9 % у удосконаленого. Відповідно, значення цих показників адекватно відображають значення показників обрізаної маси головок коренеплодів із гичкою, або з її залишками – даний показник зменшується приблизно в 1,2 рази, або 2,7 % в удосконаленого гичкозбирального модуля проти 3,0 % у базового. Це дозволяє зменшити втрати маси коренеплодів кормових буряків, яку зрізано разом з гичкою.

Значне зменшення кількості вибитих коренеплодів кормових буряків з ґрунтового середовища під час збирання гички удосконаленим гичкозбиральним модулем – з 1,4 % у базового до 1,0 % у модернізованого, або у 1,4 рази досягається за рахунок удосконалення конструктивного виконання

обрізника залишків гички з головок коренеплодів, або підпружиненням ріжучого ножа та можливості його повороту на деякий кут під час процесу різання головок і встановленням амортизатору удару, виконаного у вигляді пружної гумової прокладки. Це забезпечує виконання процесу різання головки з проковзуванням леза ножа відносно площини зрізу на відміну від процесу «рублення» ножем базового гичкозбирального модуля та наявності пружного амортизатора) та зменшення вибивання коренеплодів з ґрунту, що є передумовою подальшого зменшення втрат коренеплодів під час їх викопування коренезбиральною машиною.

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

Із порівняльного аналізу показників якості виконання технологічного процесу збирання гички (табл. 4.10) можна цілком стверджувати, що застосування розробленої конструкції удосконаленого гичкозбирального модуля дозволяє значно підвищити агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу збирання гички коренеплодів кормових буряків відносно показників базового гичкозбирального модуля.

4.6. Висновки до розділу

За результатами проведених польових експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

4.4.1. Основний масив апроксимованих експериментальних значень секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра знаходиться приблизно у діапазоні від 9 до 30 кг/с залежно від і зміни швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,6 до 2,2 м/с, густоти насаджень коренеплодів від 70 до 110 тис. шт./га, інтервалу зменшення врожайності гички від 3 до 7 ц/га.

Розбіжність експериментальних і теоретичних значень секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра становить 8...12 %.

4.4.2. На основі аналізу експериментальних досліджень встановлено, що за одночасного збирання коренеплодів з 6 рядків і меж зміни швидкості руху гичкозбирального модуля 1,6...2,2 м/с та урожайності гички 85 ц/га, продуктивність гвинтового конвеєра знаходиться у діапазоні 12...33 кг/с.

Розбіжність експериментальних і теоретичних значень продуктивності гвинтового конвеєра становить 5...10 %.

4.4.3. Найбільші пошкодження та кількість вибитих коренеплодів з ґрунту спостерігається у серійного обрізника, який виконаного за типом «пасивний копір-пасивний ніж» значення яких знаходяться у діапазоні 6...24 % та 1,0...6,7 %.

Мінімальні значення пошкодження та кількості вибитих коренеплодів з ґрунту, які дорівнюють 2...20 % та 0,5...3,9 % отримано для обрізника, у якого ніж виконаний підпружиненим, а копір жорстко встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної прокладки.

4.4.4. У межах збільшення висоти розташування коренеплодів h_k відносно рівня поверхні ґрунту від 3 до 9 см пошкодження та кількість вибитих коренеплодів з ґрунту робочими органами двох типів виконання обрізника збільшуються у середньому в 2,5...3,0 рази та у 2,5...4,5 рази.

4.4.5. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що кількість коренеплодів із косим зрізом головок в удосконаленого гичкозбирального модуля порівняно з базовим зменшується приблизно у 1,8 рази, кількість вибитих коренеплодів з ґрунту – з 1,4 до 1,0 (%), або у 1,4 рази, а кількість пошкоджень коренеплодів – приблизно у 1,3 рази, при цьому сильнопошкоджених коренеплодів менше приблизно у 1,5 рази.

4.4.6. За результатами досліджень встановлено, що раціональні параметри робочих органів гичкозбирального модуля будуть: діаметр шнека 0,3 м; частота обертання шнека 170 об/хв; крок першого спірального витка шнека 0,15 м;

інтервал зміни кроку 0,05 м; робоча довжина активного ножа 0,3 м; швидкість руху активного ножа 0,5 м/с.

4.6.7. У межах варіювання вхідних факторів, швидкості руху модуля $1,6 \leq V_M \leq 2,4$ м, урожайності гички коренеплодів $120 \leq U_g \leq 180$ ц/га і частоти обертання шнека $40 \leq n_k \leq 100$ об/хв ширина утвореного валка b_e подрібненої гички знаходиться в діапазоні від 0,5 до 1,4 м.

Розбіжність експериментальних і теоретичних значень ширини утвореного валка b_e знаходиться у межах 5...10 %.

4.6.8. Застосування пружини жорсткістю $k_n \leq 35$ Н/см за початкової швидкості різання $V_p \leq 1,6$ м/с для збільшення швидкості різання головок коренеплодів або довжини різання L_d є практично не раціональним, тому що у межах зміни жорсткості пружини $15 \leq k_n \leq 35$ Н/см та початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 1,6$ м/с довжина різання L_d головок коренеплодів практично однакова та не перевищує 12 см. Ефективне підсилення швидкості різання головок коренеплодів відбувається за жорсткості пружини $k_n > 35$ Н/см.

РОЗДІЛ 5

ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ ГИЧКИ КОРЕНЕПЛОДІВ

5.1. Перспективні напрямки вдосконалення робочих органів гичкозбиральних модулів

Проведений аналіз технологічного процесу роботи удосконаленого гичкозбирального модуля, або показників якості його роботи вказує на те, що раціональні показники якості збирання гички коренеплодів кормових буряків, які задовольняють агротехнічні вимоги залежать від багатьох об'єктивних і суб'єктивних факторів:

- розмірно-масових параметрів коренеплодів і гички кормових буряків;
- типу ґрунту, його вологості;
- режимів роботи гичкозбирального модуля;
- конструктивних особливостей робочих органів роторного гичкоріза, шнекового конвеєра та обрізника залишків гички з головок коренеплодів.

Підвищити показники якості роботи гичкозбирального модуля можна за рахунок подальшого вдосконалення процесу його роботи на основі реалізації основних напрямків, якими з них можуть бути:

- зменшення енергетичних затрат процесу транспортування зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза основного масиву гички шляхом усунення операції укладання гички у валок на зібране поле;

- зменшення пошкодження та вибивання та коренеплодів з ґрунтового середовища Г-подібними ножами роторного гичкоріза і робочими органами обрізника залишків гички та збільшення повноти зрізування основного масиву гички і залишків гички на головках коренеплодів кормових буряків можна досягнути шляхом:

- удосконалення конструкції роторного гичкоріза шляхом розташування Г-подібних ножів на барабані ротора по гвинтовій лінії та з певним кроком, додаток Ж.1.1;

- підвищення «плавності» руху підпружиненого ножа обрізника за рахунок удосконалення конструкції ножа, виконаного у вигляді двоплечевого важеля, рис. 5.1.

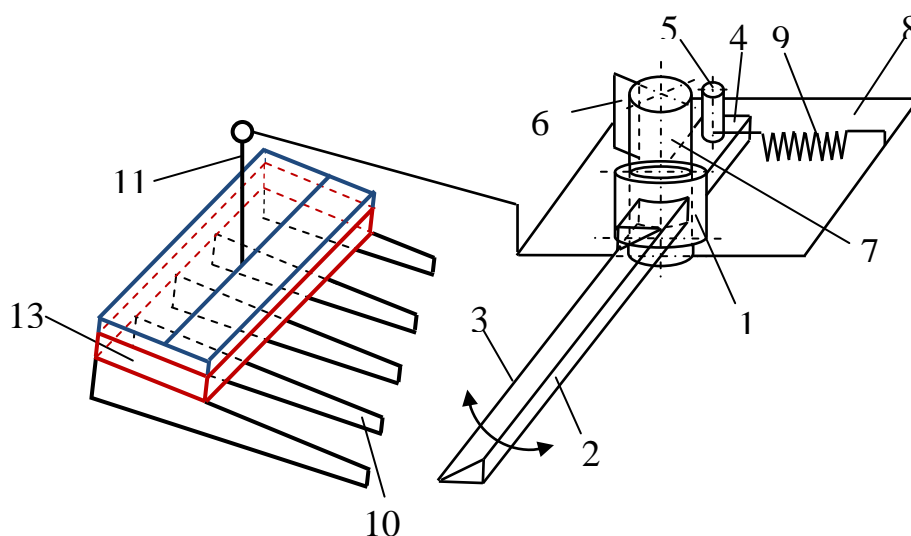


Рисунок 5.1 – Удосконалена конструкція пасивного ножа обрізника головок коренеплодів

2. Зменшення маси рухомих частин обрізника залишків гички забезпечує значне зменшення сили ударної взаємодії поверхонь його робочих органів з головкою коренеплодів, що дозволить підвищити робочу швидкості руху гичкозбирального модуля, або збільшити продуктивність роботи коренезбиральної машини загалом.

3. Підвищення надійності роботи та зменшення маси гичкозбиральних модулів можна досягти за рахунок виготовлення робочих органів з конструктивних матеріалів, які мають якісно нові властивості та характеристики.

4. Подальше вдосконалення технологічного процесу виробництва коренеплодів кормових буряків (нові сорти, агротехніка вирощування тощо) є основою для подальшого вдосконалення процесу їх збирання і, відповідно, першого етапу – збирання гички.

Рекомендовані дані для виробництва основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів удосконаленого гичкозбирального модуля наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Рекомендовані основні параметри робочих органів удосконаленого
гичкозбирального модуля

Основні параметри робочих органів	Значення параметрів
Робоча швидкість руху, м/с	1,6...2,0
Діаметр ротора гичкоріза, м	0,5...0,6
Частота обертання ротора гичкоріза, об/хв	550...600
Діаметр шнека, м	0,3
Частота обертання шнека, об/хв	170
Діаметр труби барабана шнека, м	0,15
Кут повороту підпружиненого ножа, град.	до 35
Жорсткість пружини, кг/м с ²	65...75

Основними недоліками відомих способів збирання гички коренеплодів є розкидання зрізаної гички в межі рядка коренеплодів – у першому випадку це втрати гички під час її зрізування ножами роторного гичкоріза, а в другому – втрати та технологічне переміщення гички у рядки не зібраних коренеплодів.

Наявність гички на поверхні поля не зібраних коренеплодів значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини у контексті дотримання агротехнічних вимог до показників якості їх роботи або забрудненості коренеплодів різними домішками.

Для усунення недоліків нами запропоновано спосіб збирання основного масиву гички коренеплодів за якого зрізана та подрібнена ножами роторного гичкоріза гичка укладається тільки на поверхню поля у міжряддя не зібраних коренеплодів і відсутності гички у захисних зонах, які передбачені для переміщення робочих органів викопуючого модуля коренезбирального комбайна.

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

Враховуючи світову тенденцію однофазного способу збирання коренеплодів сучасними самохідними машинами, які передбачають блочно-модульний принцип їх побудови, нами запропоновано удосконалений спосіб збирання гички коренеплодів, який передбачає зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з головок коренеплодів, її подрібнення та одночасне укладання подрібненої гички на поле у міжряддя незібраних коренеплодів. При цьому зрізування та укладання гички виконується одним робочим органом – роторним гичкорізом.

Цей спосіб, який дозволить знизити енергоємність та значно підвищити технологічні можливості процесу збирання коренеплодів цикорію, реалізується шляхом застосування модуля для збирання гички, який складається з роторного гичкоріза з шарнірними ножами, кожуха, що огинає траєкторію руху ножів і виконаного у вигляді направляючого каналу за вихідним отвором якого встановлено регулювальний фартух та встановлених на барабані роторного гичкоріза обмежувальних ділильних дисків, які розміщено у міжрядді не викопаних коренеплодів.

На основі проведеного аналізу показників якості роботи та технологічних показників збирання гички існуючими пристроями, нами запропоновано удосконалену схему гичкозбирального модуля, конструктивна схема якої наведена на рис. 5.2.

Гичкозрізувальний модуль 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 встановлено в опорах 6, які змонтовано на рамі та виконано у вигляді барабана 7 на якому закріплено гичкозрізувальні ножі 8 Г-подібної форми.

Між гичкозрізувальними ножами на барабані встановлено ділильні диски 9, які розташовано у міжрядді відносно двох суміжних рядків коренеплодів. На внутрішній частині дугоподібного кожуха встановлено направляючі канали 10 для транспортування гички, які мають вхідну 11 та вихідну 12 частини. За вихідною частиною кожного направляючого каналу встановлено фартух 13,

причому вихідна частина кожного направляючого каналу та фартуха розташована між суміжними ділильними дисками. Вал обертається з кутовою швидкістю, напрямку руху якої односторонній напрямку руху модуля.

Гичкозбиральний модуль працює таким чином.

Під час руху гичкозрізувального модуля вздовж рядків коренеплодів гичкозрізувальні ножі 8 за рахунок обертання вала 3 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії руху до вхідної частини 11 направляючого каналу 10. За рахунок створеного обертанням вала повітряного потоку зрізана та подрібнена гичка по направляючому каналу 10 транспортується до його вихідної частини 12, а далі до фартуха 13, де гичка розкидається в міжряддя коренеплодів у зону розташування ділильних дисків.

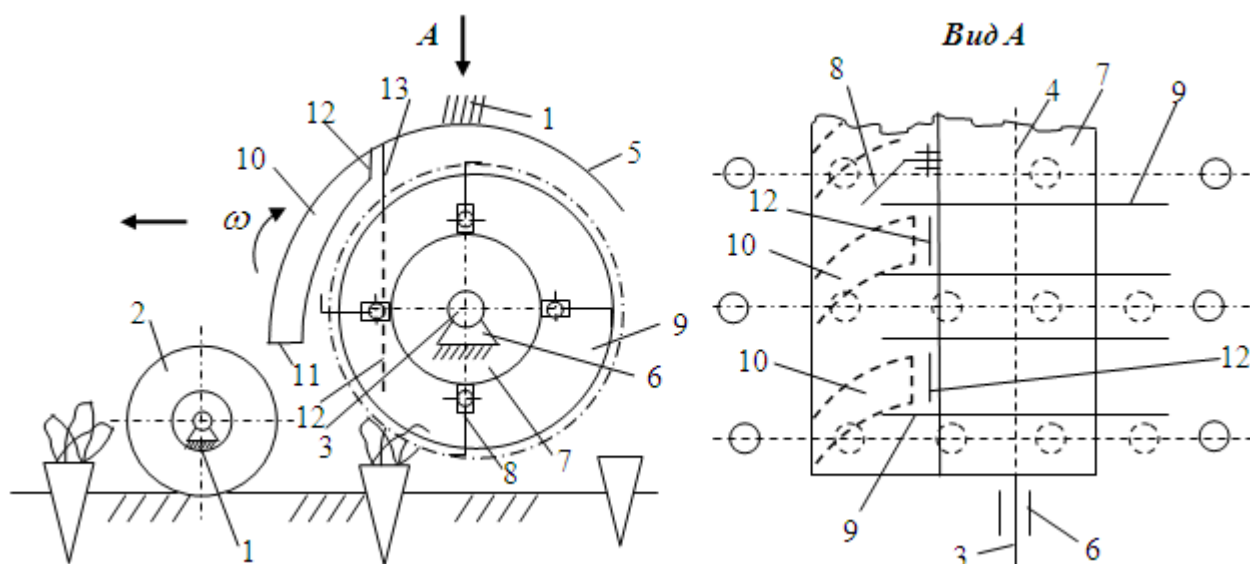


Рисунок 5.2 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля

Таким чином, за рахунок усунення проміжної операції транспортування зрізаної та подрібненої гички шнековим транспортером з наступним її вивантаженням на зібране поле значно зменшуються енерговитрати на реалізацію технологічного процесу збирання основного масиву гички коренеплодів.

Тому перспективним напрямком є проведення теоретично-експериментальних досліджень для обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи удосконаленого гичкозбирального модуля.

5.2. Аналіз технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів

На стадії конструктивної розробки та проектування гичкозбирального модуля необхідно обґрунтувати його раціональні параметри. Обґрунтування параметрів гичкозбирального модуля доцільно провести на основі визначення та теоретичного аналізу кількості зрізаної гички 5 (рис. 5.3, рис. 5.4), яка зрізується ножами 4 роторного гичкоріза 3 та яка укладається на поле у міжряддя ще незібраних коренеплодів 1.

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

Якщо гичка одночасно зрізується з декількох рядків, кількість яких позначимо через n , тоді маса зрізаної гички M_p (кг) дорівнює сумі мас зрізаної гички з кожного рядка

$$M_p = \sum_{i=1}^n m_{pi} = m_{1p} + m_{2p} + \dots + m_{np}. \quad (5.1)$$

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

Маса зрізаної гички m_{ip} є не що інше, як подача зрізаної гички $\Pi_{ip}(t)$ (кг) з кожного одного i -го рядка коренеплодів за проміжок часу t (с), яка залежить від загальної кількості коренеплодів K_{iz} (шт.) із яких зрізано гичку ножами роторного гичкоріза та урожайності гички кожного окремого i -го рядка коренеплодів U_{ip} (кг/м²), або $\Pi_{ip}(t) = U_{ip} K_{iz}(t)$, при цьому

$$K_{iz} = Lgk_{iz} = \mathcal{G}_M t k_{iz} = \mathcal{G}_M t b_k \Gamma_{ik}, \quad (5.2)$$

$$\Pi_{ip}(t) = \frac{dLg}{dt} t b_k \Gamma_{ik} U_{ip}. \quad (5.3)$$

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

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

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

b_k – ширина міжряддя коренеплодів, м;

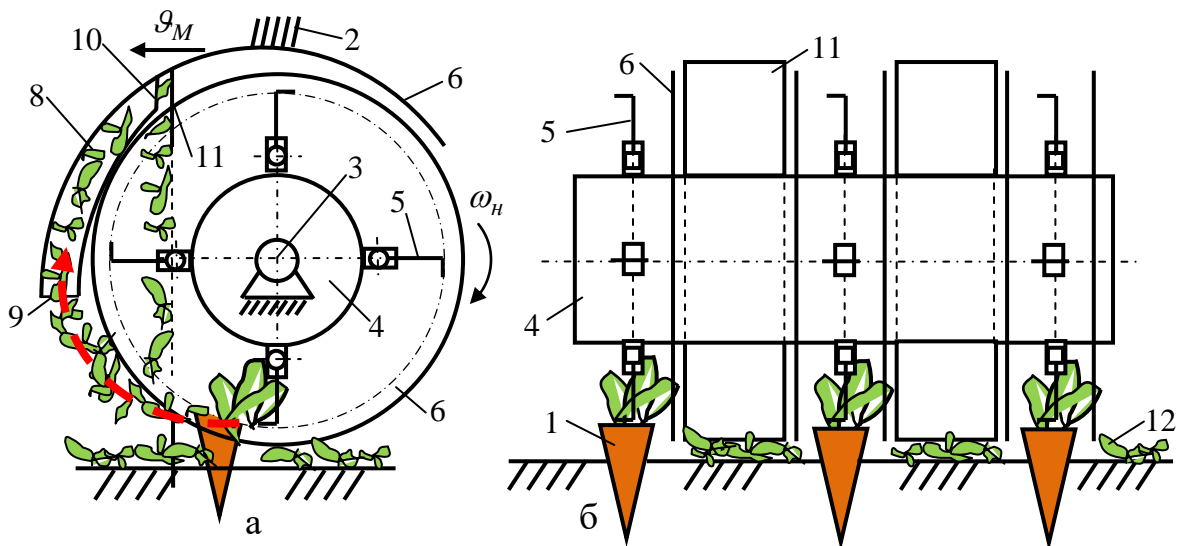


Рисунок 5.3 – Схема способу збирання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів: а – вигляд збоку; б – вигляд ззаду; 1 – коренеплід з гичкою; 2 – рама; 3 – роторний гичкоріз; 4 – барабан; 5 – ніж; 6 – ділильний диск; 7 – кожух; 8 – направляючий канал; 9, 10 – вхідний і вихідний отвір; 11 – фартух; 12 – укладена у міжряддя подрібнена гичка

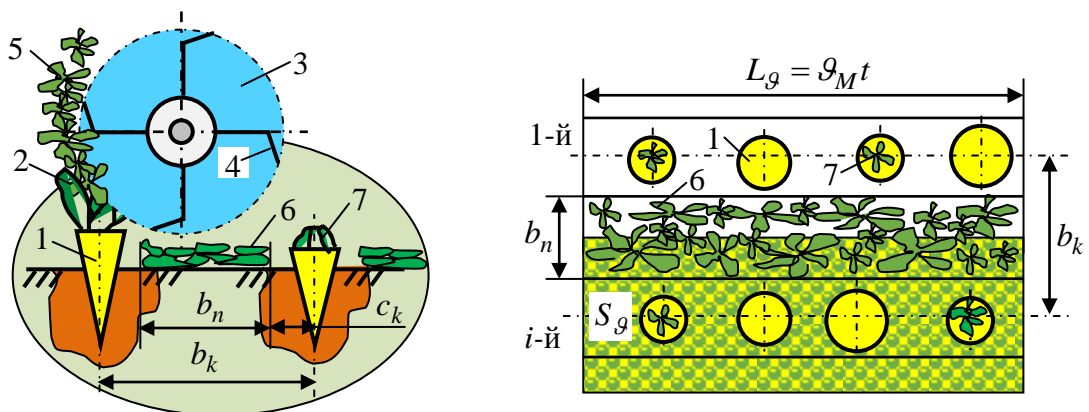


Рисунок 5.4 – Схема до розрахунку технологічної подачі зрізаної гички роторним гичкорізом: 1 – коренеплід; 2 – гичка; 3 – роторний гичкоріз; 4 – ніж; 5 – зрізана гичка; 6 – гичка укладена у міжряддя невикопаних коренеплодів; 7 – залишки гички на головках коренеплодів

Γ_{ik} – густина насаджень коренеплодів у кожному i -му рядку на час збирання, шт./м².

Тоді згідно з (5.1) - (5.3) можна записати, що загальна подача P_p (кг) зрізаної гички з n_k рядків визначається за формулою

$$P_p = \left(\frac{dL_g}{dt} t b_k \Gamma_{1k} U_{1p} + \frac{dL_g}{dt} t b_k \Gamma_{2k} U_{2p} + \dots + \frac{dL_g}{dt} t b_k \Gamma_{n_k} U_{n_k} \right), \quad (5.4)$$

або

$$P_p = \frac{dL_g}{dt} t b_k (\Gamma_{1k} U_{1p} + \Gamma_{2k} U_{2p} + \dots + \Gamma_{n_k} U_{n_k}). \quad (5.5)$$

З врахуванням значної мінливої зміни урожайності гички $U_{ip} \pm \Delta U_{ip}$ (кг/м²) та густоти насаджень $\Gamma_{ik} \pm \Delta \Gamma_{ik}$ (кг/м²) коренеплодів на ділянках поля, рівняння (5.5) набуде вигляду

$$P_p = \frac{dL_g}{dt} b_k t [(\Gamma_{1k} \pm \Delta \Gamma_{1k})(U_{1p} \pm \Delta U_{1p}) + (\Gamma_{2k} \pm \Delta \Gamma_{2k})(U_{2p} \pm \Delta U_{2p}) + \dots + (U_{n_p} \pm \Delta U_{n_p})]. \quad (5.6)$$

Висоту безкопінного зрізування основного масиву гички встановлюють за характером розташування коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту та за принципом вибору основного масиву на рівні найвище розміщених головок коренеплодів.

У цьому випадку на деяких коренеплодах, які розташовуються відносно рівня поверхні ґрунту нижче основного масиву коренеплодів, після зрізування гички залишаються залишки гички 7 (рис. 5.4) на головках коренеплодів 1.

Для врахування цих залишків введемо поправочний коефіцієнт k_{i2} , який корегує зменшення подачі P_{ip} зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів з кожного i -го рядка.

Тоді загальна подача P_p (кг) зрізаної гички з n рядків згідно з рівнянням (5.6) визначається за формулою

$$P_p = \frac{dL_g}{dt} b_k t [(\Gamma_{1k} \pm \Delta \Gamma_{1k})(U_{1p} \pm \Delta U_{1p}) k_{12} + (\Gamma_{2k} \pm \Delta \Gamma_{2k})(U_{2p} \pm \Delta U_{2p}) k_{22} + \dots + (U_{n_p} \pm \Delta U_{n_p}) k_{1n}]. \quad (5.7)$$

Питому масу Π_{pn} (кг/м²) подрібненої гички 12 (рис. 5.3), яка укладена на поверхню поля у міжряддя невикопаних коренеплодів 1, або у зону між двома ділильними дисками 6 визначається за формулою

$$\Pi_{pn} = \frac{b_k}{2c_k} \left[(\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2p} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} + \dots + (U_{np} \pm \Delta U_{np})k_{1n} \right], \quad (5.8)$$

$$\text{або } \Pi_{pn} = \frac{2b_k}{b_k - b_n} \left[(\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2p} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} + \dots + (U_{np} \pm \Delta U_{np})k_{1n} \right], \quad (5.9)$$

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

b_n – відстань між двома дисками, які встановлено у одному міжрядді коренеплодів, м.

Для зручності практичного застосування рівнянь (5.6) і (5.9) можна прийняти умову, що густина насаджень $\Gamma_{ik} \pm \Delta\Gamma_{ik}$ 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 цикорію, або $\Gamma_{ik} \pm \Delta\Gamma_{ik} = \Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k$, $U_{ip} \pm \Delta U_{ip} = U_p \pm \Delta U_p$, $k_{iz} = k_z$.

Тоді рівнянь (5.6) і (5.9) мають остаточний вигляд

$$\Pi_p = \frac{dL_M}{dt} b_k t n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)(U_p \pm \Delta U_p); \quad (5.10)$$

$$M_{np} = \frac{\Pi_{cp}}{S_{b_n}} = \frac{b_k k_{zc}}{b_k - 2c_k} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)(U_p \pm \Delta U_p) = \frac{b_k k_z}{b_n} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)(U_p \pm \Delta U_p). \quad (5.11)$$

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 (5.10) і (5.11) побудовано теоретичні залежності зміни, відповідно, секундної подачі Π_p (кг/с) та питомої маси M_{np} (кг/м²) зрізаної гички як функція: $\Pi_p = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p)$, рис. 5.5; $M_{np} = f_M(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p)$, рис. 5.6.

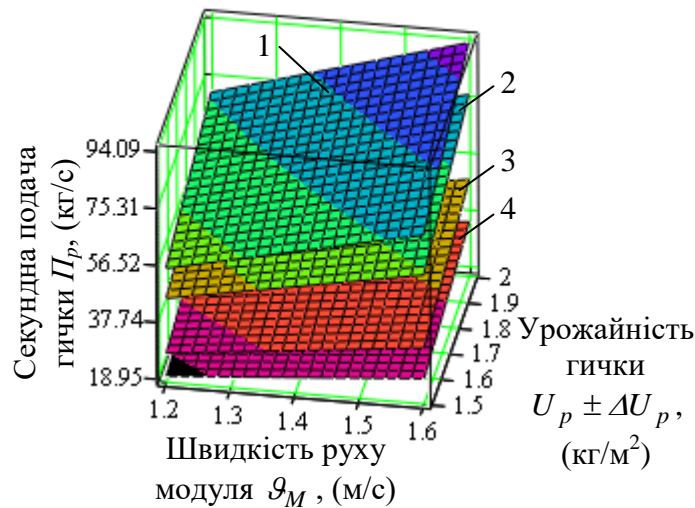


Рисунок 5.5 – Залежність зміни $P_p = f_{II}(G_M; U_p \pm \Delta U_p)$

$$1 - \Delta U_p = +0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9+2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)};$$

$$2 - \Delta U_p = +0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7+2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)};$$

$$3 - \Delta U_p = -0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9-2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)};$$

$$4 - \Delta U_p = -0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7-2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)}$$

На основі аналізу графічних побудов (рис. 5.5) встановлено, що:

- у межах зміни швидкості руху G_M гичкозбирального модуля від 1.2 до 1.6 м/с та зміни урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ від $(1.5 + 0.2)$ до $(2 + 0.2)$ кг/м² секундна подача гички P_p у міжряддя невикопаних коренеплодів, яку зрізано ножами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля знаходиться у такому діапазоні:

- за густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9+2$ тис. шт./м² – від 56.6 до 94.1 кг/с;

- за густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7+2$ тис. шт./м² – від 37.7 до 75.3 кг/с;

- у межах зміни швидкості руху G_M гичкозбирального модуля від 1.2 до 1.6 м/с та зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p$ від $(1.5 - 0.2)$ до $(2 - 0.2)$ кг/м² секундна подача гички P_p у міжряддя невикопаних коренеплодів, яку зрізано ножами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля знаходиться у діапазоні:

- за густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2$ тис. шт./м²
 – від 23.1 до 42.3 кг/с;

- за густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2$ тис. шт./м²
 – від 18.9 до 34.7 кг/с.

На основі аналізу графічних побудов (рис. 5.6) встановлено, що:

- у межах зміни швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля від 1.2 до 1.6 м/с та зміни урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ від (1.5 + 0.2) до (2 + 0.2) кг/м² питома маса гички M_{np} , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками знаходиться у діапазоні:

- за густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2$ тис. шт./м²
 – від 24.3 до 32.6 кг/м²;

- за густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2$ тис. шт./м²
 – від 18.5 до 26.7 кг/м²;

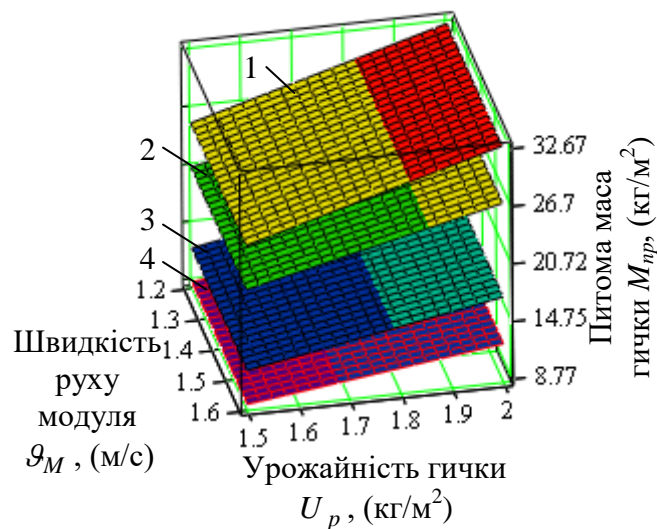


Рисунок 5.6 – Залежність зміни $M_{np} = f_M(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p)$

$$1 - \Delta U_p = +0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)};$$

$$2 - \Delta U_p = +0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)};$$

$$3 - \Delta U_p = -0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)};$$

$$4 - \Delta U_p = -0.2 \text{ (кг/м}^2\text{)}; \Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2 \text{ (тис. шт./м}^2\text{)}$$

- у межах зміни швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля від 1.2 до 1.6 м/с та зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p$ від (1.5 – 0.2) до (2 – 0.2) кг/м² питомої маси гички M_{np} , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками знаходиться у діапазоні:

- за густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2$ тис. шт./м² – від 11.8 до 16.7 кг/м²;

- за густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2$ тис. шт./м² – від 8.7 до 12.7 кг/м².

Функціональна зміна, як секундної подачі Π_p , так і питомої маси M_{np} гички залежно від зміни складових правої частини рівняння (5.10) і (5.11) має лінійний, прямопропорційний характер.

5.3. Результати експериментальних досліджень технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів

Для перевірки адекватності отриманих емпіричних моделей (5.10) і (5.11) було проведено експериментальні дослідження 3-х рядного модуля для збирання гички (рис. 5.3) на основі побудови та реалізації планованих факторних експериментів.

Конструктивна схема 3-х рядного модуля для збирання гички коренеплодів посіяних з шириною міжряддя $b_k = 0.45$ м (ширина захвату модуля – 1.35 м) наведена на рис. 5.7.

Експерименти проводили на дослідних полях посівів коренеплодів цикорію сорту Софіївський 7 (Хмельницька державна науково-дослідна станція, Україна).

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну секундної подачі Π_p (кг/с) та питомої маси M_{np} (кг/м²) 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 , урожайність гички $U_p \pm \Delta U_p$, густоту насаджень коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$.



Рисунок 5.7. Загальний вигляд гичкозбирального модуля

Рівні варіювання факторами наведено у таблиці 5.2.

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.

При цьому:

- частота обертання ножів роторного гичкоріза – 410 об/хв;
- відстань між двома суміжними ділильними дисками – $b_n = 0.3$ м;
- час проведення експерименту – $t = 5$ с, або відповідно довжина залікової ділянки посівів коренеплодів цикорію:
 - за швидкості руху модуля 1.2 м/с – $L_{1,2} = 6$ м;
 - за швидкості руху модуля 1.4 (м/с) – $L_{1,4} = 7$ м;
 - за швидкості руху модуля 1.6 (м/с) – $L_{1,6} = 8$ м;
- після проходження модуля зрізану та укладену гичку у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками підбирали вручну та зважували на терезах з точністю ± 0.1 кг;

Рівні варіювання факторами

Фактори	Інтервал варіювання	Рівні варіювання факторами		
		Нижній (-1)	Нульовий (0)	Верхній (+1)
Швидкість руху модуля \mathcal{G}_M , м/с	0,2	1.2	1.4	1.6
Урожайність гички $U_p \pm \Delta U_p$, кг/м ²	0,2	1.4 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.8 ± 0.2
Густота насаджень коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$, тис. шт./м ²	2	7 ± 2	9 ± 2	11 ± 2

- секундну подачу Π_p визначали за формулою $\Pi_p = M_p / t$, де M_p – маса підібраної гички (кг) на площі міжрядь $S_e = \mathcal{G}_M t b_n n_k$, м²;

- питому масу гички M_{np} визначали за формулою $M_{np} = M_p / \mathcal{G}_M t b_n n_k$.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки з використанням кореляційного і регресійного аналізу.

Апроксимуючу залежність, яка функціонально опису зміну секундної подачі Π_p^\pm та питомої маси M_{np}^\pm гички залежно від зміни вхідних факторів (табл. 5.2) після обробки експериментального масиву даних знаходили у вигляді лінійної моделі за найбільшим значенням коефіцієнта детермінації D за рівня достовірності 0.95.

Після перевірки адекватності моделі за F-критерієм Фішера та значимості коефіцієнтів за критерієм Стюдента було отримано рівняння регресії у вигляді лінійної моделі для натуральних значень факторів:

- секундної подачі зрізаної гички коренеплодів цикорію, відповідно, $D = 0.929; 0.963$:

$$\Pi_p^+ = -39.38 + 18.67\mathcal{G}_M + 14.81(U_p + \Delta U_p) + 2.11(\Gamma_k + \Delta \Gamma_k); \quad (5.12)$$

$$P_p^- = -42.26 + 11.17\mathcal{G}_M + 11.36(U_p - \Delta U_p) + 2.81(\Gamma_k - \Delta\Gamma_k); \quad (5.13)$$

- питомої маси гички M_p^\pm , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками, відповідно, $D = 0.973; 0.949$:

$$M_{np}^+ = -17.05 - 2.52\mathcal{G}_M + 19.11(U_p + \Delta U_p) + 14.81(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k); \quad (5.14)$$

$$M_{np}^- = -35.51 - 0.91\mathcal{G}_M + 14.39(U_p + \Delta U_p) + 19.49(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k). \quad (5.15)$$

Згідно з рівнянням регресії (5.12) і (5.13) побудовано поверхню відгуку, яка характеризує функціональну зміну секундної подачі гички P_p^\pm у міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від 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:

$$- P_p^+ = f_{II}(\mathcal{G}_M; (U_p + 0.2)), P_p^+ = f_{II}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2)), \text{ (рис. 5.8);}$$

$$- P_p^- = f_{II}(\mathcal{G}_M; (U_p - 0.2)), P_p^- = f_{II}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2)), \text{ (рис. 5.9).}$$

За мінливого збільшення зміни урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ у межах від $(1.4 + 0.2)$ до $(1.8 + 0.2)$ кг/м² та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$ у межах від $(7 + 2)$ до $(11 + 2)$ тис. шт./м² секундна подача гички P_p^+ у міжряддя невикопаних коренеплодів за швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G}_M = 1.2 \dots 1.6$ м/с змінюється у діапазоні від 17 до 36 кг/с, (рис. 5.8) прямопропорційно збільшенню кожного фактора.

За мінливого зменшення зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p$ у межах від $(1.4 - 0.2)$ до $(1.8 - 0.2)$ кг/м² та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k$ у межах від $(7 - 2)$ до $(11 - 2)$ тис. шт./м² секундна подача гички P_p^+ у міжряддя невикопаних коренеплодів за швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G}_M = 1.2 \dots 1.6$ м/с змінюється у діапазоні від 10 до 26 кг/с, (рис. 5.9) прямопропорційно збільшенню кожного фактора.

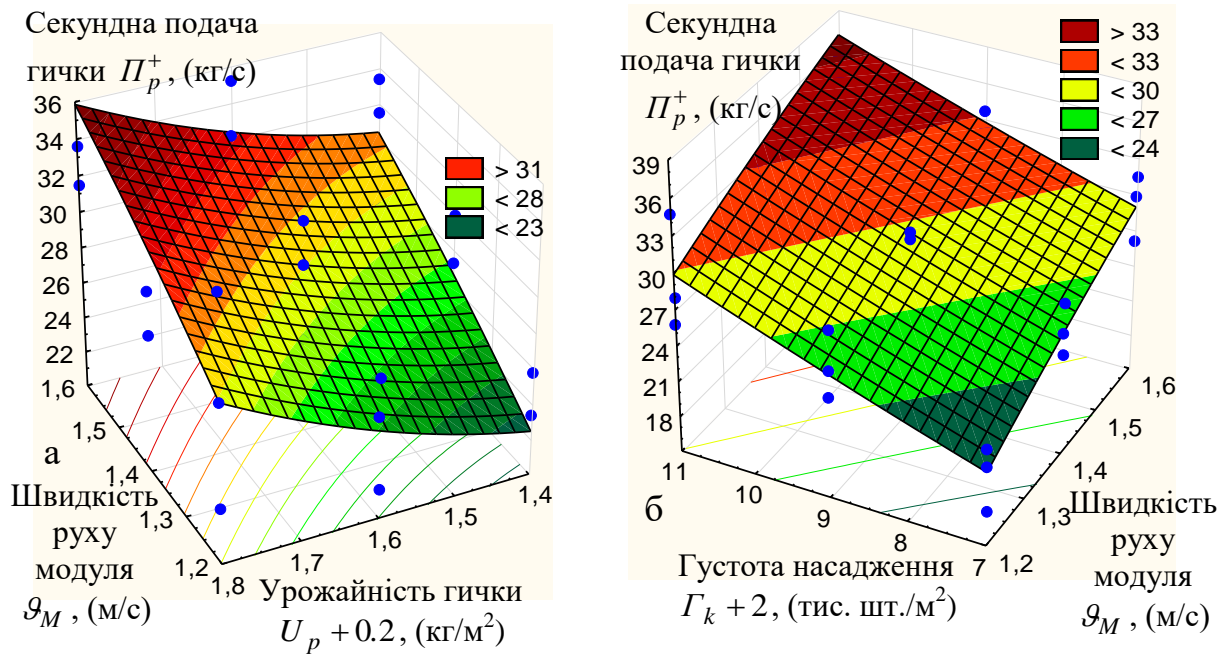


Рисунок 5.8 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички як

функція: а – $P_p^+ = f_{II}(\mathcal{G}_M; (U_p + 0.2))$; б – $P_p^+ = f_{II}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2))$

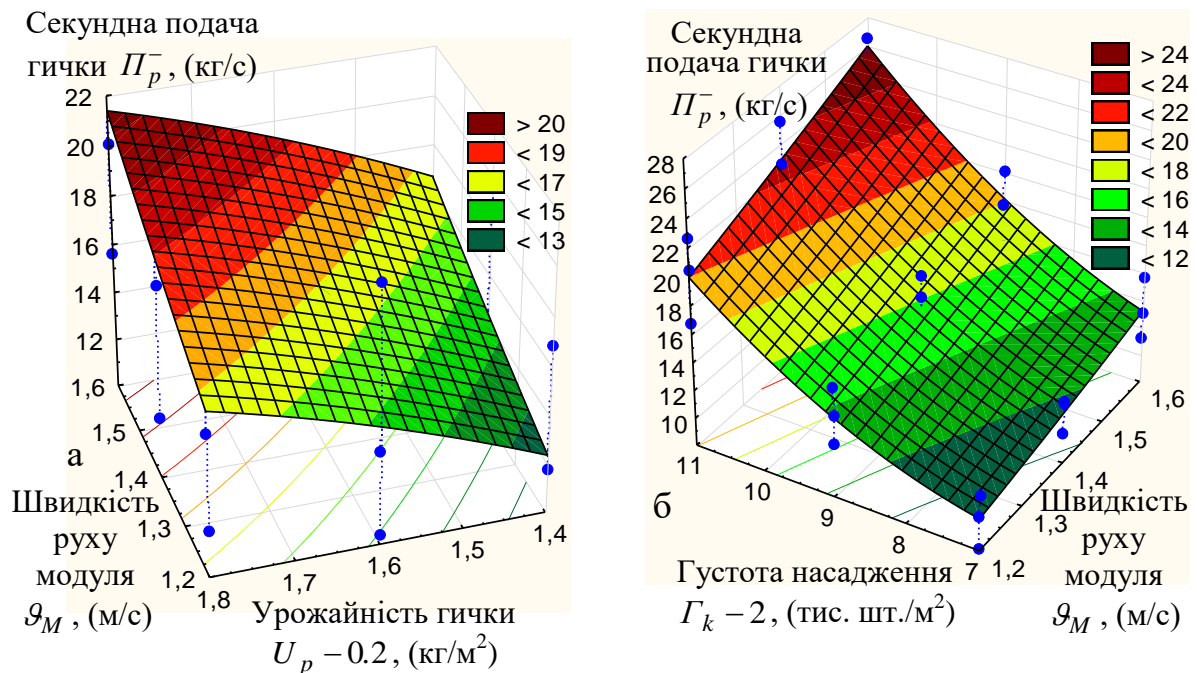


Рисунок 5.9 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички

як функція: а – $P_p^- = f_{II}(\mathcal{G}_M; (U_p - 0.2))$; б – $P_p^- = f_{II}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2))$

Згідно з рівнянням регресії (5.14) і (5.15) побудовано поверхню відгуку, яка характеризує функціональну зміну питомої маси гички M_p^\pm , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками залежно від 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:

$$- M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (U_p + 0.2)), M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2)), \text{ (рис. 5.10);}$$

$$- M_{np}^- = f_M(\mathcal{G}_M; (U_p - 0.2)), M_{np}^- = f_M(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2)), \text{ (рис. 5.11).}$$

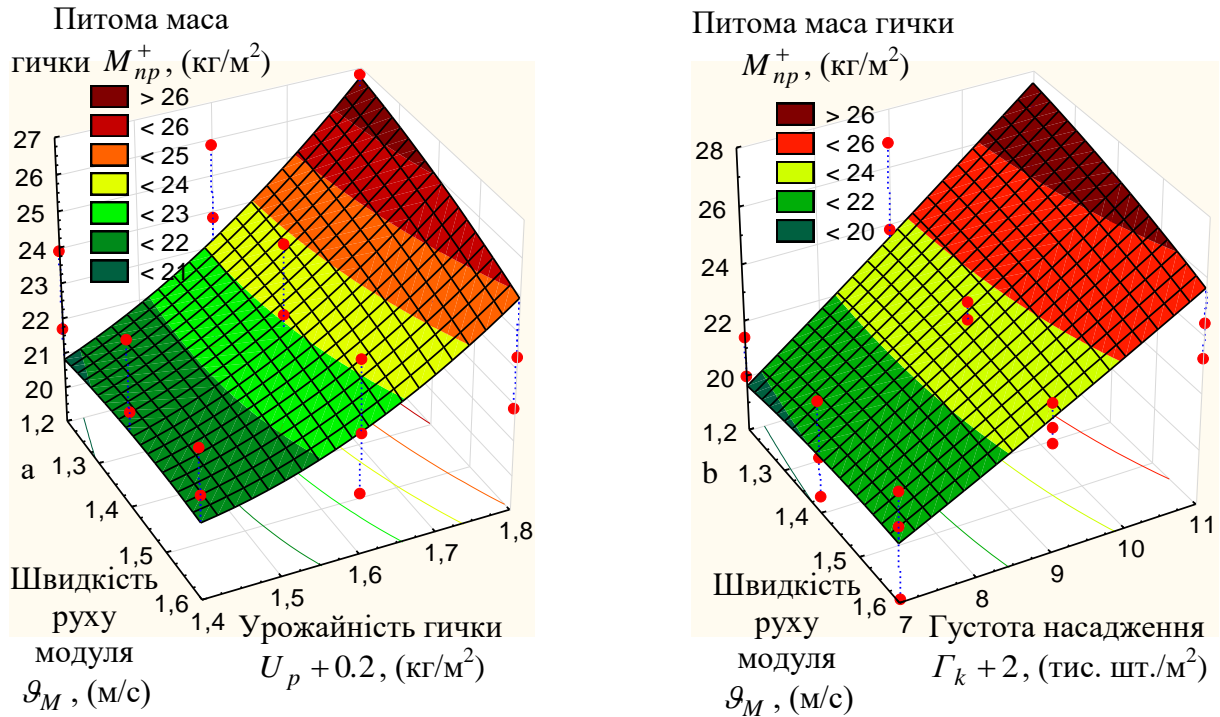


Рисунок 5.10 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички як функція:

$$a - M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (U_p + 0.2)); \text{ б} - M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2))$$

Домінуючими факторами, зміна яких призводить до значної зміни питомої маси гички M_{np}^\pm , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками та яка знаходиться у діапазоні $M_{np}^+ = 19...27$ кг/м², (рис. 5.10) та $M_{np}^- = 9...18$ кг/м², (рис. 5.11) за швидкості руху гичкозбирального модуля $\mathcal{G}_M = 1.2...1.6$ м/с, є урожайність гички $U_p \pm \Delta U_p$ та густина насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k$:

- за мінливого збільшення зміни урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ у межах від $(1.4 + 0.2)$ до $(1.8 + 0.2)$ кг/м² та густоти насадження коренеплодів цикорію

$\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$ у межах від $(7 + 2)$ до $(11 + 2)$ тис. шт./м² питома маса гички M_{np}^+ збільшується у середньому, відповідно, на 5.5...6.5 кг/м², (рис. 5.10а) та 6.5...7.5 кг/м, (рис. 5.10б);

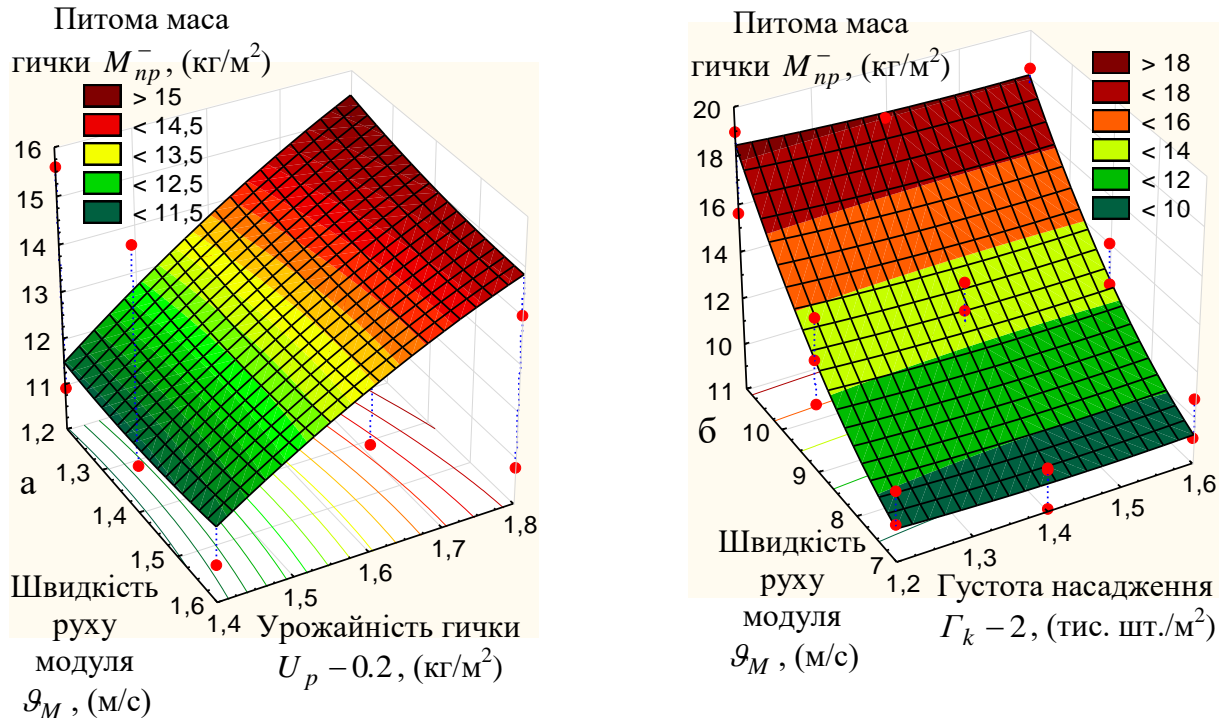


Рисунок 5.11 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички як

$$\text{функція: а} - M_{np}^- = f_M(G_M; (U_p - 0.2)); \text{б} - M_{np}^- = f_M(G_M; (\Gamma_k - 2))$$

- за мінливого зменшення зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p$ у межах від $(1.4 - 0.2)$ до $(1.8 - 0.2)$ кг/м² та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k$ у межах від $(7 - 2)$ до $(11 - 2)$ тис. шт./м² питома маса гички M_{np}^- збільшується у середньому, відповідно, на 3.5...4.5 кг/м², (рис. 5.11а) та 8.5...9.5 кг/м², (рис. 5.11б).

Зміна швидкості руху G_M гичкозбирального модуля від 1.2 до 1.6 м/с має несуттєвий вплив на збільшення питомої маси гички M_{np}^\pm - зростання становить 0.3...0.5 кг/м².

Таким чином:

1. 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 не зібраних коренеплодів. Зниження енергоємності процесу досягається за рахунок одночасного поєднання операцій зрізування та переміщення зрізаної гички одним активним (роторний гичкоріз) і пасивним (направляючий канал) робочим органом.

2. Розроблено аналітичні та емпіричні моделі, які описують зміну секундної подачі гички та питомої маси гички, яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками залежно від швидкості руху модуля, мінливої зміни урожайності та густоти насадження коренеплодів цикорію.

3. На основі аналізу графічних побудов встановлено, що секундна подача та питома маса гички, яку зібрано з 3-х рядків коренеплодів знаходиться, відповідно, у діапазоні від 17 до 36 кг/с та від 19 до 27 кг/м².

4. Розбіжність теоретичних значень секундної подачі та питомої маси гички, які визначено згідно формул (5.10) і (5.11) та експериментальних значень, які встановлено згідно з рівняннями регресії (5.12), (5.13) і (5.14), (5.15) знаходиться від 5 до 15 %.

5. Отримані результати аналітично-емпіричних досліджень секундної подачі та питомої маси гички будуть застосовані для подальшого обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів копачів і очисників вороху коренеплодів коренезбиральних машин на основі узгодження пропускної здатності їх робочих органів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Погорелий 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.
3. Особенности развития и формирования кормовой свеклы к моменту уборки / Шабельник Б.П., Полупанов В.Н., Завгородний А.Ф та ін. // Сб. науч. трудов "Механизация и электрификация сельского хозяйства". 1985. Вып. 62. С. 8–11.
4. 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.
5. Гевко Р.Б. Викопувальні-очисні пристрої бурякозбиральних машин, конструювання та розрахунок. / Тернопіль, 1997. 118 с.
6. Фомічов А.М., Архипенко Ф.М. Сорти і техніка. Хлібороб України. 1987. № 4. С. 24.
7. Техніка на вирощування кормових буряків / Гурченко О.П., Кобець А.І., Московов М.Н. та ін. // Механізація сільського господарства. 1981. № 4. С. 16–17.
8. Довжик М.Я. До питання механізації збирання кормових буряків. Вісник сільськогосподарської науки. 1982. № 8. С. 49–50.
9. Овсяков В.Н., Кудряцев В.М., Логинов Г.А. Механизация производства корневых корнеплодов на гребнях. Ленинград: Колос, 1982. С. 120–136.
10. Шевцов І.А., Фомічов А.М. Біологія і агротехніка кормових буряків. К.: Наукова думка, 1980. 250 с.

11. Разработка и исследование копателя кормовой свеклы / А.Ф. Завгородний, Н.М. Заворитный, М.М. Шумило, Барановский В.Н. и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1986. Вып 64. С. 37–38.
12. Барановський В.М. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів гвинтово-вальцевого очисника вороху кормових буряків: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / Барановський Віктор Миколайович. К., 1996. 275 с.
13. Свеклоуборочные машины (конструирование и расчёт) / Л.В. Погорелый, Н.В. Татьянко, В.В. Брей и др. Под общ. ред. Погорелого Л.В. К.: Техника, 1983.
14. Пасечник В.И. Использование кормовой и сахарной свеклы в условиях специализации и концентрации молочного скотоводства: Сб. науч. тр. МИИСП. М.: 1978. Т. 15. Вып. 2. С. 88–90.
15. Методические рекомендации по уборке и хранению кормовой свеклы / И.А. Куркурин, В.П. Богуславский, И.П. Масло и др. / Госагропром УССР, ЮО ВАСХНИЛ, УНИИЗ. К.: 1987. 24 с.
16. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Г.А. Хайліс, А.Ю. Горбів, З.О. Гошко та ін. Луцьк : ЛДТУ, 1998. 268 с.
17. Петров Г.Д., Амеличев В.Т., Левчук Л.И. Технология и машины для уборки кормовых корнеплодов // Тракторы и сельхозмашины. 1969. № 10. С. 27–28.
18. Gerlach K. Technik der Futterrubenernte: Die Arbeitskette geschlossen halten // Lohnunternehmen Landforstwirtschaft. 1985. Vol. 40. № 10. S. 540–541.
19. K. Herrmanu, J.P. Schuh. Rodevorgang im Schwingender Polderschar // Landtechnik. 4/95. S. 202–203.
20. Ždarsky I. Biologické a fyzikálne mechanické vlastnosti cukrovky z hlediska mechanizace sklirne // Zemědělska technika. 1964. № 11. S. 657– 672.
21. Шевченко А.О. Погода, клімат, прогноз і урожай // Вісник аграрної науки. 1991. № 9. С. 48–52.
22. Булгаков В.М., Черновол М.И., Н.А. Свирень. Теория свеклоуборочных машин : монография. Кировоград : "КОД", 2009. 256 с.

23. Кобець А.І., Гурченко О.П., Барановський В.М. Механізоване збирання кормових буряків // Механізація сільського господарства. 1985. № 10. С. 6–7.
24. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. К.: Аграрна наука, 2001. 280 с.
25. Гурченко О.П., Барановський В.М. Для збирання кормових буряків // Механізація сільського господарства”. К.: “Урожай”, 1988. № 9. С. 21.
26. Пилипець М.І., Паньків., М.Р., Барановський В.М. Аналіз співудару коренеплоду з поверхнею еліпсного вальця // Вісник ТДТУ. Тернопіль, 2003. Т. 8. № 4. С. 28–36.
27. 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.
28. Сторожук І.М. Конструктивно-технологічний аналіз робочих органів гичкозбиральних машин // The scientific journal. Scientific review. Т. 2. № 12 (2015). С. 63–71. (Режим доступу: <http://www.naukajournal.org>).
29. Смаль М., Герасимчук О. Конструктивно-технологічний аналіз обрізувачів головок коренеплодів цукрових буряків // INNOVATION TECHNOLOGIYLAR. Qarshi muchandislik-igtisodivot instituti : Qarchi, 2014. № 2 (14). S. 29–36.
30. Павелчак О.Б. Напрямки зниження ступеня пошкодження коренеплодів при їх механізованому збиранні бурякозбиральними машинами. // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових праць ЛДТУ. Вип. 5. Луцьк, 1999. С. 176–179.
31. Барановський В.М., Войтюк Д.Г., Виговський А.Ю. Експериментальні дослідження пошкодження кормових буряків на маятниковому копрі. // Сільськогосподарські машини. Зб. наукових праць ЛДТУ. Вип. 8. Луцьк, 2001. С. 5–10.
32. Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптованого викопувально-транспортного робочого органу коренезбиральної машини. // Науковий вісник НАУ. Т 73. Частина 1. 2004. С. 249–255.

33. Паньків М.Р., Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи адаптованого застосування коренезбиральних машин // Зб. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. “Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин”. Тернопіль :ТДТУ, 2004. С. 192–198.

34. 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.

35. 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 акад. П.М. Василенка. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. С. 207–213.

36. Сторожук І.М. Розробка гичкозбиральної машини // Природничі та гуманітарні науки. Актуальні задачі: зб. тез VI Всеукр. студентської наук.-техн. конф. 25-26 квітня 2013 р. Тернопіль : ТНТУ, 2013. Т. 1. С. 150.

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. Барановский В.Н. Онищенко В.Б., Сторожук И.М. Экспериментальные исследования пассивного дообрезчика остатков ботвы // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Минск, 2014. Вып. 48. Т. 1. С. 177–84.

39. Storozhuk I.M. The results of experimental research of root crops haulm harvesting // Інноваційні технології в АПК: тези V всеукр. наук.-практ. конф., травень 2015 р. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 116–119.

40. Погорелый Л.В., Татьянко М.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. К. : Феникс, 2004. 232 с.

41. 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.

42. Кормовая свекла в ГДР / В.Г. Кузьминов, Г.В. Кузьминов, А.Ф. Завгородний [та ін.] // Кормовые культуры. 1989. № 3. С. 26–30.

43. Шабельник Б.П. Разработка технологического процесса очистки корнеплодов и создание конвейеров-очистителей свеклоуборочных машин : автор. дисс... на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. Ростов-на-Дону, 1986. С. 4.

44. Погорілий М. Закономірності розвитку бурякозбиральної техніки та обґрунтування раціональних обрисів вітчизняних машин / Техніка в АПК. 1999. № 3. С. 8–12.

45. Гурченко О. П., Кобець А. С., Барановський В.М. Конструювання універсальної коренезбиральної машини // Вісник ХДТУСГ. Вип. 8. “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. Том 2. Харків, 2001. С. 63–68.

46. Шабельник Б.П., Полупанов В.М., Мартинов В.М. Агрофізична характеристика кормових буряків // Вісник сільськогосподарської науки. 1988. № 10. С. 74–75.

47. Сторожук І.М. Умова раціонального функціонування гичкозбирального модуля // Раціональне використання енергії в техніці: зб. тез доп. XII Міжн. наук. конф. 26 трав. 2016 р. НУБіП України, 2016. С. 40–41.

48. Шабельник Б.П. Теорія і практика обґрунтування параметрів робочих органів бурякозбиральних машин. – Х., 2001. 314 с.

49. Барановський В.М. Механіко-технологічні основи розробки адаптованих коренезбиральних машин : дис...доктора техн. наук: 05.05.11 / Барановський Віктор Миколайович. – Тернопіль. : ТНТУ, 2013. 402 с.

50. 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.

51. Vukov K. Sortenabhängigkeit einiger physikalischen Eigenschaften der Zuckerrube // Zuckerindustrie. 1972. № 22. S. 376–379.

52. Lanovsky M., Ždarsky I. Fyzikalne vlastnosti cukrovky // Zemědelska technika. 1966. № 3. S. 331–340.

53. Vukov K. Physik und Chemie der Zuckerrube als Grundlage der Verarbeitungsverfahren. Budapest, 1972.

54. Cesnieks Sandris, Vilde Arwids, Rueins Adolfs. Optimisation parameters of soil tillage aggregates // Механізація сільськогосподарського виробництва. К. : НАУ, 2003. Т. XV. С. 121–129.

55. Brinkmann W.. Fakten und Gedankenumb die Zuckerrubenernte // Zuckeruby. 1992. № 41. S. 310-314.

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

57. Сторожук І.М., Паньків В.Р. Аналіз способів и технологій уборки ботвы коренеплодов // Сб. науч. тр. за результатами межд. науч.-техн. конф. «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве». Минск, 2015. Т.2. С. 162–168.

58. Клімук М.В., Герасимчук О.О., Подоляк В.М. Огляд машин для видалення гички з головок коренеплодів цукрових буряків // Наукові нотатки. Луцьк : ЛДТУ, 2002. Вип. 11. С. 182–186.

59. Кравчук В.І. Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарської техніки /В.І. Кравчук, М.І. Грицишин, С.М. Коваль. К. : Аграрна наука, 2004. 353 с.

60. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. К.: Аграрна наука, 2001. 208 с.

61. Барановський В.М., Теслюк В.В., Сторожук І.М. Аналіз процесу різання головок коренеплодів пасивним ножом / В.М. Барановський, // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Зб. наук. праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. Вип. 17 (31). Книга 1. «Сільськогосподарська техніка – XXI:

випробування, прогнозування конструювання». Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2013 р. С. 375–384.

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

63. Клімук М. Обґрунтування параметрів роторного гичкозрізувального апарату // Вісник Тернопільського державного університету. Тернопіль : ТДТУ, 2003. Т. 8. № 3. С. 64–68.

64. Барановський В. Основні етапи та сучасні тенденції розвитку коренезбиральних машин / Віктор Барановський // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-у. Тернопіль : ТДТУ, 2006. Т. 11. № 2. С. 67–75.

65. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / [Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.]. К. : Вища освіта, 2005. 446 с.

66. Свеклоуборочный комбайн V202 // Проспект фирмы Stoll. Wilhem Stoll, Maschinenfabrik GmbH.

67. Свеклоуборочный комбайн MRL-6 // Проспект фирмы Stoll. Wilhem Stoll, Maschinenfabrik GmbH.

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

69. Storozhuk I. The results of experimental research of root crops haulm harvesting / I. Storozhuk // Экологически дружественное сельское и лесное хозяйство для будущих поколений: сб. научн. труд. межд. научн. конф. XXXVI CIOSTA & CIGR. Section V. Conference/2015 СПбГАУ, 26-28 мая 2015 г. Санкт-Петербург-Пушкин, 2015. С. 358–361.

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

71. 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.

72. 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.

73. 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.С. Зуев. Х., 1971. 33 с.

74. 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.

75. Мартиненко В.Я. Розробка конструкцій і визначення експлуатаційних параметрів очисників головок коренеплодів: дис...кандидата техн. наук : 05.05.11 / Мартиненко Володимир Якович. Тернопіль, 1992. 103 с.

76. Василенко А.А. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Основания для проектирования свеклоуборочных машин / Василенко А.А. М. – Л. : НКТМ СССР, 1940. Т. 5.

77. Татьянко Н.В., Бирюкова А.И. Исследование некоторых агрофизических свойств сахарной свеклы в связи с разработкой ботвосрезающих аппаратов. Исследование и изыскание новых рабочих органов сельскохозяйственных машин. М. : ВИСХОМ, 1967. Вып. IV.

78. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинності : монографія. К.: НАУ, 2005. 202 с.

79. Топоровский С.А. Обоснование технологического процесса и основных параметров рабочего органа для уборки ботвы сахарной свеклы без копирования головок коренеплодов : автореф. дис. на соискание уч. степени

канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / С.А. Топоровский. К.: УСХА, 1974. 19 с.

80. 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.

81. 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.

82. Мироненко В.Г. Математична модель оперативного управління якістю виконанням технологічних процесів у рослинництві із врахуванням початкового та кінцевого стану системи / Мироненко В.Г., Човнюк Ю.В., Броварець О.О. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2016. Вип. 10/1 (29). С. 208–213.

83. Аванесов Ю.Б., Чернявский С.В. Ботвоуборочная машина МБП-6 // сахарная Свекла. 1991. № 4. С. 9–13.

84. Василенко А.А., Герасимчик В.Г. Исследование ботвосрезающих аппаратов свеклоуборочных комбайнов с обрезкой ботвы на корню // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1963. № 4. С. 3–7.

85. Зуев Н.М., Топоровский С.А. Бескопирный срез головок корнеплодов // Сахарная свекла. 1988. № 6. С. 42–45.

86. Мишин М.А. Конструкция ботвосрезающих устройств современных свеклоуборочных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1974. № 4. С. 29–30.

87. Погорелый Л.В. Оценка показателей работы ботвосрезающих аппаратов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1963. № 5. С. 49–50.

88. Татьянако 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. Татьянако. Х., 1967. 28 с.

89. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. К.: „Сільгососвіта”, 1996. 251 с.

90. Розрахунок параметрів робочих органів гичкозбиральних машин : монографія / В.М. Барановський, А.Ю. Виговський, І.М. Сторожук, В.Р. Паньків. К.: Аграр Медіа Груп, 2015. 242 с.

91. Теория, конструкция и расчет сельхозмашин / Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов А.С. [и др.]. М.: Машиностроение, 1978. 567 с.

92. 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.

93. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин : монографія. К.: Видавничий центр НАН, 2005. 245 с.

94. Анилович В.Я., Сычов И.П., Уксюзов Л.А. Исследование влияния профиля лезвия дискового ножа на эффективность процесса обрезки свеклы // Повышение износостойкости и долговечности режущих элементов сельскохозяйственных машин. Материалы Второй научно – технической конференции. ВИСХОМ. М.: 1971. С. 15–23.

95. Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3 т. Изд. 2-е. Т.1. М.: Колос, 1968. 720 с.

96. Желиговский В.А. Экспериментальная теория резания и основы резания лезвием // Труды МИМЭСХ. М., 1940. Вып. 9. 27 с.

97. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. 305 с.

98. Булгаков В.М., Головач І.В. Теорія очистки головок коренеплодів очисником з вертикальною віссю обертання // Сб. науч. тр. Керченського морського технологічного інститута «Механізація виробничих

процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий». Керчь, 2002. Вып. 4 С. 209 – 226.

99. Булгаков В.М., Головач І.В. Основи теорії та розрахунку процесу очистки головок коренеплодів на корені гнучкою лопаттю // Зб. наук. пр. НАУ «Механізація сільськогосподарського виробництва». Т. VII. К.: НАУ., 2005. С. 12 – 14.

100. Arracheuse – chargeuse type 402. Проспект фирмы Matrot (Франция).

101. Zuckerrüben - Erntemaschine SF10 II. Проспект фирмы Franz Kleine. Maschinenfabrik GmbH & Co, Postf. 1250.

102. Мартиненко В.Я., Головки 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.

103. Мартиненко В.Я., Головки 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.

104. Мартиненко В.Я., Головки 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.

105. Мартиненко В.Я., С.І. Головки 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.

106. Рибак Т.І. Вплив перерозподілу зусилля різання активного ножа дообрізувача гички буряків на його довговічність / Т.І. Рибак, О.П. Цьонь, М.Я. Сташків, Г.Б. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Проблеми

надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014. – Вип. № 151. – С. 222–227.

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

108. Цьонь О. Взаємодія робочого органу з коренеплодами при видаленні гички кормових буряків // III Всеукраїнська студентська науково – технічна конференція “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”. Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2010. С. 183.

109. Сташків М.Я., Цьонь О.П. Підвищення довговічності активного плоского ножа дообрізувача гички цукрових буряків // Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2013. Вип. № 139. С. 226 – 230.

110. 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. (Режим доступу: <http://nd.nubip.edu.ua>).

111. Борис А.М. Визначення втрат цукроносної маси та залишків гички цукрового буряку при її безкопірному зрізі // Праці ТДАТУ. Том 1. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 12. С. 191 – 201.

112. 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.

113. . Рибак Т.І., Цьонь О.П., Сташків М.Я., Попович П.В., Цьонь Г.Б. Дообрізувач гички з активним ножом: патент на корисну модель 86895 Україна.

№ u201309816; заявл. 07.08.2013; опубл. 10.01.2014. Бюл. №1. 4 с.

114. Рибак Т.І.; Цьонь Г.Б., Сташків М.Я.; Цьонь О.П.; Довбуш Т.А.; Хомик Н.І. Гичкозбиральна машина: патент на корисну модель 127089 Україна. № u201802684; заявл. 16.03.2018; опубл. 10.07.2018. Бюл. № 13. 4 с.

115. Булгаков В.М., Лінник М.К., Гурченко О.П. Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків // Зб. наук. праць Національного аграрного університету „Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том VI. „Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин”. К.: НАУ, 1999. С. 220.

116. Погорілий М.Л. Моделювання експлуатаційно-технологічних характеристик бурякозбиральних комплексів при різних способах збирання врожаю // Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Том 9. К.: НАУ, 1998. С. 175–182.

117. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин. Львов : Выща школа, 1989. 175 с.

118. Механізми з гвинтовими пристроями / Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін. Львів : Світ, 1992. 380 с.

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

120. 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.

121. Программа и методика проведения испытаний машин для уборки кормовой свеклы. УНИИМЭСХ, УНИИЗ, ВНИИМОЖ, 1987. 43 с.

122. ДСТУ 2258-93. Машини бурякозбиральні. К.: Держстандарт України, 1993. 18 с.

123. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. М., 1972. 257 с.
124. Янчин С.К., Обертышев А.И. Коэффициент заполнения винтовых транспортеров // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. 1970. № 3.
125. Ярошенко В.Ф., Білоножко В.М., Петровський В.В. Уточнення коефіцієнта заповнення міжвиткового простору горизонтального гвинтового транспортера // Наук. вісник Національного аграрного університету. Вип. 49. - 2002. – С. 380–384.
126. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. 706 с.
127. 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.
128. Вайсон А.А. Подъемно-транспортные машины. М., 1975. 468 с.
129. Гевко Б.М. Научные основы разработки винтовых транспортирующих механизмов сельскохозяйственных машин : автореф. дис....д-ра техн. наук. Ростов-на-Дону, 1987. 35 с.
130. Барановський В.М., Цьонь Г.Б. Кінематичний аналіз переміщення ножа обрізника по головці коренеплоду. Зб. тез доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987). Київ, 21-22 лютого 2019 р. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 136.
131. Юхин Г.П. Некоторые физико-механические свойства кормовой свеклы. Механизация и электрофикация сельского хозяйства. 1976. № 4. С. 48–49.
132. Результаты экспериментальных исследований активных плоских ножей свеклоуборочных машин / Цень О.П., Попович П.В., Цень А.Б., Хомик Н.И. Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : мат. III Всероссийской науч.-техн. конф. Рубцовск, 18-19 дек. 2013 р. Рубцовск: Рубцовский индустриальный ин-т, 2013. С. 135-138.

133. Цьонь Г.Б. Програма дослідження робочих органів гичкозбирального модуля. Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Тернопіль: ТНТУ, 2018. Т. 1. С. 215.

134. Василенко П.М., Погорельый Л.В. Основы научных исследований. Механизация сельского хозяйства. К.: Вища школа, 1985. – 266 с.

135. Основы научных исследований. Под ред. В.И.Крутова, В.В. Попова - М.: Высшая шк., 1989. – 363 с.

136. Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

137. Бабицкий Л.Ф., Булгаков В.М., Войтюк Д.Г. Основы научных исследований. Киев: Издательство НАУ, 1999. 205 с.

138. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки данных. М.: Колос, 1973. 159 с.

139. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 415 с.

140. Погорельый Л.В., Брей В.В. Применение метода системного анализа при испытаниях сельскохозяйственной техники. М.: 1976.Кринецкий И.И. Основы научных исследований. К.: Вища школа, 1980. 266 с.

141. КД 46.16.01.005 – 93 “Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”. К. 34 с.

142. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М.:Мир, 1972. 374 с.

143. Завалишин Ф.С., Манцев Н.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. М.: Колос, 1982. 228 с.

144. Цьонь О.П., Сташків М.Я., Цьонь Г.Б. Обґрунтування вибору обладнання для проведення експериментальних досліджень активних плоских ножів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків: Віровець А.П. «Апостроф», 2014. Вип. № 145. С. 100-104.

145. 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.

146. О.П. Цьонь, Г.Б. Цьонь. Планування багатofакторного експерименту

з дослідження активних дообрізувачів гички. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доп. Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль, 11-12 грудня 2013 р. Тернопіль: ТНТУ, 2013. С. 165.

147. О. Цьонь, П. Попович, Г. Цьонь. Програма експериментальних досліджень активних плоских ножів. Природничі науки та інформаційні технології: зб. тез доп. XVII наук. конф. Тернопіль, 20-21 листопада 2013 р. Тернопіль: ТНТУ, 2013. Том 1. С. 32.

148. Гевко Р.Б., Гладич Б.Б., Павх І.І., Кириленко Т.П. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій – Тернопіль:, 2003. С. 138–144.

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

150. Довідник з механізації виробництва цукрових буряків / О.О. Проценко, В.І. Паламарчук, А.М. Козачук та ін. / За ред. О.О. Проценка. 2-е вид., перероб. і доп. К.: Урожай, 1987. 264 с.

151. Гаркавий А., Івашків Т., Гевко Р. Оцінка техніки і технологій на конкурентоспроможність / Вісник Тернопільської академії народного господарства. 2002. № 6.

152. Сельскохозяйственные машины и основы эксплуатации машинно-тракторного парка / Б.Н. Четыркин, З.И. Воцкий, Н.Г. Поликутин и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 2001. 336 с.

153. Оценка рыночной стоимости машин и оборудования. Серия “Оценочная деятельность”. Учебно-практическое пособие. М.: Дело, 2003. 240 с.

154. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки. Навчально-методичний посібник для студентів економічних спеціальностей. М.Г. Данильченко, Б.Б. Гладич, Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко. Тернопіль : Економічна думка, 2001. 128 с.

155. Інтернет-ресурс. URL: https://autoline.com.ua/-/traktory/mtz/82--c228tm2854m2452?gclid=CjwKCAiA767jBRBqEiwAGdAOr3zFSYgMgRKTxBwiсMxСYPfFdeXEMQrcuzoRy8lGw2ulor6AsglY_xoCxwMQAvD_BwE

156. Інтернет-ресурс. URL: <http://agrotorg.net/ru/board/r-510/p-1/>

ДОДАТКИ

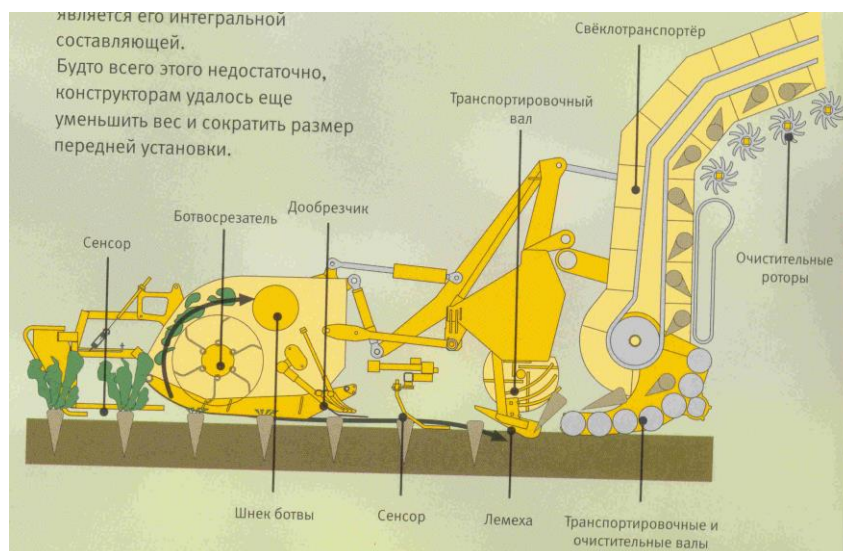
Додаток Б.1.1

Середні розмірно-масові характеристики коренеплодів кормових буряків

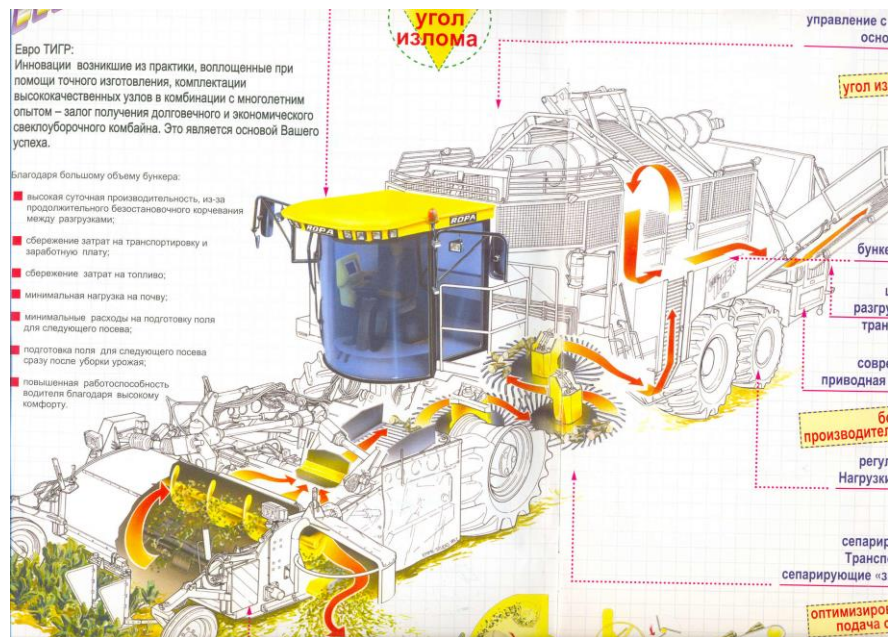
Показник	Значення показника
Ширина міжрядь, мм: - на поливних площах - на неполивних площах	600 ± 40 450 ± 30
Відстань між коренеплодами, мм	180...350
Діаметр, мм	67...122
Довжина, мм	230...280
Кут конусності, град	9,45...18,38
Висота голівки, мм	10,4...32,4
Висота над рівнем ґрунту, мм	18,4...42,4
Маса коренеплоду, кг	0,311...1,548
Густина коренеплоду, кг/м ³	550...650
Координата центра ваги, мм	94
Маса гички, кг	0,11...0,80
Густина гички, кг/м ³	140...160
Урожайність коренеплодів, т/га	25...80

Додаток Б.2.1

Конструктивна схема модуля для збирання гички коренезбиральної машини SF-20 фірми "Kleine"



Технологічний процес двостадійного збирання гички гичкозбиральним механізмом у складі коренезбиральної машини



Додаток В.1.2

Порядок спрощення залежності (2.21)

$$\begin{aligned}
 k_v &= \frac{V_v + V_b}{V_{жс}} = \frac{\pi L_k (D_k - d_m)^2 \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right) z_k + 0,25\pi d_m^2 L_k}{0,5D_{жс} L_k (0,25\pi D_{жс} + D_k)} = \\
 &= \frac{\pi L_k (D_k - d_m)^2 \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right) z_k + 0,25\pi d_m^2 L_k (4S_1 + \Delta S)}{0,5D_{жс} L_k (0,25\pi D_{жс} + D_k) (4S_1 + \Delta S)} = \\
 &= \frac{\pi L_k \left[4(D_k - d_m)^2 \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right) z_k + d_m^2 (4S_1 + \Delta S) \right]}{4 \cdot 0,5D_{жс} L_k (0,25\pi D_{жс} + D_k) (4S_1 + \Delta S)} = \\
 &= \pi \frac{(D_k - d_m)^2 \cos\left(\arctg \frac{2S_1 + \Delta S}{D_k + d_m}\right) z_k + d_m^2}{2D_{жс} (0,25\pi D_{жс} + D_k)}
 \end{aligned}$$

Додаток В.2.2

Результати числових розрахунків продуктивності роботи гвинтового конвеєра

$\Pi := 16, 20.. 40$ $D := 0.24, 0.26.. 0.36$
 $Q1(\Pi) := \Pi \cdot \frac{1}{2.7}$ $Q2(D) := (D^2 - 0.1^2) \cdot \frac{500}{4}$

Q1(Π) =	Q2(D) =
5.926	5.95
7.407	7.2
8.889	8.55
10.37	10
11.852	11.55
13.333	13.2
14.815	14.95

Додаток В.3.3

Порядок спрощення залежності (2.50)

$$\frac{(L_{2H} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_y}{dt}} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha)}{\frac{dS_x}{dt}};$$

$$(L_{2H} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha \frac{dS_x}{dt} \geq d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha) \frac{dS_y}{dt};$$

$$L_{2H} \cos \alpha \frac{dS_x}{dt} - d_{rk} \sin \alpha \cos \alpha \frac{dS_x}{dt} \geq d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha) \frac{dS_y}{dt};$$

$$L_{2H} \cos \alpha \frac{dS_x}{dt} \geq d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha) \frac{dS_y}{dt} + d_{rk} \sin \alpha \cos \alpha \frac{dS_x}{dt};$$

$$L_{2H} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha) \frac{dS_y}{dt} + d_{rk} \sin \alpha \cos \alpha \frac{dS_x}{dt}}{\cos \alpha \frac{dS_x}{dt}};$$

$$L_{2H} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha) \frac{dS_y}{dt} + d_{rk} \sin \alpha \cos \alpha \frac{dS_x}{dt}}{\cos \alpha \frac{dS_x}{dt}};$$

$$L_{2H} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha) \frac{dS_y}{dt}}{\cos \alpha \frac{dS_x}{dt}} + \frac{d_{rk} \sin \alpha \cos \alpha \frac{dS_x}{dt}}{\cos \alpha \frac{dS_x}{dt}};$$

$$L_{2H} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha) \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right)}{\cos \alpha} + d_{rk} \sin \alpha;$$

$$L_{2H} \geq d_{rk} \left(1 + \sin^2 \alpha \right) \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + d_{rk} \sin \alpha;$$

$$L_{2H} \geq d_{rk} \left[\cos \alpha \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + \sin \alpha \right]$$

Додаток В.4.3

Порядок спрощення залежності (2.55)

$$\frac{(L_{\Delta H} - (d_{rk} + 2\Delta_y)\sin\alpha)\cos\alpha}{\frac{dS_y}{dt}} \geq \frac{d_{rk}(\cos\alpha + \sin^2\alpha)}{\frac{dS_x}{dt}};$$

$$(L_{\Delta H} - (d_{rk} + 2\Delta_y)\sin\alpha)\cos\alpha \frac{dS_x}{dt} \geq d_{rk}(\cos\alpha + \sin^2\alpha) \frac{dS_y}{dt};$$

$$L_{\Delta H} \cos\alpha \frac{dS_x}{dt} - (d_{rk} + 2\Delta_y)\sin\alpha \cos\alpha \frac{dS_x}{dt} \geq d_{rk}(\cos\alpha + \sin^2\alpha) \frac{dS_y}{dt};$$

$$L_{\Delta H} \cos\alpha \frac{dS_x}{dt} \geq (d_{rk} + 2\Delta_y)(\cos\alpha + \sin^2\alpha) \frac{dS_y}{dt} + d_{rk} \sin\alpha \cos\alpha \frac{dS_x}{dt};$$

$$L_{\Delta H} \geq \frac{d_{rk}(\cos\alpha + \sin^2\alpha) \frac{dS_y}{dt} + (d_{rk} + 2\Delta_y)\sin\alpha \cos\alpha \frac{dS_x}{dt}}{\cos\alpha \frac{dS_x}{dt}};$$

$$L_{\Delta H} + 2\Delta_y \geq \frac{d_{rk}(\cos\alpha + \sin^2\alpha) \frac{dS_y}{dt} + d_{rk} \sin\alpha \cos\alpha \frac{dS_x}{dt}}{\cos\alpha \frac{dS_x}{dt}};$$

$$L_{\Delta H} \geq \frac{(d_{rk} + 2\Delta_y)(\cos\alpha + \sin^2\alpha) \frac{dS_y}{dt}}{\cos\alpha \frac{dS_x}{dt}} + \frac{d_{rk} \sin\alpha \cos\alpha \frac{dS_x}{dt}}{\cos\alpha \frac{dS_x}{dt}};$$

$$L_{\Delta H} \geq \frac{(d_{rk} + 2\Delta_y)(\cos\alpha + \sin^2\alpha) \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right)}{\cos\alpha} + d_{rk} \sin\alpha;$$

$$L_{\Delta H} \geq (d_{rk} + 2\Delta_y) \left(1 + \sin^2\alpha \right) \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + d_{rk} \sin\alpha;$$

$$L_{\Delta H} \geq (d_{rk} + 2\Delta_y) \left[\cos\alpha \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + \sin\alpha \right]$$

Додаток В.5.3

Порядок спрощення залежності (2.61)

$$\begin{aligned}
 L_H &\geq 2\left(\sqrt{D_k h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right) \left(K_H \cos \alpha + \sin \alpha\right) = \\
 &= 2\left(\sqrt{D_k h_p - h_p^2} K_H \cos \alpha + \Delta y_k K_H \cos \alpha + \sqrt{D_k h_p - h_p^2} \sin \alpha + \Delta y_k \sin \alpha\right) = \\
 &= 2\left[K_H \cos \alpha \left(\sqrt{D_k h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right) + \sin \alpha \left(\sqrt{D_k h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right)\right] = \\
 &= 2\left[K_H \cos \alpha \left(\sqrt{D_k h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right) (1 + \sin \alpha)\right]; \\
 0,5L_H &\geq K_H \cos \alpha \left(\sqrt{D_k h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right) (1 + \sin \alpha); \\
 K_H &\leq \frac{L_H}{2 \cos \alpha \left(\sqrt{D_k h_p - h_p^2} + \Delta y_k\right) (1 + \sin \alpha)}
 \end{aligned}$$

Додаток Г.1.1

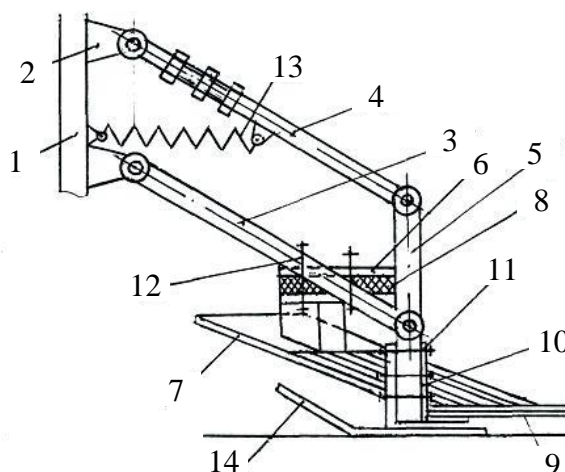


Рис. 1.Г.1.1. Схема удосконаленого обрізника залишків гички:

- 1 – рама; 2, 6, 10 – кронштейн; 3, 4 – тяга верхня, нижня; 5 – стояк;
 7 – копір; 8 – амортизатор; 9 – ніж; 11, 12 – різьбове з'єднання;
 13 – пружина; 14 – опорна лижа

Додаток Г.2.1

Технічна характеристика польової установки гичкозбирального модуля

Показники	Значення показників
Ширина захвату, м	2,7
Кількість рядків, шт.	6
Діаметр ротора гичкоріза, м	0,6
Частота обертання ротора гичкоріза, об/хв	600
Діаметр шнека, м	0,3
Частота обертання шнека, об/хв	100...220
Крок першого витка шнека, м	0,15

Додаток Г.3.2

План-матриця проведення трифакторного експерименту типу ПФЕ 3³

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів			Параметр оптимізації, P_k^*			Середні значен. P_{kc}^*
								Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	1	2	3	$Y_{сеп.}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+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	+1	+1	-1	+1	-1	-1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7	+1	-1	0	-1	0	+1	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	+1	-1	+1	-1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	Y_{11c}
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	Y_{12c}
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y_{131}	Y_{132}	Y_{133}	Y_{13c}
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	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	-1	0	+1	0	-1	0	Y_{161}	Y_{162}	Y_{163}	Y_{16c}
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	Y_{171}	Y_{172}	Y_{173}	Y_{17c}
18	+1	0	0	+1	0	0	0	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	0	-1	0	0	Y_{201}	Y_{202}	Y_{203}	Y_{20c}
21	+1	0	-1	0	0	0	0	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	Y_{21c}
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	Y_{221}	Y_{222}	Y_{123}	Y_{22c}
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	Y_{231}	Y_{232}	Y_{233}	Y_{23c}
24	+1	0	+1	0	0	0	0	Y_{241}	Y_{242}	Y_{243}	Y_{24c}
25	+1	-1	0	0	0	0	0	Y_{251}	Y_{252}	Y_{253}	Y_{25c}
26	+1	+1	0	0	0	0	0	Y_{261}	Y_{262}	Y_{263}	Y_{26c}
27	+1	0	0	0	0	0	0	Y_{271}	Y_{272}	Y_{273}	Y_{27c}

Продовження додатку Г.3.2

План-матриця проведення двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів	Параметр оптимізації, Q_k			Середнє значення
					Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	1	2	3	Q_{kc}
1, 10, 19	+1	-1	-1	+1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}
2, 11, 20	+1	+1	-1	-1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}
3, 12, 21	+1	0	-1	0	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}
4, 13, 22	+1	-1	+1	-1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}
5, 14, 23	+1	+1	+1	+1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
6, 15, 24	+1	0	+1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7, 16, 25	+1	-1	0	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
8, 17, 26	+1	+1	0	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
9, 18, 27	+1	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}

Додаток Г.4.2

Рандомізована план-матриця експерименту типу ПФЕ 3^3

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів			Параметр оптимізації $П_k^*$			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	$П_{kc}^*$
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_{223}	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}

Продовження додатку Г.4.2

Таблиця 2.Г.4.2

Рандомізована план-матриця експерименту типу ПФЕ 3^2

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів	Параметр оптимізації, Q_k			Середнє значення
					Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	1	2	3	Q_k
7, 16, 25	+1	-1	0	0	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}
4, 13, 22	+1	-1	+1	-1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}
8, 17, 26	+1	+1	0	0	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}
1, 10, 19	+1	-1	-1	+1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}
9, 18, 27	+1	0	0	0	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
3, 12, 21	+1	0	-1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
5, 14, 23	+1	+1	+1	+1	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
6, 15, 24	+1	0	+1	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
2, 11, 20	+1	+1	-1	-1	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}

Додаток Г.5.2

Таблиця 1.Г.5.2

Умови проведення експериментальних досліджень

Найменування показників	Значення показників за даними досліджень
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	18,4 21,3 23,1
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	1,3 2,1 3,1

Продовження додатку Г.5.2

Таблиця 2.Г.5.2

Загальна характеристику культури та залікової ділянки поля

Найменування показників	Значення показників
Сорт кормових буряків	«Київський»
Ширина міжрядь, см: - середня	45
- середньоквадратичне відхилення, \pm см	0,9
Урожайність коренеплодів, ц/га	320,5
Густота насаджень рослин, тис. шт./га	81,5
Врожайність гички, ц/га	85,0
Відстань між коренеплодами в рядку, м	0,21...0,26
Діаметр коренеплодів, м	0,1...0,2
Розмір коренеплодів за групами, мм: - великі	
діаметр коренеплодів	120
довжина коренеплодів	240
- середні	
діаметр коренеплодів	70
довжина коренеплодів	130
- дрібні	
діаметр коренеплодів	45
довжина коренеплодів	100
Співвідношення груп коренеплодів за масою, %	70,1/25,5/4,4
Відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка, \pm см	до 3,8
Висота розташування головок коренеплодів над поверхнею ґрунту, \pm см	3,8...8,6
Кількість бур'янів на 1 м ² , шт.; кг/м ²	до 13; 1,2

Додаток Г.5.2



Рисунок 1.Г.6.4 – Загальний вигляд: а – контактний мікроперемикач; б – мультимедійна швидкісна відеокамера; в – відеореєстратор

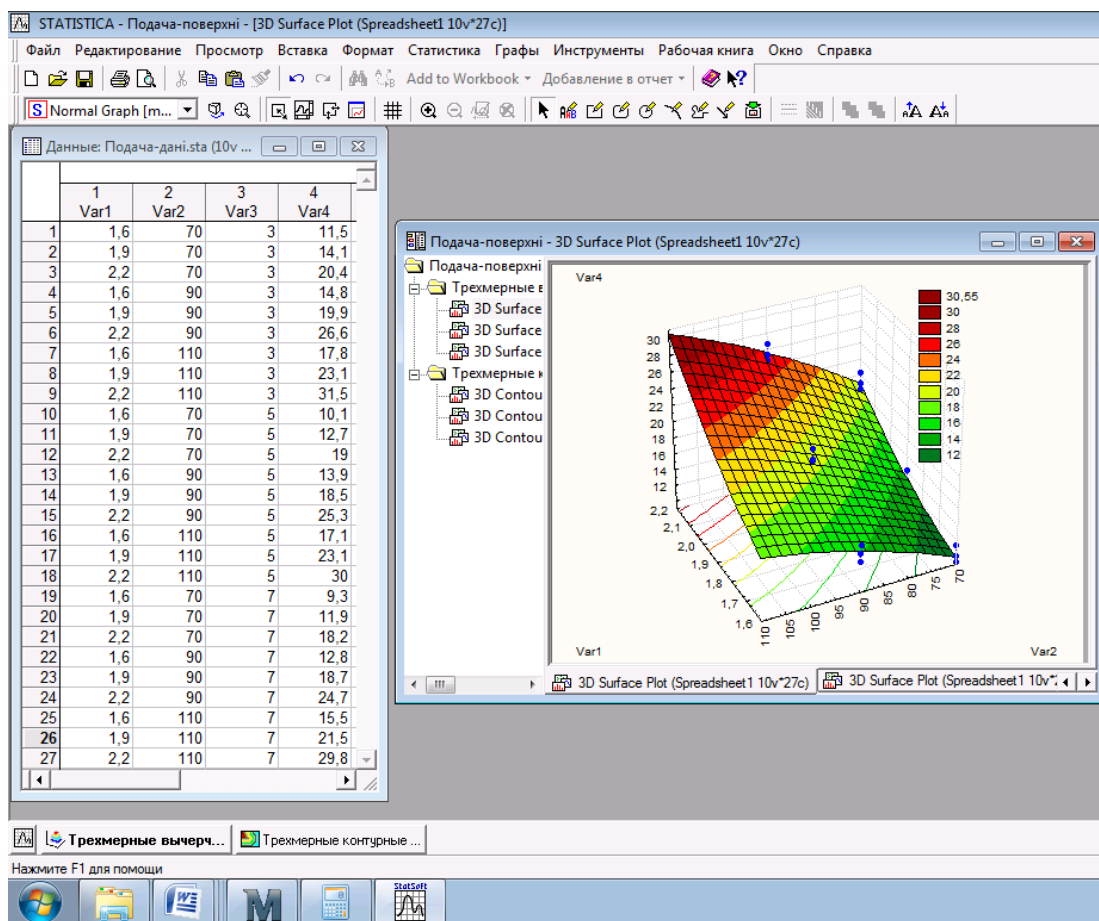
Додаток Г.7.4

Значення швидкості різання $V_p = V_M$

Довжина маятника l , м	Кут відхилення маятника α , град.		
	30	45	60
	Початкова швидкість різання $V_p = V_M$, м/с		
0,5	1,15	1,69	2,21
0,55	1,2	1,6	2,0
0,6	1,26	1,86	2,43
0,7	1,36	2,01	2,62
0,8	1,45	2,14	2,8
0,9	1,54	2,27	2,97
1,0	1,62	2,4	3,31

Додаток Д.1.1

Експериментальні дані секундної подачі Π_{ke}^{\bullet} рослинних компонентів до
ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА



Var1 – швидкість руху модуля, м/с;

Var2 – густина насадження коренеплодів, тис. шт/га;

Var3 – інтервал зміни урожайності гички, ц/га;

Var4 – секундна подача Π_{ke}^{\bullet} рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, кг/с.

Додаток Д.2.1

Статистичні показники обробки експериментального масиву
секундної подачі P_{ke}^{\bullet} рослинних компонентів до гвинтового конвеєра

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	Корреляция	Коэффициент	Статистич.	t-альфа	Значимость
ре- рем.	отклонение	Y с X(i)	регрессии	ошибка	коэф. регр.	коэф. регр.	регрессии
Зависимая переменная							
Y	+18.956	+6.234		-32.810219			
Независимые переменные							
X(1)	+1.900	+0.250	+0.761510	+17.348757	+1.212169	+14.31	значим
X(2)	+88.519	+16.572	+0.683592	+0.225417	+0.018373	+12.27	значим
X(3)	+5.000	+1.664	-0.128277	-0.230081	+0.181825	-1.27	незначим

Коэффициенты регрессии для уравнения
Y -32.81021881104
X(1) +17.34875679016
X(2) +0.22541651130
X(3) -0.23008137941

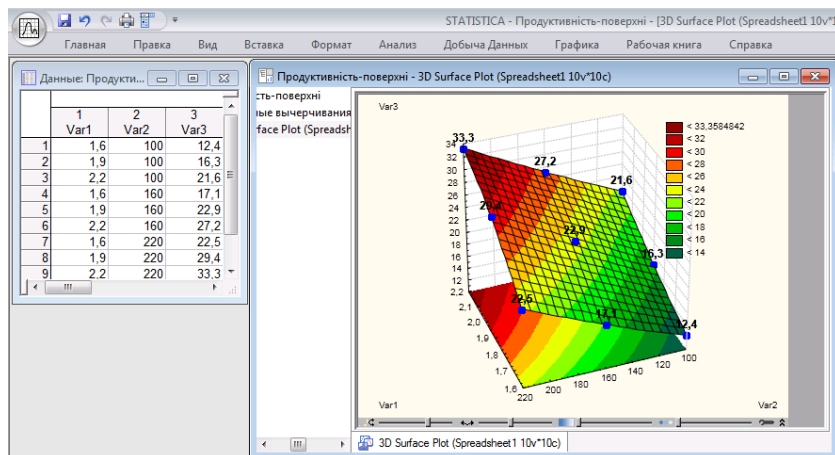
Имя файла OLEG .STA
Нажмите любую клавишу

Коэффициент множественной детерминации D= 0.947
Коэффициент множественной корреляции R= 0.973
Стандартное отклонение оценки s= 1.533
F критерий Фишера = 135.638
Коэффициент D значим с вероятностью P = 1.00000

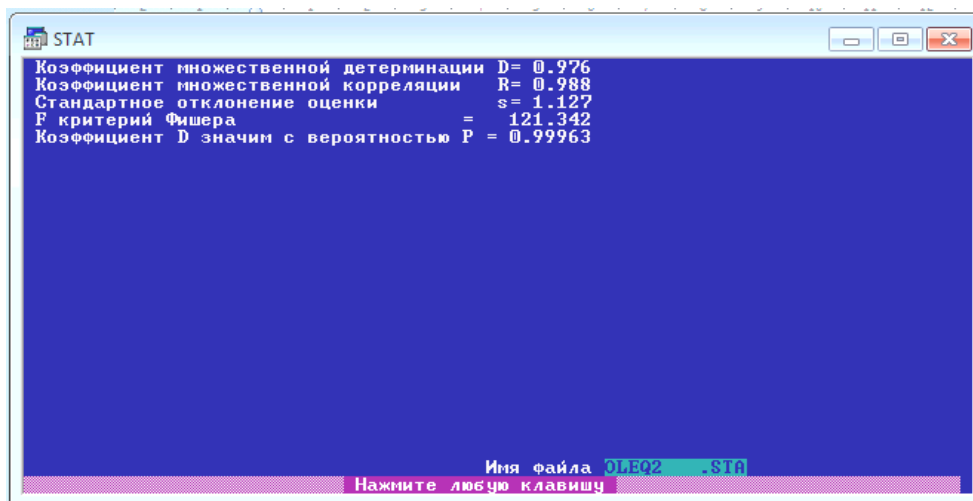
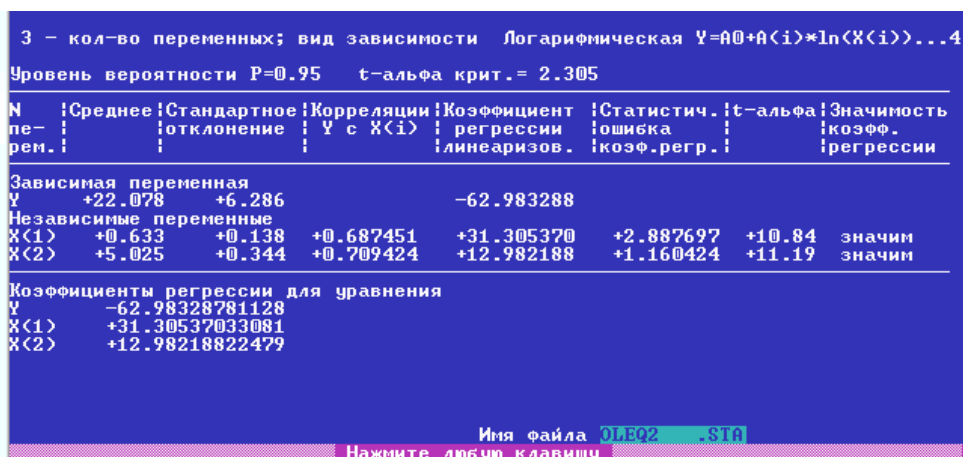
Имя файла OLEG .STA
Нажмите любую клавишу

Додаток Д.3.2

Експериментальні дані продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра



Статистичні показники обробки експериментального масиву
продуктивності гвинтового конвеєра



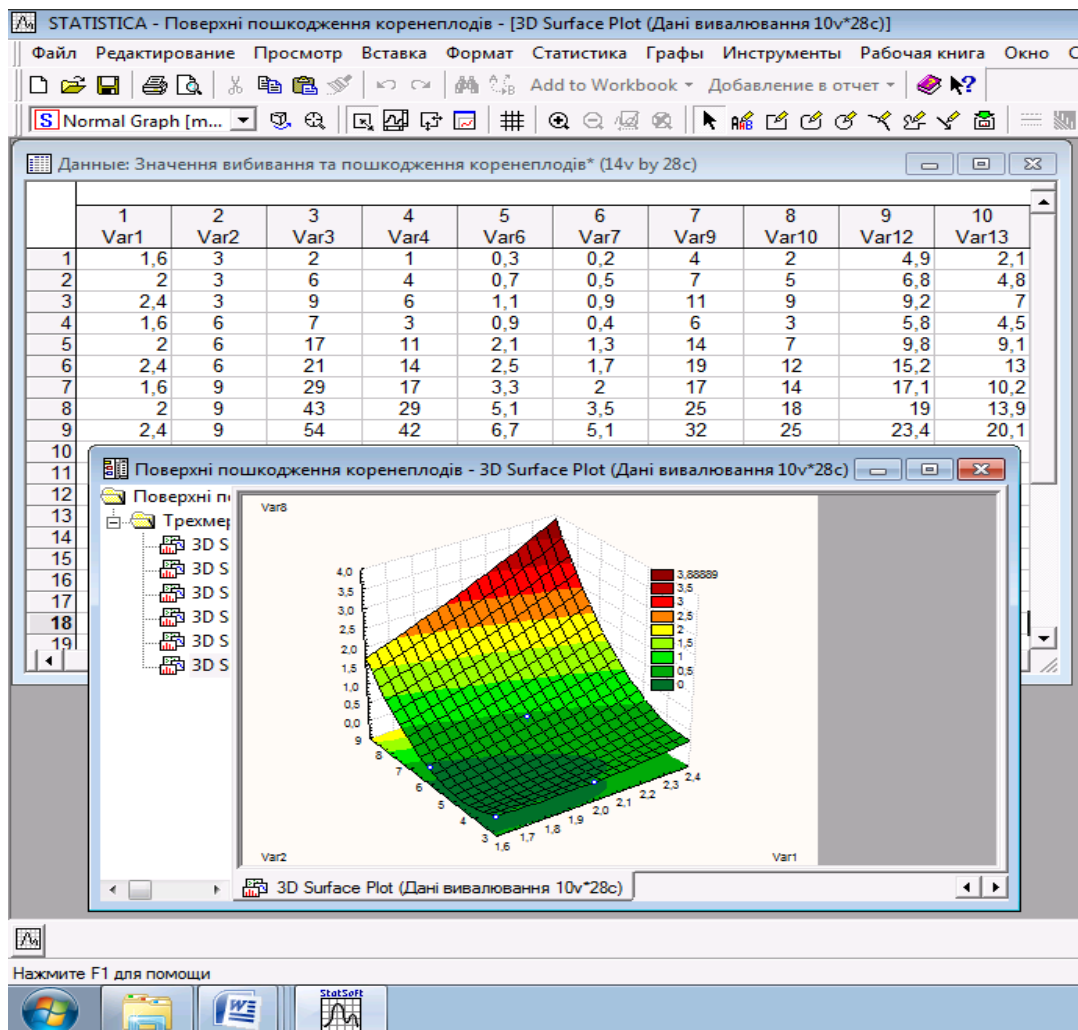
Додаток Д.4.3

Масив генеральної вибірки експериментальних даних кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених коренеплодів

	Var1	Var2	Var3	Var4																
1	0,4	0,4	6	5																
2	1,1	0,7	8	7,5	1	0,6	1,9	7,5	7,5	1	2	1,7	14	6,5	1	1,1	1,2	9	9	
3	0,8	1	10	8	2	1,5	2,2	8	8	2	1,5	1,6	15	10	2	1,5	1,4	9,5	9,5	
4	0,5	0,5	9	7	3	1,3	0,4	8	6	3	0,8	1,9	15,5	9	3	1,7	1,7	10	10	
5	0,7	0,8	11	9,5	4	1,1	0,7	9,5	7,5	4	1,3	2,2	16	7	4	0,9	1,6	7	7	
6	1	1,2	12	10	5	0,9	1	10	10	5	0,4	0,4	6	6	5	1,1	1,9	7,5	7,5	
7	0,7	0,7	8	6,5	6	1	0,5	9,5	9,5	6	0,9	0,7	8	8	6	1,3	2,2	8	8	
8	1	1,1	8,5	6	7	0,9	0,8	10	10	7	0,6	1	10	10	7	1,2	1,5	8	8	
9	1,3	1,5	9	7,5	8	0,7	1,2	10,5	10,5	8	2	0,5	9	9	8	1,3	0,5	9,5	6	
10	0,5	0,5	11,5	9,5	9	1,5	0,7	12	12	9	1,3	0,8	11	6	9	1,5	0,8	10	5,5	
11	1,1	0,8	12,5	10,5	10	1,3	1,1	12,5	6,5	10	1	1,2	12	5,5	10	1,6	1,1	9,5	7	
12	0,9	1,1	13	11	11	0,7	1,5	13	11	11	0,4	0,7	8	8	11	1,8	0,8	10	10	
13	0,8	0,8	10,5	8	12	0,5	0,5	9,5	9,5	12	0,6	1,1	8,5	8,5	12	2	1,1	10,5	6	
14	1	1,1	11	9	13	1,6	0,8	10	10	13	1,1	1,5	9	9	13	0,5	1,4	12	5,5	
15	1,2	1,4	11,5	7,5	14	0,8	1,1	10,5	5,5	14	0,5	0,5	11,5	6,5	14	1,9	1,1	12,5	7	
16	1,1	1,1	8,5	6	15	0,5	0,8	11	8	15	0,7	0,8	12,5	8	15	0,7	1,6	13	5,5	
17	1,5	1,6	9	7	16	1,1	1,1	11,5	9	16	1,1	1,1	13	9,5	16	0,8	1,9	9,5	6	
18	1,7	1,9	10	6,5	17	1,4	1,4	11	11	17	0,7	0,8	10,5	10,5	17	1,5	0,9	10	8	
19	0,9	0,9	12	12	18	0,9	1,1	12,5	9,5	18	1	1,1	11	7	18	1	1,2	10,5	6	
20	1,1	1,2	12,5	8,5	19	1,1	1,6	13	10	19	1,3	1,4	11,5	8	19	1,1	1,5	11	7	
21	1,3	1,5	13	9	20	0,6	1,9	13,5	7,5	20	0,5	1,1	8,5	8,5	20	1,7	1,2	11,5	6	
22	1,3	1,2	9	9	21	1,6	0,9	11	11	21	0,7	1,6	9	9	21	1	1,4	11	5	
23	1,1	1,4	9,5	9,5	22	1,8	1,2	11,5	8,5	22	0,9	1,9	10	10	22	1,2	1,7	12,5	7,5	
24	0,8	1,7	10	10	23	0,8	1,5	12	9	23	0,8	0,9	12	7,5	23	0,9	1,6	13	6,5	
25	1	1,6	7	7	24	1,1	1,2	13	7,5	24	1	1,2	12,5	9	24	1,3	1,9	13,5	5,5	
					25	1,4	1,4	13,5	9	25	1,2	1,5	13	8,5	25	0,4	2,2	11	6	

Додаток Д.5.3

Масив експериментальних даних кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених коренеплодів



Var1 – швидкість руху гичкозбирального модуля, V_M , м/с;

Var2 – висота розташування головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту, h_k , см;

Var3, 4, Var7, 8 – відповідно, кількість пошкоджених коренеплодів і кількість вибитих коренеплодів з ґрунту від загальної кількості коренеплодів однієї проби Π_{1k} , Π_{2k} , B_{1k} , B_{2k} %;

Var5, 6, Var9, 10 – відповідно, кількість пошкоджених коренеплодів і кількість вибитих коренеплодів з ґрунту від загальної маси коренеплодів однієї проби Π_{1m} , Π_{2m} , B_{1m} , B_{2m} ,

Додаток Д.6.3

Статистичні показники обробки масиву експериментальних даних кількості пошкоджених коренеплодів:

$$\Pi_{1m} = f_B(V_M, h_k)$$

STAT						
3 - кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.305						
N	Корр-п-рен. IV с X	Козэф-циент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Козэф-циент эластичности	Значимость регрессии
Зависимая переменная Y -0.751278638840						
Независимые переменные						
1	+0.385	+3.328891515732	+3.87518	+0.86	+2.64	незначим
2	+0.863	-1.738877773285	+0.27437	-6.34	-4.14	значим
1×1	+0.382	-1.040558099747	+0.95768	-1.09	-1.69	незначим
1×2	+0.966	+0.541668653488	+0.09033	+6.00	+2.58	значим
2×2	+0.888	+0.114813953638	+0.01703	+6.74	+1.91	значим
Имя файла STOROGUK_STA						

STAT			
Таблица анализа дисперсии			
Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	37.6546	5	7.531
Остаток	0.1410 0	### 3	0.047
Итого	37.7956	8	
Козэф-циент множественной детерминации D= 0.996 Козэф-циент множественной корреляции R= 0.998 Стандартное отклонение оценки s= 0.217 F критерий Фишера = 160.247 Козэф-циент D значим с вероятностью P = 0.99457			
Имя файла STOROGUK_STA			

$$\Pi_{2m} = f_B(V_M, h_k)$$

STAT						
3 - кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.305						
N	Корр-п-рен. IV с X	Козэф-циент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Козэф-циент эластичности	Значимость регрессии
Зависимая переменная Y +6.586805343628						
Независимые переменные						
1	+0.361	-3.956256866455	+2.99844	-1.32	-7.12	незначим
2	+0.825	-1.677767753601	+0.21230	-7.90	-9.06	значим
1×1	+0.363	+0.728662312031	+0.74101	+0.98	+2.69	незначим
1×2	+0.927	+0.416661441326	+0.06989	+5.96	+4.50	значим
2×2	+0.865	+0.107407517731	+0.01318	+8.15	+4.06	значим
Имя файла STOROGUK_STA						

STAT			
Таблица анализа дисперсии			
Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	15.6045	5	3.121
Остаток	0.0844 0	### 3	0.028
Итого	15.6889	8	
Козэф-циент множественной детерминации D= 0.995 Козэф-циент множественной корреляции R= 0.997 Стандартное отклонение оценки s= 0.168 F критерий Фишера = 110.921 Козэф-циент D значим с вероятностью P = 0.99208			
Имя файла STOROGUK_STA			

Продовження додатку Д.6.3

$$B_{1k} = f_B(V_M, h_k)$$

STAT							STAT																																						
3 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.305							Таблица анализа дисперсии																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Корре- п-ляции</th> <th>Коеффициент регрессии</th> <th>Статистич. ошибка</th> <th>t- альфа</th> <th>Коеф. эласти-</th> <th>Значимость Коеф.</th> </tr> <tr> <th>рен. IV с X</th> <th>линеаризов.</th> <th></th> <th>Коеф. регр.</th> <th></th> <th>лчности</th> <th>регрессии</th> </tr> </thead> </table>							N	Корре- п-ляции	Коеффициент регрессии	Статистич. ошибка	t- альфа	Коеф. эласти-	Значимость Коеф.	рен. IV с X	линеаризов.		Коеф. регр.		лчности	регрессии	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Компоненты дисперсии</th> <th>Сумма квадратов</th> <th>Число степеней свободы</th> <th>Среднее значение</th> </tr> </thead> </table>				Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение																	
N	Корре- п-ляции	Коеффициент регрессии	Статистич. ошибка	t- альфа	Коеф. эласти-	Значимость Коеф.																																							
рен. IV с X	линеаризов.		Коеф. регр.		лчности	регрессии																																							
Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение																																										
Зависимая переменная y -19.848991394043 Независимые переменные							<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Регрессия</td> <td>2575.4456</td> <td>5</td> <td>515.089</td> </tr> <tr> <td>Остаток</td> <td>3.4436 0</td> <td>### 3</td> <td>1.148</td> </tr> <tr> <td>Итого</td> <td>2578.8892</td> <td>8</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Регрессия	2575.4456	5	515.089	Остаток	3.4436 0	### 3	1.148	Итого	2578.8892	8																								
Регрессия	2575.4456	5	515.089																																										
Остаток	3.4436 0	### 3	1.148																																										
Итого	2578.8892	8																																											
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>+0.370</td> <td>+38.291770935059</td> <td>+19.15176</td> <td>+2.00</td> <td>+3.67</td> <td>незначим</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>+0.876</td> <td>-13.222166061401</td> <td>+1.35599</td> <td>-9.75</td> <td>-3.80</td> <td>значим</td> </tr> <tr> <td>1x1</td> <td>+0.367</td> <td>-10.406198501587</td> <td>+4.73302</td> <td>-2.20</td> <td>-2.05</td> <td>незначим</td> </tr> <tr> <td>1x2</td> <td>+0.967</td> <td>+3.750019311905</td> <td>+0.44641</td> <td>+8.40</td> <td>+2.15</td> <td>значим</td> </tr> <tr> <td>2x2</td> <td>+0.902</td> <td>+0.981473624706</td> <td>+0.08418</td> <td>+11.66</td> <td>+1.97</td> <td>значим</td> </tr> </tbody> </table>							1	+0.370	+38.291770935059	+19.15176	+2.00	+3.67	незначим	2	+0.876	-13.222166061401	+1.35599	-9.75	-3.80	значим	1x1	+0.367	-10.406198501587	+4.73302	-2.20	-2.05	незначим	1x2	+0.967	+3.750019311905	+0.44641	+8.40	+2.15	значим	2x2	+0.902	+0.981473624706	+0.08418	+11.66	+1.97	значим	Коеффициент множественной детерминации D= 0.999 Коеффициент множественной корреляции R= 0.999 Стандартное отклонение оценки s= 1.071 F критерий Фишера = 448.736 Коеффициент D значим с вероятностью P = 0.99794			
1	+0.370	+38.291770935059	+19.15176	+2.00	+3.67	незначим																																							
2	+0.876	-13.222166061401	+1.35599	-9.75	-3.80	значим																																							
1x1	+0.367	-10.406198501587	+4.73302	-2.20	-2.05	незначим																																							
1x2	+0.967	+3.750019311905	+0.44641	+8.40	+2.15	значим																																							
2x2	+0.902	+0.981473624706	+0.08418	+11.66	+1.97	значим																																							
Имя файла STOROGUK_STA							Имя файла STOROGUK_STA																																						
Нажмите любую клавишу							Нажмите любую клавишу																																						

$$B_{2k} = f_B(V_M, h_k)$$

STAT							STAT																																						
3 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.305							Таблица анализа дисперсии																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Корре- п-ляции</th> <th>Коеффициент регрессии</th> <th>Статистич. ошибка</th> <th>t- альфа</th> <th>Коеф. эласти-</th> <th>Значимость Коеф.</th> </tr> <tr> <th>рен. IV с X</th> <th>линеаризов.</th> <th></th> <th>Коеф. регр.</th> <th></th> <th>лчности</th> <th>регрессии</th> </tr> </thead> </table>							N	Корре- п-ляции	Коеффициент регрессии	Статистич. ошибка	t- альфа	Коеф. эласти-	Значимость Коеф.	рен. IV с X	линеаризов.		Коеф. регр.		лчности	регрессии	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Компоненты дисперсии</th> <th>Сумма квадратов</th> <th>Число степеней свободы</th> <th>Среднее значение</th> </tr> </thead> </table>				Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение																	
N	Корре- п-ляции	Коеффициент регрессии	Статистич. ошибка	t- альфа	Коеф. эласти-	Значимость Коеф.																																							
рен. IV с X	линеаризов.		Коеф. регр.		лчности	регрессии																																							
Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение																																										
Зависимая переменная y +65.536972045898 Независимые переменные							<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Регрессия</td> <td>1232.1115</td> <td>5</td> <td>246.422</td> </tr> <tr> <td>Остаток</td> <td>6.1107 0</td> <td>### 3</td> <td>2.037</td> </tr> <tr> <td>Итого</td> <td>1238.2222</td> <td>8</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Регрессия	1232.1115	5	246.422	Остаток	6.1107 0	### 3	2.037	Итого	1238.2222	8																								
Регрессия	1232.1115	5	246.422																																										
Остаток	6.1107 0	### 3	2.037																																										
Итого	1238.2222	8																																											
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>+0.336</td> <td>-39.564834594727</td> <td>+25.51222</td> <td>-1.55</td> <td>-8.38</td> <td>незначим</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>+0.824</td> <td>-15.777674674988</td> <td>+1.80632</td> <td>-8.73</td> <td>-10.02</td> <td>значим</td> </tr> <tr> <td>1x1</td> <td>+0.339</td> <td>+7.287181377411</td> <td>+6.30490</td> <td>+1.16</td> <td>+3.17</td> <td>незначим</td> </tr> <tr> <td>1x2</td> <td>+0.918</td> <td>+3.749950885773</td> <td>+0.59466</td> <td>+6.31</td> <td>+4.76</td> <td>значим</td> </tr> <tr> <td>2x2</td> <td>+0.868</td> <td>+1.018517851830</td> <td>+0.11213</td> <td>+9.08</td> <td>+4.53</td> <td>значим</td> </tr> </tbody> </table>							1	+0.336	-39.564834594727	+25.51222	-1.55	-8.38	незначим	2	+0.824	-15.777674674988	+1.80632	-8.73	-10.02	значим	1x1	+0.339	+7.287181377411	+6.30490	+1.16	+3.17	незначим	1x2	+0.918	+3.749950885773	+0.59466	+6.31	+4.76	значим	2x2	+0.868	+1.018517851830	+0.11213	+9.08	+4.53	значим	Коеффициент множественной детерминации D= 0.995 Коеффициент множественной корреляции R= 0.998 Стандартное отклонение оценки s= 1.427 F критерий Фишера = 120.979 Коеффициент D значим с вероятностью P = 0.99276			
1	+0.336	-39.564834594727	+25.51222	-1.55	-8.38	незначим																																							
2	+0.824	-15.777674674988	+1.80632	-8.73	-10.02	значим																																							
1x1	+0.339	+7.287181377411	+6.30490	+1.16	+3.17	незначим																																							
1x2	+0.918	+3.749950885773	+0.59466	+6.31	+4.76	значим																																							
2x2	+0.868	+1.018517851830	+0.11213	+9.08	+4.53	значим																																							
Имя файла STOROGUK_STA							Имя файла STOROGUK_STA																																						
Нажмите любую клавишу							Нажмите любую клавишу																																						

Додаток Д.7.3

Технічна характеристика порівняльних гичкозбиральних машин

Найменування показників	Значення показника	
	Удосконалена	Базова
Ширина захвату ГМ, м	2,7	2,7
Швидкість руху ГМ, м/с	1,7	1,7
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 обрізника до горизонту, град.	25	25
Діаметр шнека, м	0,30	0,30
Частота обертання шнека, об/хв	170	170
Діаметр труби барабана шнека, м	0,15	0,15
Робоча довжина активного ножа, м	0,3	-
Швидкість руху активного ножа, м/с	0,5	-
Кут відхилення леза ножа обрізника у горизонтальній площині, град.	0...35	-
Горизонтальний зазор між ріжучою кромкою ножа та задньою торцевою частиною ползків копіра, м	0,03	0,03
Вертикальний зазор між ріжучою кромкою ножа і нижньою торцевою частиною копіра, м	0,015	0,015

Додаток Ж.1.1

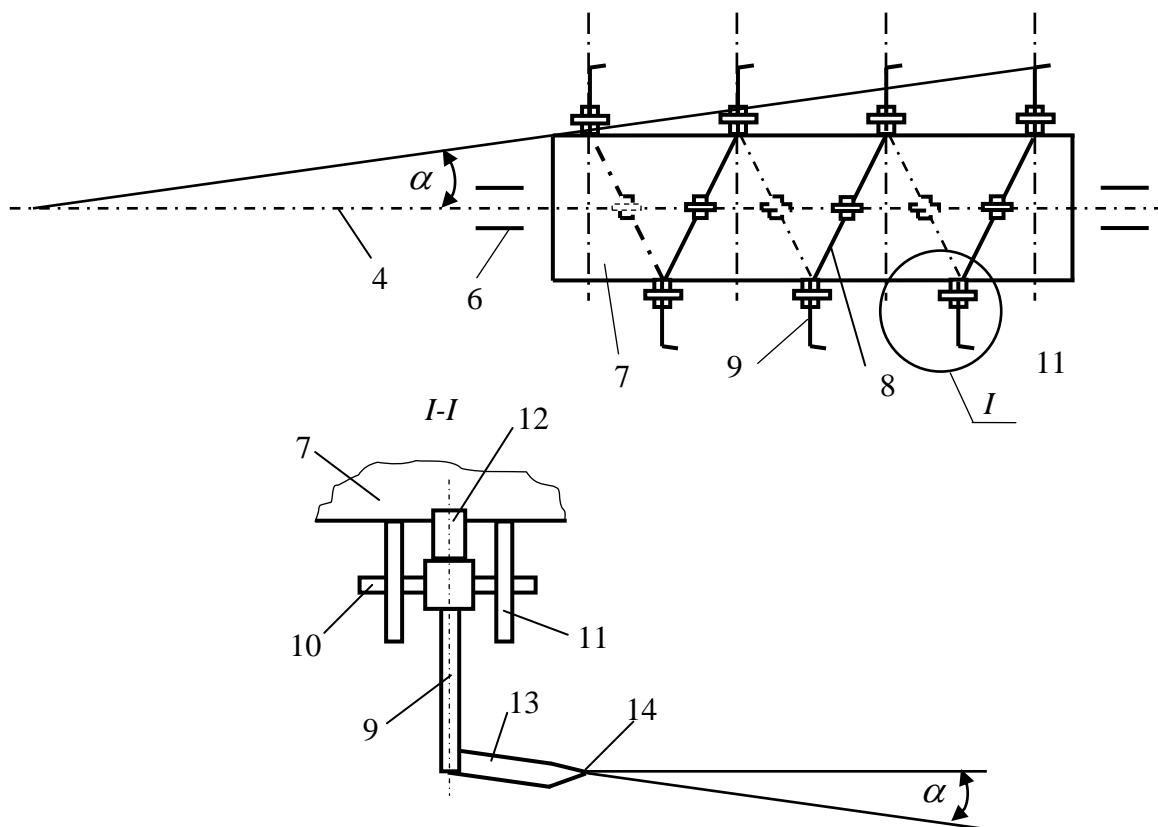


Рис. 1.Ж.1.1. Конструктивна схема роторного гичкоріза