

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЦЬОНЬ ГАННА БОГДАНІВНА

УДК 631.356.22

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України, м. Тернопіль.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Барановський Віктор Миколайович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
професор кафедри технології і обладнання зварювального виробництва.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мироненко Валентин Григорович,
Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»,
завідувач відділом електрифікації та автоматизації промислового виробництва;

кандидат технічних наук, доцент
Онищенко Володимир Борисович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
доцент кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки імені акад. П.М. Василенка.

Захист відбудеться “ 5 ” грудня 2019 року о “ 12 ” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, аудиторія 79.

З дисертаційною роботою можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий “ 4 ” листопада 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент

М.Я. Сташків

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

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

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

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

У зв'язку з цим, розроблення та удосконалення технологічних процесів і робочих органів для збирання гички коренеплодів кормових буряків і дослідження впливу їх конструктивно-кінематичних параметрів з метою поліпшення показників якості роботи гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Розробку конструктивної схеми гичкозбирального модуля та обґрунтування його раціональних конструктивно-кінематичних параметрів проведено у відповідності до державної наукової тематики НДР Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів виробничих систем» (номер державної реєстрації 0117U003998) та є складовою частиною вирішення важливої науково-технічної задачі з розробки й впровадження машин для збирання кормових буряків відповідно до цільової комплексної державної науково-технічної програми наукових робіт та науково-технічних (експериментальних) розробок молодих вчених, затвердженої згідно з Програмою діяльності КМУ «Україна-2020» МОН України у 2015 р.

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

Вирішення даного завдання зведено до розв'язку прикладних задач:

- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему гичкозбирального модуля на основі розробки вдосконалених робочих органів для збирання гички.

- розробити математичну модель подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра залежно від швидкості руху модуля та параметрів насаджень кормових буряків.

- уточнити математичну модель продуктивності гвинтового конвеєра, залежності для визначення діаметра та частоти обертання шнека шляхом узгодження секундної подачі рослинних компонентів і коефіцієнта заповнення шнека.

- теоретично дослідити процес переміщення активного ножа обрізника головок коренеплодів залежно від швидкості руху модуля та параметрів коренеплодів.

- провести експериментальні дослідження секундної подачі гички до гвинтового конвеєра та продуктивності його роботи, пошкодження та кількості вивалених коренеплодів з ґрунту робочими органами обрізника залежно від параметрів процесу.

- провести польові порівняльні дослідження показників якості роботи вдосконаленого та базового гичкозбирального модуля та визначити економічну ефективність його застосування.

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

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

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базувались на механіко-математичному моделюванні технологічного процесу збирання основного масиву гички та обрізування її залишків з головок коренеплодів кормових буряків з використанням основних положень теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, вищої математики та математичної статистики.

Експериментальні дослідження проводилися у польових умовах з використанням розробленого модернізованого гичкозбирального модуля з застосуванням загальновідомих методик математичного планування факторних експериментів і проведення випробувань. Теоретичні розрахунки і статистична обробка експериментальних даних проводилися з використанням прикладних програм для персонального комп'ютера.

Наукова новизна отриманих результатів. Обґрунтовано удосконалений технологічний процес збирання гички коренеплодів кормових буряків і основні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля.

На цій підставі:

- вперше отримано детерміновану математичну модель функціональної зміни подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра залежно від урожайності гички та умов роботи модуля;

- уточнено залежність для визначення продуктивності гвинтового конвеєра, діаметра та частоти обертання шнека на основі узгодження секундної подачі рослинних компонентів і уточненого коефіцієнта заповнення шнека;

- дістали подальший розвиток залежності для визначення робочої довжини та швидкості руху активного ножа обрізника головок від швидкості руху модуля та параметрів кормових буряків;

- розроблено емпіричні залежності, які характеризують зміну секундної подачі зрізаної гички до гвинтового конвеєра та його продуктивності роботи, пошкодження та кількості вивалених коренеплодів з ґрунту робочими органами обрізника залежно від параметрів процесу.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновано та експериментально обґрунтовано удосконалену конструкцію та визначено основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля кормових буряків. За результатами проведеного комплексу теоретичних і експериментальних досліджень розроблено та виготовлено дослідні зразки удосконалених робочих органів гичкозбирального модуля, запропоновано рекомендації виробництву для вибору їх раціональних параметрів.

Результати агротехнічної оцінки модернізованого гичкозбирального модуля підтвердили технологічну ефективність роботи очисника порівняно з базовим. Результати досліджень прийняті ПАТ «Рівнесільмаш» (смт. Квасилів, Рівненська обл.) для розроблення та вдосконалення існуючих робочих органів для збирання гички коренеплодів кормових буряків і використовуються у навчальному процесі кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин ТНТУ ім. І. Пулюя під час викладання дисципліни «Робочі процеси сільськогосподарських машин».

Конструктивна новизна технічного рішення підтверджена 2 патентами України на корисні моделі.

Особистий внесок здобувача Результати роботи викладено одноосібно автором у 1 друкованій праці [11]. У публікаціях, що виконані у співавторстві, особисто дисертантом виконано: [1] – розроблено структурну схему проведення експериментальних досліджень плоских ножів обрізувачів гички; [2] – проведено аналіз конструктивних особливостей активних ножів обрізувачів залишків гички; [3] – розроблено аналітично-прикладну модель процесу подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля; [4] – розроблено удосконалену конструктивну схему та наведено результати експериментальних досліджень продуктивності роботи гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля; [5] – розроблено схему моделі та наведено результати експериментальних досліджень технологічного процесу роботи вдосконаленого обрізника залишків гички; [6] – розроблено аналітичну модель продуктивності роботи гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля; [7] – проведено аналіз конструктивних особливостей гвинтових механізмів; [8] – наведено методику проведення експериментальних досліджень активних плоских ножів; [9] – запропоновано програму та методику проведення експериментальних досліджень; [10] – визначено фактори та рівні їх варіювання; [11] – розроблено програму проведення експериментальних досліджень гичкозбирального модуля; [12] – розроблено аналітичну залежність подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля; [13] – розроблено аналітичні залежності кінематичного аналізу переміщення ножа обрізника по головці коренеплоду; [14] – запропоновано схему удосконаленого обрізника гички з активним ножом; [15] – запропоновано схему удосконаленої гичкозбиральної машини.

Основні результати роботи отримані автором самостійно; постановка задач, аналіз і трактування результатів досліджень виконано спільно з науковим керівником та, частково, із співавторами публікацій, у яких особиста частка складає у середньому 65...75 %. У технічних рішеннях частка всіх співавторів однакова.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати досліджень доповідалися та обговорювалися на: конф. Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічний сервіс машин для рослинництва» (м. Харків, 2014 р.); XVII наук. конф. «Природничі науки та інформаційні технології» (м. Тернопіль, 2013 р.); Міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 100-річчя з дня заснування НАН України (м. Тернопіль, 2018 р.); VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2018 р.); VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» (м. Київ, 21-22 лютого 2019 р.); на розширеному науковому семінарі ТНТУ ім. Івана Пулюя секції № 7 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва, 2019 р.

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 15 наукових працях, із них – 5 статей у фахових виданнях України, 1 стаття в наукометричній базі Web of Science, 1 стаття в закордонному виданні, 2 патенти України на корисну модель, 6 тез наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури з 156 найменувань та 27 додатків. Основна частина викладена на 170 сторінках, містить 54 рисунки і 13 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 224 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Огляд стану питання та обґрунтування вибору робочого органу» наведено аналіз агрофізичних властивостей, способів і технологій збирання гички коренеплодів, конструкцій і класифікацію гичкозбиральних машин, а також обґрунтовано вибір робочого органу для проведення досліджень.

Теоретичному та експериментальному дослідженню технологічних процесів збирання гички коренеплодів з визначенням конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбиральних модулів присвячені праці вчених Аванесова Ю.Б., Барановського В.М., Березового М.Г., Босого Є.С., Булгакова В.М., Василенка П.М., Василенка А.А., Вовка П.Ф., Гевка Р.Б., Герасимчика В.Г., Зуєва М.М., Кобця О.М., Мартиненка В.А., Мироненка В.Г., Мишина М.А., Онищенко В.Б., Погорілого Л.В., Пришляка В.М., Татянка М.В., Топоровського С.А., Хелемендика М.М. та інших дослідників.

На основі аналізу теоретично-експериментальних досліджень процесів і робочих органів, призначених для збирання гички коренеплодів визначено, що найбільш прийнятним і домінуючим способом збирання є двостадійний спосіб, за якого на першій стадії роторним гичкорізом зрізують основний масив гички, а на другій – виконують операцію обрізування залишків гички з головок коренеплодів пасивним обрізником, який виконано за типом «пасивний копір-пасивний ніж».

Загальним недоліком роботи роторних гичкорізів і обрізників залишків гички є те, що процеси зрізування основного масиву гички та обрізування залишків гички відбуваються за рахунок реалізації жорсткого методу «рублення» матеріалу гички, що призводить до відносно незадовільної якості обрізування головок коренеплодів. При цьому наявні динамічні навантаження копіра призводять до вивалювання або вибивання коренеплодів кормових буряків з ґрунтового середовища, які значно перевищують 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, недостатньо 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 та очищення від домішок очисними системами коренезбиральної машини.

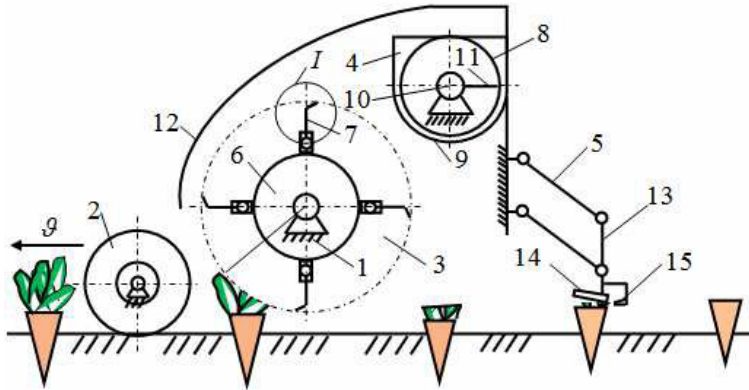


Рис. 1. Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля

конвеєр встановлено у жолобі 9 та виконано у вигляді шнека 8 на барабана 10 якого закріплено спіральні витки 11. Верхня частина ножів і гвинтового конвеєра закрита кожухом 12. Кожен з обрізувачів виконано у вигляді паралелограмної шарнірної підвіски 13, на якій послідовно змонтовано пасивний гребінчастий копір 14 і плоский ніж 15.

У другому розділі «Результати теоретичних досліджень процесу роботи гичкозбирального модуля» наведено результати дослідження технологічної подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та обґрунтування його параметрів і кінематичний аналіз переміщення ножа обрізника головок коренеплодів.

Процес роботи гичкозбирального модуля в першу чергу регламентується та в значній мірі залежить від кількісної технологічної подачі до гвинтового конвеєра 4 (рис. 1) рослинних компонентів, які зрізані Г-подібними ножами 7 роторного гичкоріза 3. Теоретична подача $\Pi_{k1}(t)$ зрізаних ножами роторного гичкоріза рослинних компонентів з одного рядка коренеплодів за проміжок часу

t , складається з сумарної подачі зрізаної гички $\Pi_{z1}(t)$ та подачі бур'янів $\Pi_{b1}(t)$, які знаходяться в рядку, або в суміжному міжрядді

$$\Pi_{k1}(t) = \Pi_{z1}(t) + \Pi_{b1}(t). \quad (1)$$

Якщо збирання гички відбувається з N рядків коренеплодів 1 (рис. 2), 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 буде:

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

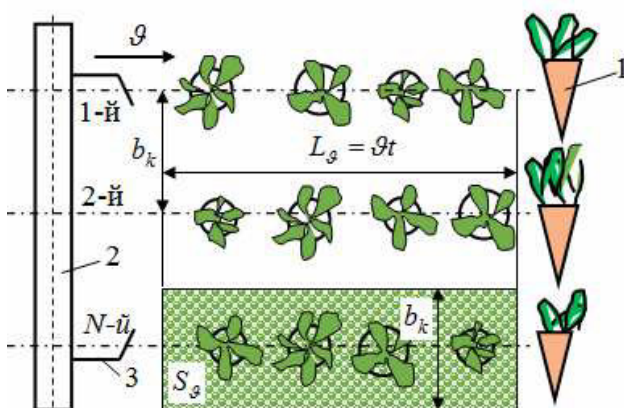


Рис. 2. Схема до розрахунку подачі зрізаних рослинних компонентів до гвинтового конвеєра: 1 – коренеплід; 2 – роторний гичкоріз; 3 – ніж

де $\sum_{i=1}^N \Pi_{ci}(t)$, $\sum_{i=1}^N \Pi_{oi}(t)$ – сумарна подача зрізаної гички та бур'янів з N_i рядків коренеплодів, кг.

Враховуючи значення складових залежності (2), отримано аналітичний запис сумарної теоретичної подачі $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра за проміжок часу t з урахуванням втрат гички та бур'янів

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}(t) = \sum_{i=1}^N \frac{dL_g}{dt} N_i t b_k \left(\frac{dL_g}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} U_{z.c} \mu_z + M_{b.c} \mu_b \right), \quad (3)$$

де L_g – шлях, або кількість погонних метрів, який пройде модуль за час його переміщення t , м; b_k – ширина міжряддя коренеплодів, м; $\Gamma_{k.c}$ – середня густина насаджень в одному i -му рядку на час збирання, шт./м²; $U_{z.c}$, $M_{b.c}$ – середня урожайність гички кожного коренеплоду та середня питома маса бур'янів кожного одного i -го міжряддя коренеплодів, кг/м²; μ_z , μ_b – поправочні коефіцієнти втрат гички та бур'янів.

За максимальних значень $\mu_z = 1,0 - (0,08 + 0,1) = 0,82$ і $\mu_b = 1,0 - 0,1 = 0,9$ та згідно з (3), подача рослинних компонентів до гвинтового конвеєра за час $t = 1$ с, або секундна подача Π_k (кг/с), визначається за виразом

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

де g – швидкість руху гичкозбирального модуля, м/с.

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. 3а) та від 19 до 52 кг/с (рис. 3б). При цьому вагомий і значний вплив на зміну секундної подачі Π_k рослинних компонентів до

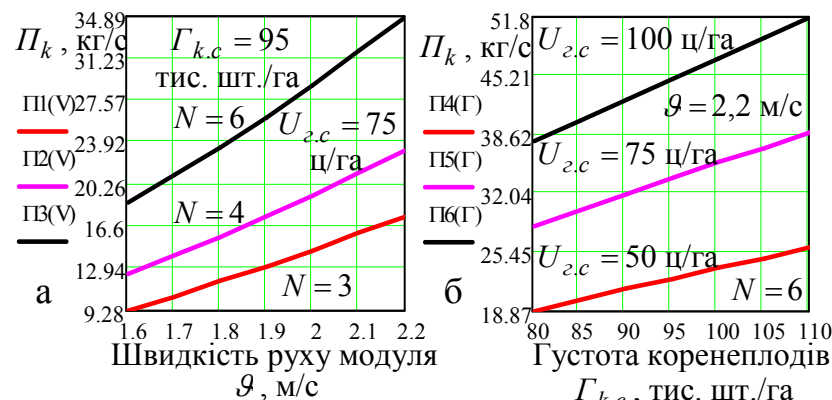


Рис. 3. Залежність секундної подачі Π_k рослинних компонентів до гвинтового конвеєра: а – $\Pi_k = f_{II}(g)$; б – $\Pi_k = f_{II}(\Gamma_{k.c})$

означають збільшення та зменшення середньої урожайності гички $U_{z.c}$. Тоді

сумарну теоретичну подачу $\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля з N рядків коренеплодів за проміжок часу t визначають за формулою

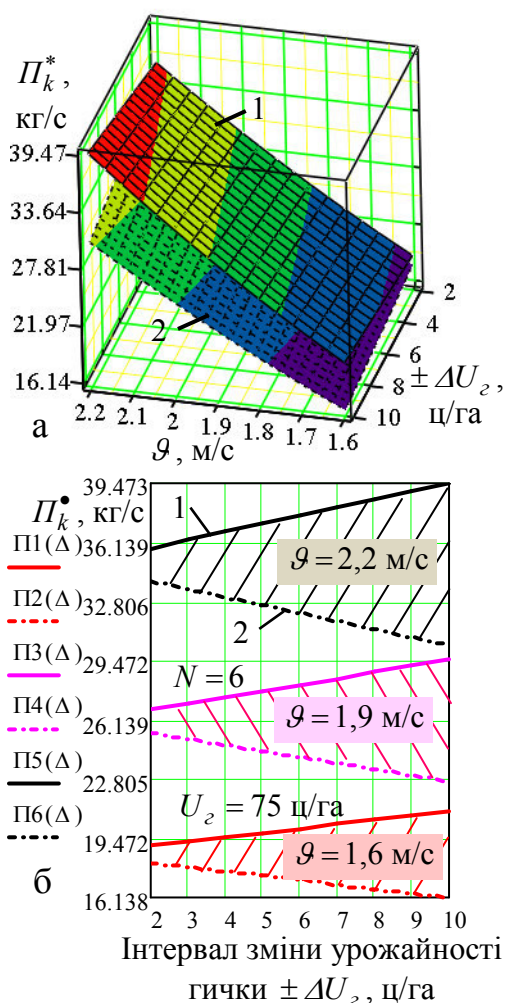


Рис. 4. Залежність зміни Π_k^* :

- а: 1 – $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; +\Delta U_z)$;
 2 – $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; -\Delta U_z)$;
 б: 1 – $\Pi_k^* = f_{\Pi}(+\Delta U_z)$;
 2 – $\Pi_k^* = f_{\Pi}(-\Delta U_z)$

переміщення спіральними витками 11 шнека 9 у жолобі 8, який утворено направляючим кожухом 4.

Коефіцієнт заповнення робочого простору гвинтового конвеєра зрізаною гичкою $\varphi_z = 1 - k_v$ визначено з урахуванням коефіцієнта k_v , що враховує об'єм робочих елементів шнека, які вони займають у об'ємі робочого русла жолоба.

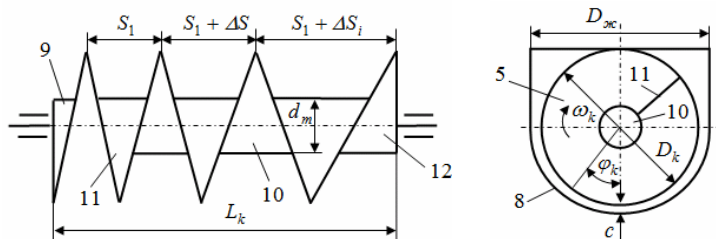
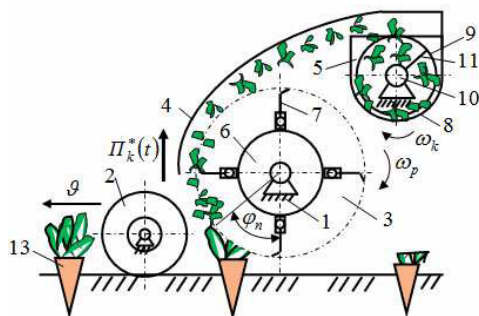


Рис. 5. Схема для розрахунку продуктивності роботи шнека:

- 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

$$\sum_{i=1}^N \Pi_{ki}^*(t) = \frac{dL_g}{dt} b_k N t \left[\frac{dL_g}{dt} b_k t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) \mu_z + M_{\delta.c} \mu_{\delta} \right]. \quad (5)$$

Таким чином, секундну подачу Π_k^* (кг/с) рослинних компонентів до гвинтового конвеєра з урахуванням зміни $U_{z.c}$ визначають за виразом

$$\Pi_k^* = g b_k N \left[0,82 \cdot 10^{-4} g b_k t \Gamma_{k.c} (U_{z.c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{\delta.c} \right]. \quad (6)$$

На основі аналізу рис. 4а 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 такому діапазоні: за умови $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; +\Delta U_z)$ від 19,5 до 39,5 кг/с; за умови $\Pi_k^* = f_{\Pi}(g; -\Delta U_z)$ від 16 до 34 кг/с, при цьому середнє значення приросту або спадання Π_k^* в діапазоні зміни інтервалу урожайності дорівнює: 2,0 кг/с – за швидкості руху модуля $g = 1,6$ м/с, відповідно, 2,4 кг/с – за $g = 1,9$ м/с; 3,3 кг/с – за $g = 2,2$ м/с (рис. 4б).

Визначені аналітично 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 продуктивності роботи гвинтового конвеєра.

Обґрунтування параметрів гвинтового конвеєра проведено на основі аналізу процесу переміщення гвинтовим конвеєром 5 зрізаних рослинних компонентів (рис. 5), або їх

За результатами досліджень отримано залежність для визначення розрахункової продуктивності гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля

$$Q_k = (D_k^2 - d_m^2) \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{8\pi} \psi_\alpha \psi_y \rho_v (1 - k_v) \frac{d\varphi_k}{dt}, \quad (7)$$

де D_k , d_m – відповідно, діаметр шнека та барабана, м; S_1 – кроки першого спірального витка, м; ΔS_i – приріст i -го кроку шнека, м; ψ_α – коефіцієнт впливу кута підйому α гвинтової лінії витків шнека; ψ_y – коефіцієнт ущільнення подрібнених рослинних решток спіральними витками шнека; ρ_v – об'ємна маса гички, кг/м³; φ_k – кут повороту шнека, рад.

Продуктивність роботи шнека визначено також з урахуванням питомої секундної подачі рослинних компонентів, яка припадає на одиницю робочої довжини шнека L_k

$$Q_k = \frac{g_{b_k} N t \left[0,82 \cdot 10^{-4} g_{b_k} t \Gamma_{k,c} (U_{z,c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{\delta,c} \right]}{L_k} g_c \psi_g (1 - k_v). \quad (8)$$

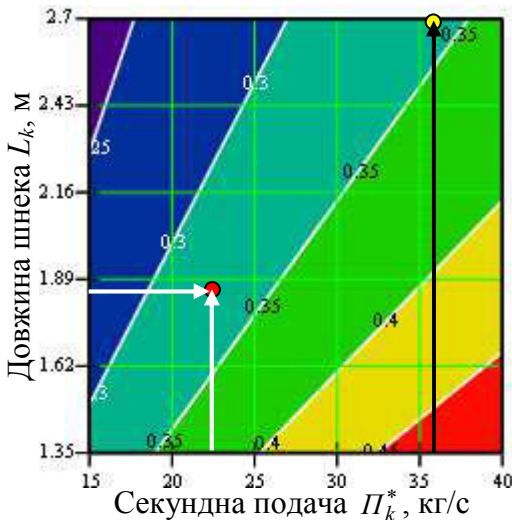


Рис. 6. Номограма для визначення діаметра шнека D_k . При цьому L_k встановлюють конструктивно залежно від рядності гичкозбирального модуля та ширини міжряддя b_k .

Для визначення D_k використовують номограму (рис. 6), наприклад, за $\Pi_k^* = 35$ кг/с та кількості рядків $N = 6$, або робочої довжини шнека $L_k = 2,7$ м, необхідний діаметр шнека 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 витків шнека вибирають конструктивно з умови, що $S_1 = (0,5 \dots 0,6) D_k$, тобто $S_1 = 0,12 \dots 0,2$ м.

Кутову швидкість шнека ω_k визначено з умови $Q_k \geq \Pi_k^*$. При цьому:

$$(D_k^2 - d_m^2) \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{8\pi} \psi_g \rho_v (1 - k_v) \omega_k \geq \Pi_k^*; \quad \omega_k \geq \frac{8\pi \Pi_k^*}{(D_k^2 - d_m^2)(S_1 + \Delta S_i) \psi_g \rho_v (1 - k_v)}. \quad (11)$$

За встановлених значень конструктивних параметрів шнека $S_1 = 0,15$ м, $\Delta S = 0,05$ м, $k_v = 0,35$, $\psi_g = 0,7$ функціональна зміна кутової швидкості шнека ω_k залежно від зміни Π_k^* і D_k (рис. 7) знаходиться в межах $3 \dots 21$ рад/с.

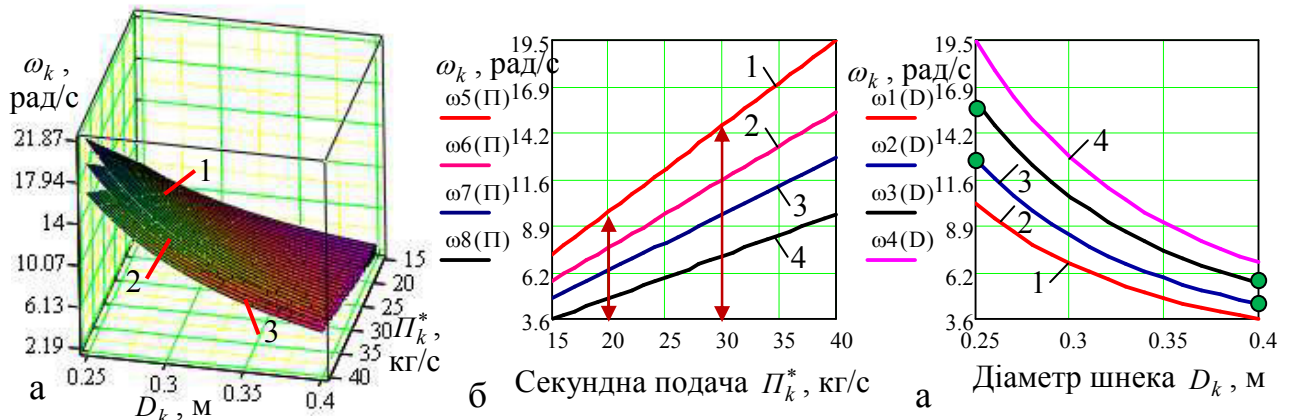


Рис. 7. Залежність зміни кутової швидкості шнека ω_k як функція:

а – $\omega_k = f_{\omega}(D_k; \Pi_k^*)$; 1, 2, 3 – $(1 - k_v) = 0,5; 0,7; 0,9$; б – $\omega_k = f_{\omega}(\Pi_k^*)$,
 1, 2, 3, 4 – $D_k = 0,25; 0,3; 0,35$ і $0,4$ м; в – $\omega_k = f_{\omega}(D_k)$,
 1, 2, 3, 4 – $\Pi_k^* = 15, 20, 30, 40$ кг/с

У межах зміни секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра від 20 до 30 кг/с (за середньої швидкості руху модуля $g = 1,9$ м/с) встановлено, що значення кутової швидкості шнека ω_k знаходяться у межах $\omega_k = 6 \dots 17$ рад/с (рис. 7б, в). Домінуючий вплив на зміну ω_k має як секундна подача Π_k^* , так і діаметр шнека D_k – у межах зміни Π_k^* від 15 кг/с до 40 кг/с та D_k від 0,25 м до 0,4 м значення ω_k зростає в 2...2,5 раза.

Забезпечення нижньої $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 20$ кг/с та верхньої $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 30$ кг/с межі секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра досягається, відповідно, за діаметра шнека $D_k \geq 0,3$ м і $D_k \geq 0,35$ м та кутової швидкості шнека $\omega_k \geq 10$ рад/с і $\omega_k \geq 22$ рад/с, що наведено на рис. 8.

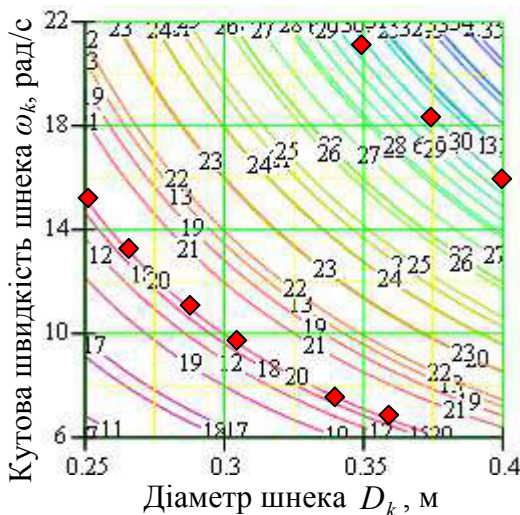


Рис. 8. Залежність зміни $Q_k = f_Q(D_k; \omega_k)$

З врахуванням характеристик посівів коренеплодів і секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів зміну продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля визначають за залежністю

$$Q_k = \frac{g_b N t \left[0,82 \cdot 10^{-4} g_b t \Gamma_{k,c} (U_{z,c} \pm \Delta U_z) + 0,9 M_{6,c} \right]}{L_k} \times \frac{(S_1 + \Delta S_i)}{2\pi} \psi_g (1 - k_v) (d\varphi_k / dt) \quad (12)$$

$$Q_k = \frac{\Pi_k^* t (S_1 + \Delta S_i)}{L_k \cdot 3600} \psi_g (1 - k_v) n_k \quad (13)$$

Отримана залежність (12) функціонально описує характер зміни Q_k залежно від агробіологічних властивостей посівів

коренеплодів кормових буряків (густоти насаджень, урожайності 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).

Продуктивність роботи гвинтового конвеєра також зростає залежно від збільшення швидкості руху ϑ гичкозбирального модуля, частоти обертання шнека n_k та секундної подачі Π_k^* рослинних компонентів і знаходиться в межах від 6 до 35 кг/с, рис. 9а. На основі аналізу графічних побудов (рис. 9б, в) можна констатувати, що умова $Q_k \geq \Pi_k^*$ виконується за таких значень: $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 20$ кг/с – за комбінації параметрів: швидкості руху гичкозбирального модуля $\vartheta \geq 1,6$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 220$ об/хв; швидкості руху гичкозбирального модуля $\vartheta \geq 1,9$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 170$ об/хв; швидкості руху гичкозбирального модуля $\vartheta \geq 2,2$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 120$ об/хв; $Q_k \geq \Pi_k^* \geq 30$ кг/с – за швидкості руху гичкозбирального модуля $\vartheta \geq 2,2$ м/с та частоти обертання шнека $n_k \geq 190$ об/хв. При цьому $S_1 = 0,15$ м, $\Delta S = 0,05$ м, $\psi_\vartheta = 0,7$; $k_v = 0,35$.

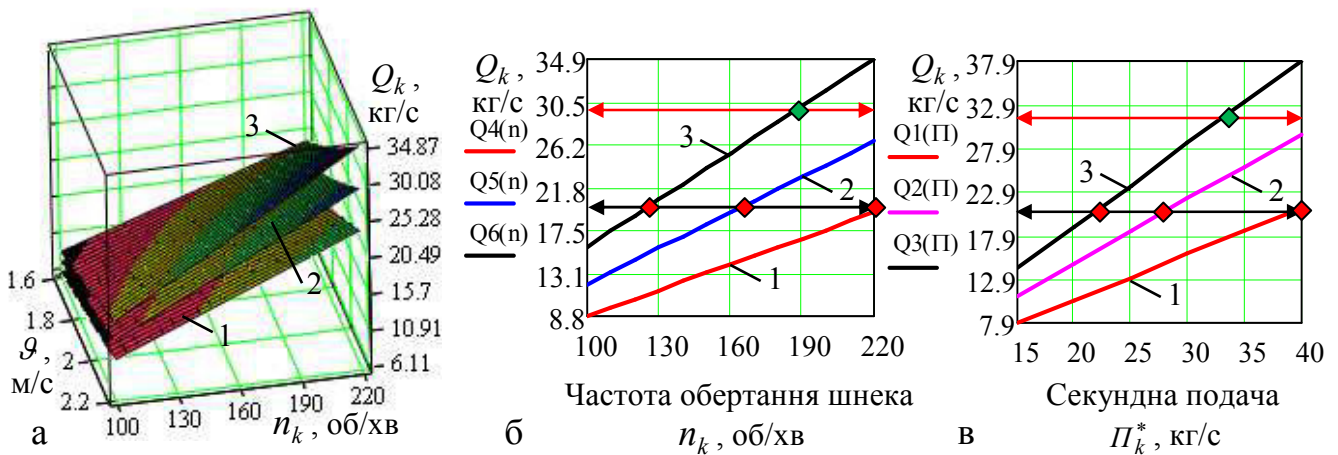


Рис. 9. Залежність зміни продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра як функція: а – $Q_k = f_Q(\vartheta; n_k)$; б – $Q_k = f_Q(n_k)$; 1, 2, 3 – $\vartheta = 1,6; 1,9; 2,2$ м/с; в – $Q_k = f_Q(\Pi_k^*)$, 1, 2, 3 – $n_k = 100; 160; 220$ об/хв

Для обґрунтування конструктивних і кінематичних параметрів активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів кормових буряків складено розрахункову схему (рис. 10).

Гичкозбиральний модуль, а відповідно і обрізник залишків гички та активний ніж 2 (рис. 10), переміщуються вздовж рядків коренеплодів 1 кормових буряків з поступальною швидкістю руху гичкозбирального модуля ϑ . Пасивний копір обрізника залишків гички наїжджає на головку коренеплоду, копіює її, активний ніж 2, який здійснює одночасний плоскопаралельний і зворотно-поступальний рух (одночасно переміщується в напрямку руху гичкозбирального модуля зі швидкістю ϑ та в зворотному-поступальному напрямку зі швидкістю активного ножа ϑ_n (м/с), ріжучою кромкою 3 леза активного ножа обрізує головку коренеплоду на заданій висоті зрізу. Повне зрізування головки коренеплоду 1 (рис. 10) 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 позначено через $t_{r,\vartheta}$, деяка точка 2_n , яка належить ріжучій кромці леза ножа, гарантовано переміститься у положення точки, або в точку кінця різання головки коренеплоду.

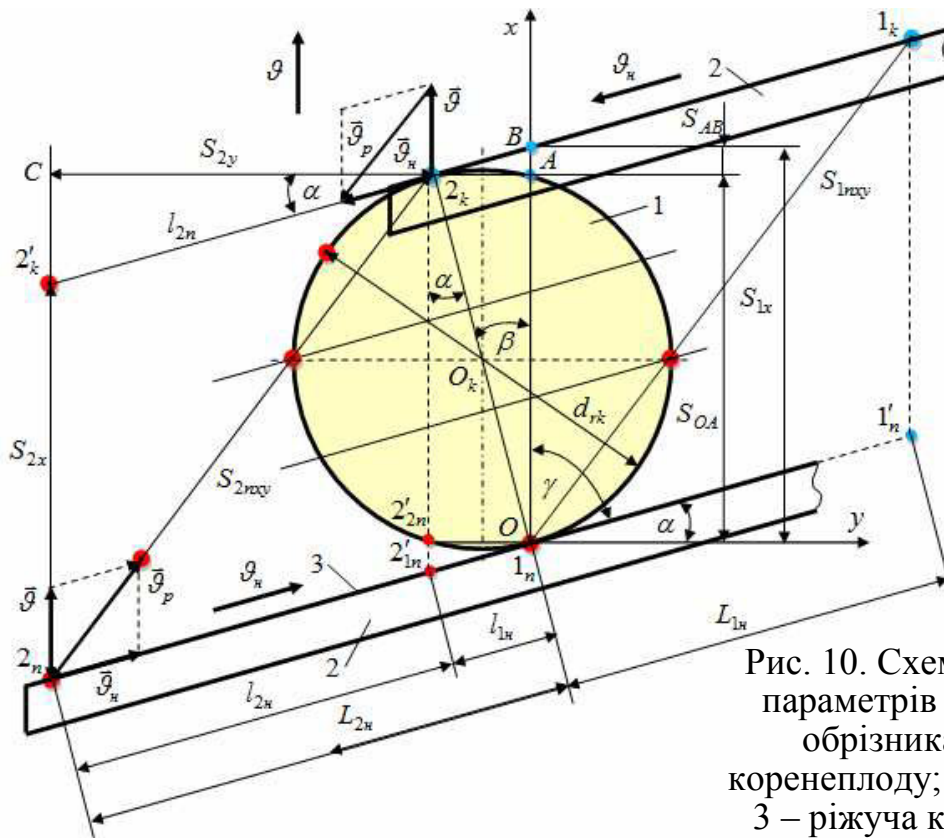


Рис. 10. Схема до розрахунку параметрів активного ножа обрізника: 1 – головка коренеплоду; 2 – активний ніж; 3 – ріжуча кромка леза ножа

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 позначено через $t_{r\vartheta_n}$, буде більший або дорівнюватиме часу різання головки коренеплоду в поздовжньому напрямку за руху ріжучої кромки леза активного ножа горизонтальній площині Oxy , тобто

$$t_{r\vartheta_n} \geq t_{r\vartheta}, \text{ або } (S_{2y} / \vartheta_n \cos \alpha) \geq (S_{2x} / \vartheta), \quad (14)$$

де $t_{r\vartheta_n}$ – час переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза активного ножа в точку 2_k 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 вздовж осі Ox , с; S_{2y} – шлях переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза активного ножа в точку 2_k вздовж осі Oy , м; S_{2x} – шлях переміщення точки початку різання 1_n до точки кінця різання 2_k вздовж осі Ox , м; α – кут встановлення ножа відносно осі Oy , град.

При цьому:

$$S_{2x} = d_{rk} \cos \alpha + l_{1n} \cos \alpha \cdot \sin \alpha = \cos \alpha (d_{rk} + l_{1n} \sin \alpha); \quad S_{2y} = (L_{2n} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha; \quad (15)$$

$$t_{r\vartheta} = \frac{\cos \alpha (d_{rk} + l_{1n} \sin \alpha)}{dS_x / dt}; \quad t_{r\vartheta_n} = \frac{(L_{2n} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha}{dS_y / dt}; \quad \frac{(L_{2n} - d_{rk} \sin \alpha) \cos \alpha}{dS_y / dt} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha)}{dS_x / dt}, \quad (16)$$

де d_{rk} – діаметр головки коренеплоду у горизонтальній площині різання Oxy , м; l_{1n} – частина робочої довжини активного ножа, м; S_x – шлях переміщення гичкозбирального модуля за час t , м; L_{2n} – робоча довжини активного ножа між крайньою точкою ріжучої кромки леза та точкою початку різання головки коренеплоду, м; S_{2y} – шлях переміщення точки 2_n ріжучої кромки леза активного ножа в точку 2_k у поперечному напрямку або вздовж осі Oy , м.

Із (16) визначено необхідну робочу довжину L_{2H} 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

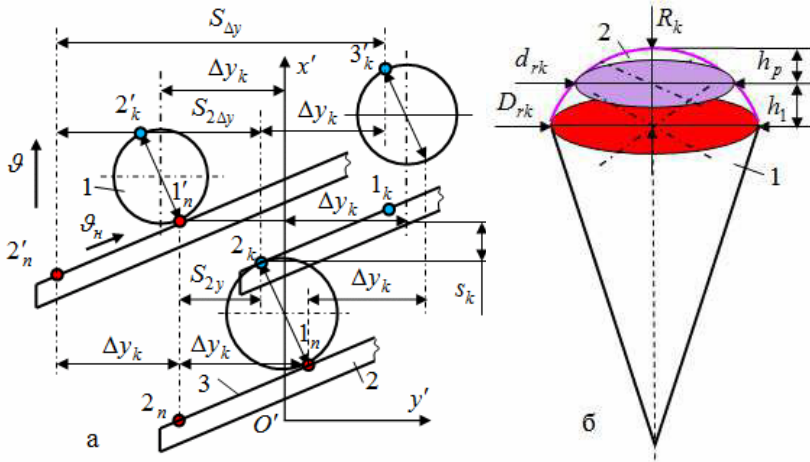


Рис. 11. Схема до обґрунтування параметрів активного ножа обрізника: а – схема відхилення вертикальної осі від осі рядка коренеплодів: 1 – коренеплід; 2 – активний ніж; 3 – ріжуча кромка леза активного ножа; б – схема до розрахунку висоти зрізу головки: 1, 2 – тіло та головка коренеплоду

$$L_{2H} \geq d_{rk} \left[\cos \alpha \left(\frac{dS_y}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + \sin \alpha \right]. \quad (17)$$

За наявності максимального відхилення Δy_k вертикальної осі коренеплоду 1 в один бік від осьової лінії рядка та максимального відхилення Δy_k вертикальної осі коренеплоду 1 в два боки від осьової лінії рядка коренеплодів кормових буряків, відповідно, довжина шляху $S_{2\Delta y}$ точки $2'_n$ кромки 3 леза активного ножа 2 в точку $2'_k$ та 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. 11) за час переміщення, відповідно, $t'_{r\vartheta_H}$ і $t''_{r\vartheta_H}$ дорівнює

$$S_{2\Delta y} = S_{2y} + \Delta y_k; \quad S_{\Delta y} = S_{2y} + 2\Delta y_k \quad (18)$$

За наявності максимального відхилення Δy_k вертикальної осі коренеплоду в два боки від осьової лінії рядка отримано:

$$\left. \begin{aligned} S_{\Delta y} &= (L_H - d_{rk} \sin \alpha + 2\Delta y_k \sin \alpha) \cos \alpha; \\ t''_{r\vartheta_H} &= \frac{(L_H - (d_{rk} + 2\Delta y_k) \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_{\Delta y}}{dt}} \end{aligned} \right\}; \quad \frac{(L_H - (d_{rk} + 2\Delta y_k) \sin \alpha) \cos \alpha}{\frac{dS_{\Delta y}}{dt}} \geq \frac{d_{rk} (\cos \alpha + \sin^2 \alpha)}{\frac{dS_x}{dt}}; \quad (19)$$

$$L_H \geq (d_{rk} + 2\Delta y_k) \left[\cos \alpha \left(\frac{dS_{y\Delta}}{dt} / \frac{dS_x}{dt} \right) + \sin \alpha \right], \quad (20)$$

де $S_{\Delta y}$ – 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_H – робоча довжина активного ножа між крайньою точкою ріжучої кромки леза та точкою початку різання головки коренеплоду, м.

З урахуванням залежності $d_{rk} = 2\sqrt{D_{rk}h_p - h_p^2}$ (рис. 11б), де D_{rk} – діаметр коренеплоду (м) формула (18) набуде вигляду

$$L_H \geq 2 \left(\sqrt{D_{rk}h_p - h_p^2} + \Delta y_k \right) \left(\frac{\vartheta_H}{\vartheta} \cos \alpha + \sin \alpha \right). \quad (21)$$

На основі аналізу графічних залежностей, які наведено на рис. 12 можна констатувати, що робоча довжина L_n активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів знаходиться в межах від 0,25 м до 0,3 м за умови максимального допустимо відхилення $\Delta y_k = \max$ вертикальної осі коренеплоду від осі рядка згідно з агротехнічними вимогами до посівів кормових буряків на час збирання. При цьому швидкість руху гичкозбирального модуля становить $\vartheta = 1,6 \dots 2,2$ м/с за швидкості переміщення ріжучої кромки леза активного ножа в межах $\vartheta_n = 0,3 \dots 0,8$ м/с. Зміна діаметра коренеплоду у межах $D_k = 0,1 \dots 0,2$ м та швидкості руху активного ножа у межах $\vartheta_n = 0,3 \dots 0,8$ м/с має несуттєвий вплив на зміну робочої довжини L_n активного ножа обрізника залишків гички з головок коренеплодів – зі збільшенням D_{rk} та ϑ_n робоча довжина ножа збільшується у середньому на 0,005 м та 0,02 м.

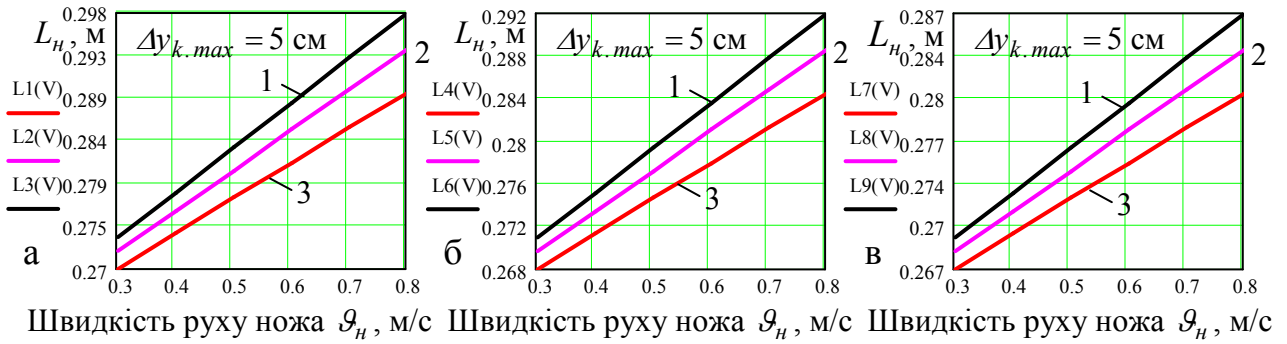


Рис. 12. Залежність зміни робочої довжини активного ножа від швидкості руху ножа як функція $L_n = f_L(\vartheta_n)$: а, б, в – $\vartheta = 1,6; 1,9; 2,2$ м/с;
1, 2, 3 – $D_{rk} = 0,1; 0,15; 0,2$ м

Для якісного зрізування головок коренеплодів необхідно виконання умови – час $t''_{r\vartheta_n}$ переміщення крайньої точки 1_k (рис. 11а) 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}

$$t''_{r\vartheta_n} \geq t_{s_k} \text{ або } \frac{S_{\Delta y}}{\vartheta_n \cos \alpha} \geq \frac{s_k}{\vartheta}, \quad (22)$$

де $t''_{r\vartheta_n}$ – 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 системи (19) та умови (22) отримано

$$t''_{r\vartheta_n} = \frac{\left[L_n - 2 \left(\sqrt{D_{rk} h_p - h_p^2} + \Delta y_k \right) \sin \alpha \right] \cos \alpha}{\vartheta_n} \geq t_{s_k} = \frac{s_k}{\vartheta}. \quad (23)$$

Час t_{sk} , 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 м до 0,35 м та швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,6 м/с до 2,2 м/с

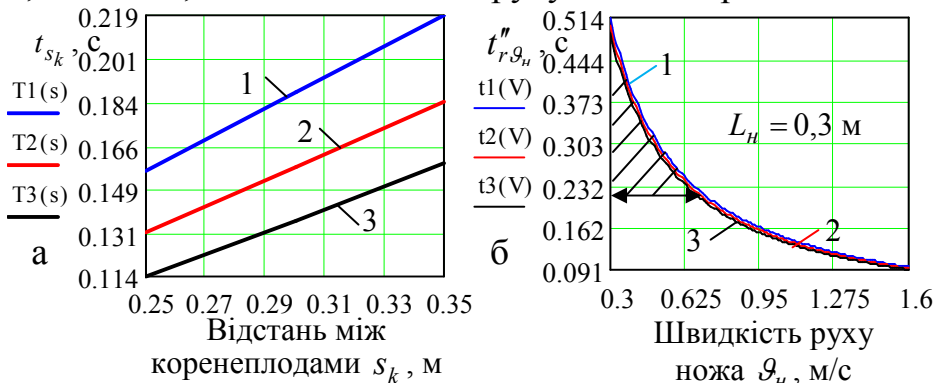


Рис. 13. Залежність зміни: а – часу t_{sk} як функція

$t_{sk} = f_t(s_k)$, $g = 1,6; 1,9; 2,2$ м/с; б – часу $t''_{r,g_h} = f_t'(g_h)$,

$D_{rk} = 0,1; 0,15; 0,2$ м

становить від 0,11 до 0,22 с (рис. 13а).

Умова $t''_{r,g_h} \geq t_{sk}$ згідно з нерівністю (23) виконується у діапазоні $0,3 \leq g_h \leq 0,6$ м/с та $L_h = 0,3$ м (рис. 13б), а діаметр коренеплоду у межах $D_{rk} = 0,1 \dots 0,2$ м не впливає на зміну t''_{r,g_h} .

Отже, основні параметри робочих органів гичкозбирального модуля за усередненої секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра $\Pi_k^* = 20 \dots 30$ кг/с та усередненої швидкості руху модуля $g = 1,9$ м/с є: 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 $L_h = 0,25 \dots 0,3$ м та швидкість руху $g_h = 0,6$ м/с активного ножа.

У третьому розділі «Програма та методика проведення експериментальних досліджень» наведено програму експериментальних досліджень, опис польових установок, стандартні та розроблені методики проведення, обробки та аналізу результатів експериментів.

Програма експериментальних досліджень передбачала:

1. Провести польові експериментальні дослідження з метою отримання рівнянь регресії, які характеризують емпіричну залежність зміни: секундної подачі рослинних компонентів до гвинтового конвеєра від швидкості руху гичкозбирального модуля, густоти насаджень коренеплодів та інтервалу зміни урожайності гички; продуктивності роботи гичкозбирального модуля від швидкості руху гичкозбирального модуля, частоти обертання шнека; пошкодження коренеплодів і кількості вибитих коренеплодів з ґрунту серійним і удосконаленим обрізником головок коренеплодів залежно від параметрів процесу.

2. Провести порівняльні польові дослідження основних показників якості роботи збирання гички коренеплодів удосконаленим та базовим гичкозбиральними модулями та визначити економічну ефективність їх використання в умовах виробництва.

Для отримання регресійних залежностей було реалізовано плановані факторні експерименти, які проводилися на основі розроблених часткових і стандартних методик планування, обробки та аналізу результатів досліджень з використанням комп'ютерних прикладних програм.

Під час проведення експериментальних досліджень використано експериментальний зразок польової установки гичкозбирального модуля (рис. 14), який виготовлений в ПАТ «Рівнесільмаш».

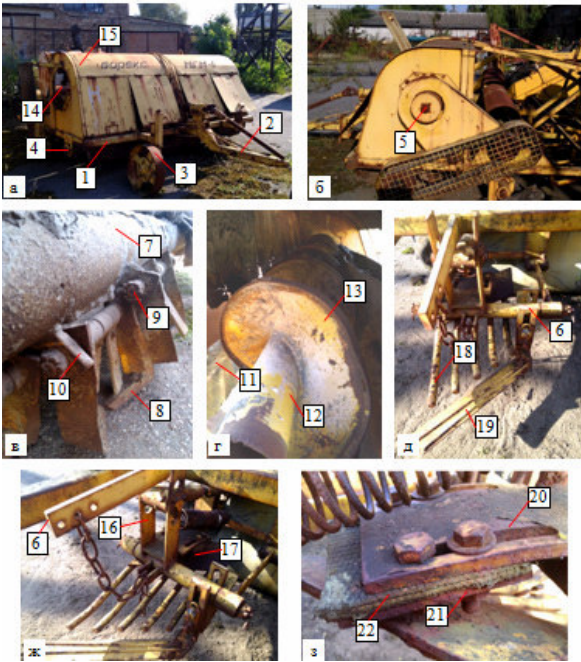


Рис. 14. – Загальний вигляд гичкозбирального модуля (а, б – вигляд спереду та збоку) та робочих органів: в – гичкоріза, вигляд збоку; г – гвинтового конвеєра; д, ж – обрізника, вигляд спереду; 1 – рама; 2 – сниця; 3 – колесо; 4 – гичкоріз; 5 – гвинтовий конвеєр; 6 – обрізник; 7, 12 – барабан; 8 – ніж; 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 згідно з розробленою програмою.

Апроксимуючу функцію відгуку, або параметр оптимізації, тобто зміну секундної подачі $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; \Gamma_{kc}; -\Delta U_z)$ рослинних компонентів до гвинтового конвеєра, визначеної експериментально, знаходили у вигляді математичної моделі лінійної функції, для якої значення коефіцієнта множинної детермінації було найбільше – 0,947.

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності моделі, отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра у натуральних величинах

$$\Pi_{ke}^* = -32,81 + 17,35\vartheta_M + 0,23\Gamma_{kc} - 0,23(-\Delta U_z). \quad (25)$$

У результаті дослідження встановлено, що основний масив апроксимованих значень секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра знаходиться у діапазоні від 9 до 30 кг/с (рис. 15) залежно від межі зміни кожного вхідного фактора $1,6 \leq \vartheta_M \leq 2,2$ м/с, $70 \leq \Gamma_{kc} \leq 110$ тис. шт./га, $3 \leq -\Delta U_z \leq 7$ ц/га.

Проведення експериментів для визначення функціональної зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивності роботи Q_{ke} гвинтового конвеєра гичкозбирального модуля виконували у такому порядку: 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; секундну подачу Π_{ke}^* (кг/с) рослинних компонентів до гвинтового конвеєра та продуктивність Q_{ke} гвинтового конвеєра визначали за формулою

$$\Pi_{ke}^* = \sum_{i=1}^N \Pi_{ke}^*(t) / t_{\Pi}; \quad Q_{k.e} = M_{Q_e} \vartheta_M / L_g, \quad (24)$$

де M_{Q_e} – маса зібраної гички з відповідної довжини валка, кг; ϑ_M – швидкість руху модуля, м/с; L_g – довжина гону утвореного валка гички залікової ділянки, м.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень гичкозбирального модуля» наведено результати польових і порівняльних досліджень удосконаленого гичкозбирального модуля

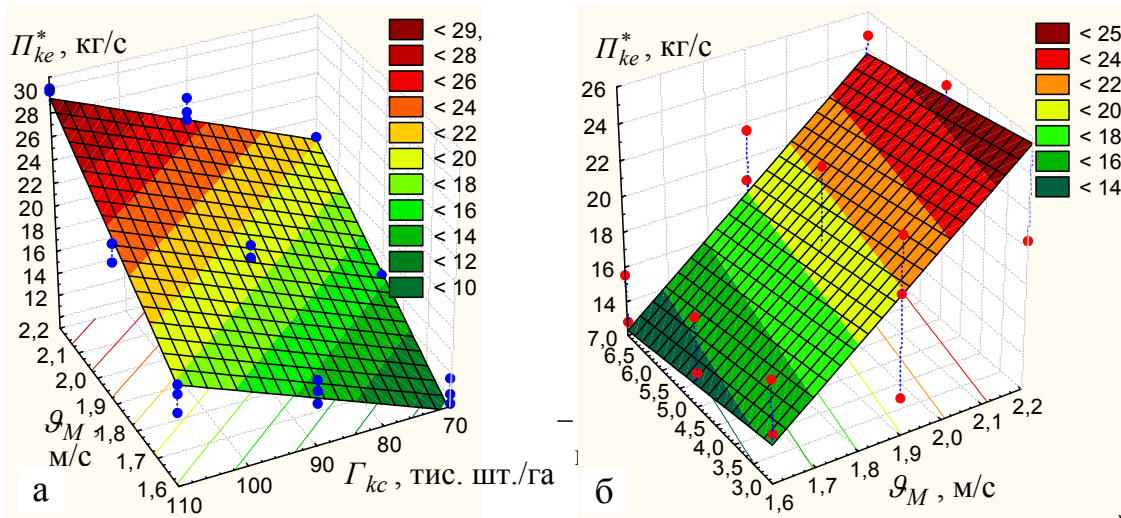


Рис. 15. Поверхня відгуку функціональної зміни:

$$a - \Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; \Gamma_{kc}); \quad a - \Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(\vartheta_M; -\Delta U_z)$$

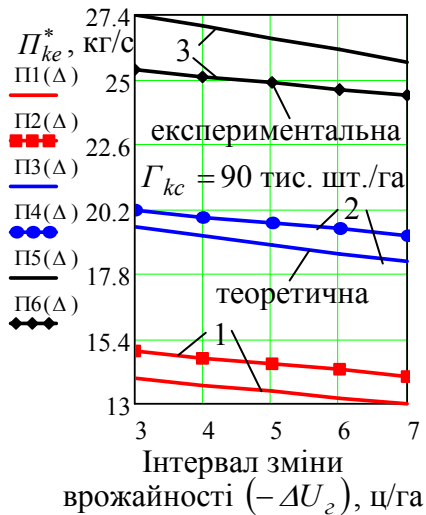


Рис. 16. Залежність зміни $\Pi_{ke}^* = f_{\Pi}(-\Delta U_z)$: 1, 2 і 3 – $\vartheta_M = 1,6; 1,9$ і $2,2$ м/с

Встановлено також, що приріст секундної подачі Π_{ke}^* у межах варіювання ϑ_M та Γ_{kc} однаковий та становить 9...11 кг/с. Збільшення інтервалу зміни врожайності гички ($-\Delta U_z$) в межах $3 \leq -\Delta U_z \leq 7$ ц/га призводить до незначного, на 0,2...0,25 ц/га, зменшення секундної подачі Π_{ke}^* .

Порівнюючи зміну Π_{ke}^* (рис. 16) встановлено, що розбіжність експериментальних значень секундної подачі Π_{ke}^* , які отримані згідно з рівнянням регресії (25) та теоретичних значень Π_k^* , які отримано на аналітичному рівні згідно з (6), знаходиться у межах 8...12 %. Таким чином, розроблена теоретична модель (6) адекватно описує реальний процес зміни секундної подачі Π_{ke}^* рослинних компонентів до гвинтового конвеєра на аналітичному рівні.

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності емпіричної моделі, отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну продуктивності Q_{ke} гвинтового конвеєра у натуральних факторах

$$Q_{ke} = -62,98 + 31,31 \ln(\vartheta_M) + 12,98 \ln(n_k). \quad (26)$$

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 Q_{ke} згідно з залежностями, які наведено на рис. 17.

Умова $Q_{ke} \geq \Pi_{ke}^*$ виконується за всіх значень варіювання факторів: за швидкості руху

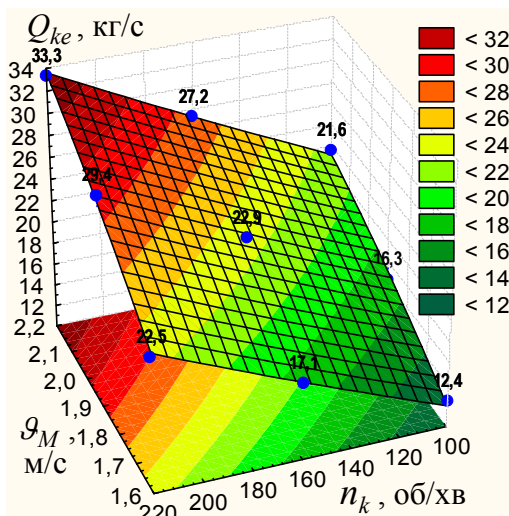


Рис. 17. Поверхня відгуку як функція $Q_{ke} = f_Q(\vartheta_M; n_k)$

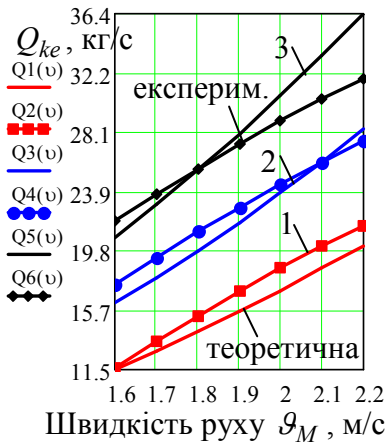


Рис. 18. Залежність $Q_{ke} = f_Q(G_M)$: 1, 2, 3 – $n_k = 100, 160, 220$ об/хв

G_M гичкозбирального модуля від 1,6 до 2,2 м/с; за частоти обертання n_k шнека гвинтового конвеєра від 100 до 220 об/хв, що характерно графічним залежностям, які наведено на рис. 15 і рис. 17.

Розбіжність експериментальних значень Q_{ke} , які отримано згідно з рівнянням регресії (22) та теоретичних значень продуктивності гвинтового конвеєра Q_k , які отримано аналітично згідно з математичною моделлю (13) знаходиться у межах 5...10 % (рис. 18).

На основі проведеного аналітичного та емпіричного аналізу зміни продуктивності роботи Q_k гвинтового конвеєра встановлено раціональні параметри шнека гичкозбирального модуля: 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.

За результатами експериментальних досліджень отримано рівняння регресії у натуральних величинах, які функціонально описують зміну пошкодження P_{ke} і кількість вибитих B_{ke} коренеплодів з ґрунту робочими органами від загальної маси коренеплодів однієї проби у вигляді функції $P_{1ke} = f_P(G_M, h_k)$, $P_{2ke} = f_P(G_M, h_k)$, $B_{1ke} = f_B(G_M, h_k)$ і $B_{2ke} = f_B(G_M, h_k)$ у межах зміни діючих факторів (швидкість руху гичкозбирального модуля $1,6 \leq G_M \leq 2,2$ м/с, висота розміщення головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту $3 \leq h_k \leq 9$ см):

- пошкоджених коренеплодів серійним обрізником P_{1ke} і обрізником P_{2ke} , ніж якого виконано підпружиненим, а копір встановлено на амортизаторі, %

$$\left. \begin{aligned} P_{1ke} &= -0,8 + 3,3G_M - 1,8h_k + 0,6G_M h_k - 1,19G_M^2 + 0,1h_k^2; \\ P_{2ke} &= 6,5 - 3,9G_M - 1,7h_k + 0,4G_M h_k + 0,79G_M^2 + 0,1h_k^2 \end{aligned} \right\}, \quad (27)$$

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

$$\left. \begin{aligned} B_{1ke} &= 15,9 - 12,3G_M - 2,9h_k + 0,4G_M h_k + 4,69G_M^2 + 0,4h_k^2; \\ B_{2ke} &= -5,7 + 5,19G_M - 1,9h_k + 1,19G_M h_k - 0,49G_M^2 + 0,1h_k^2 \end{aligned} \right\}. \quad (28)$$

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. 19а. 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. 19б), що менше за нижній рівень P_{1ke} у три рази.

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

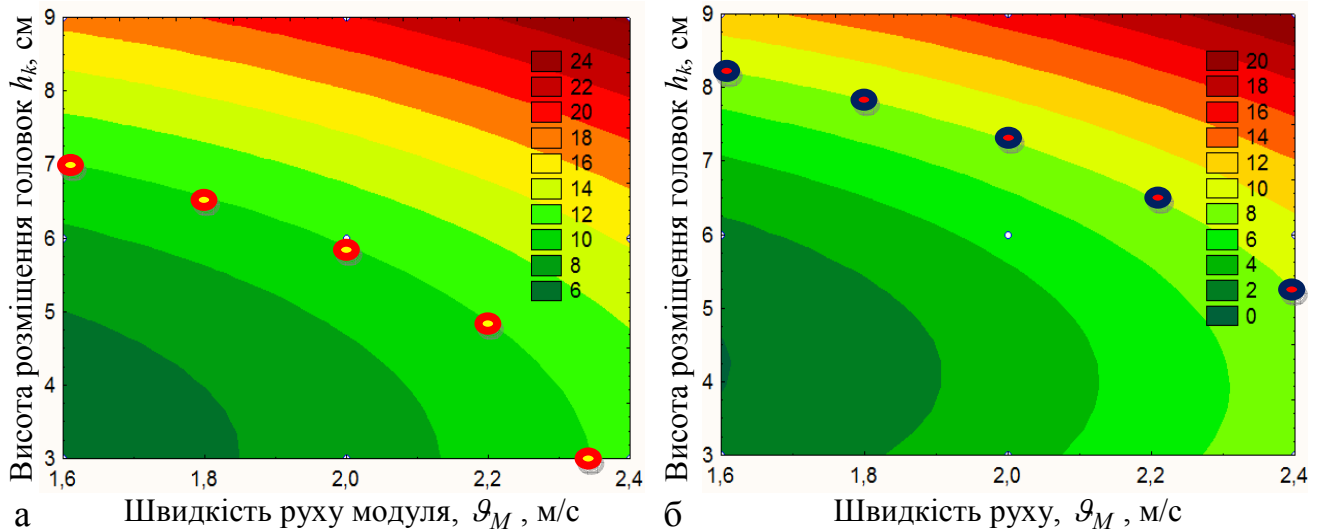


Рис. 19. Двомірний переріз поверхні відгуку пошкодження коренеплодів як функція: а – $P_{1ke} = f_P(\vartheta_M, h_k)$; б – $P_{2ke} = f_P(\vartheta_M, h_k)$

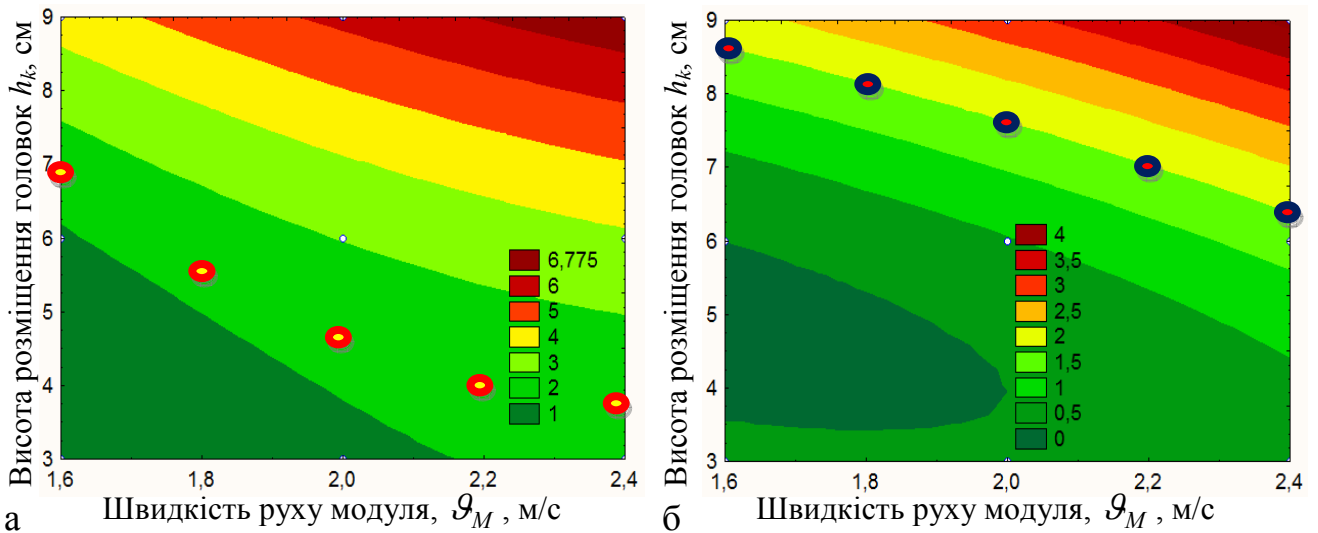


Рис. 20. Двомірний переріз поверхні відгуку кількості вибитих коренеплодів з ґрунту як функція: а – $B_{1ke} = f_B(\vartheta_M, h_k)$; б – $B_{2ke} = f_B(\vartheta_M, h_k)$

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 приблизно в 2,5...3,0 рази.

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. 20а), а мінімальні значення кількості вибитих коренеплодів з ґрунту $B_{2ke} = 0,5 \dots 3,9$ % (рис. 20б) отримано для удосконаленого обрізника, у якого ніж виконано підпружиненим, а копір жорстко встановлено на амортизаторі, який виконано у вигляді пружної гумової прокладки.

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.

Польові порівняльні дослідження базового та модернізованого гичкозбирального модуля проводили в однакових польових умовах і згідно з стандартною методикою.

Встановлено, що 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.

Кількість коренеплодів із косим зрізом головок 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. 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. 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.

У п'ятому розділі «Економічна ефективність застосування гичкозбирального модуля» наведено перспективні напрямки удосконалення робочих органів для збирання гички та економічну ефективність використання гичкозбирального модуля за результатами порівняльних досліджень.

Результати розрахунку економічної ефективності підтверджують доцільність практичного застосування гичкозбирального модуля, при цьому загальний річний економічний ефект від підвищення його функціональних показників становить 255467,0 грн, або 851,6 грн на 1 га.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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

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

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

3. Забезпечення нижньої межі секундної подачі рослинних компонентів, яка більша за 20 кг/с досягається за комбінації параметрів: швидкості руху

гичкозбирального модуля 1,6...1,9 м/с та частоти обертання шнека 170...220 об/хв. Забезпечення верхньої межі секундної подачі рослинних компонентів, яка більша за 30 кг/с досягається за швидкості руху гичкозбирального модуля 2,2 м/с та частоти обертання шнека 190 об/хв.

4. Робоча довжина активного ножа обрізника залишків гички знаходиться в межах від 0,25 до 0,3 м за умови максимального допустимо відхилення коренеплоду від осі рядка та швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,6 до 2,2 м/с та швидкості переміщення ріжучої кромки леза активного ножа в межах 0,3...0,8 м/с.

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

6. Домінуючим фактором, який впливає на кількість вибитих з ґрунту та пошкоджених коренеплодів є висота розташування головок відносно рівня ґрунту – зі збільшенням висоти розташування від 3 до 9 см кількість вибитих з ґрунту та пошкоджених коренеплодів робочими органами всіх типів виконання обрізника збільшуються у середньому в 2,5...4 рази.

7. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що кількість коренеплодів із косим зрізом головок удосконаленого гичкозбирального модуля порівняно з базовою машиною зменшується приблизно у 1,8 рази, кількість вибитих коренеплодів з ґрунту – з 1,4 до 1,0 %, або приблизно у 1,4 рази, а кількість пошкоджень коренеплодів – приблизно у 1,3 рази.

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

9. Загальний річний економічний ефект від підвищення функціональних показників гичкозбирального модуля становить 255467,0 грн, або 851,6 грн на 1 га. Результати теоретичних і експериментальних досліджень прийнято ПАТ «Рівнесільмаш» для розробки нових і вдосконалення існуючих гичкозбиральних машин і використовуються у навчальному процесі кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин ТНТУ ім. І. Пулюя під час вивчення дисципліни «Робочі процеси сільськогосподарських машин».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи

1. 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.

2. Вплив перерозподілу зусилля різання активного ножа дообрізувача гички буряків на його довговічність / Рибак Т.І., Цьонь О.П., Сташків М.Я., Цьонь Г.Б. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014. Вип. № 151. С. 222-227.

3. 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.
4. Feasibility study of an auger conveyor performance of the haulm removing module / **Tson A.**, Khomuk N., Dovbush T., Tson O. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018. No 3 (91). P. 101-106.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

8. Цьонь О., Попович П., **Цьонь Г.** 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.
9. 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.
10. Цьонь О.П., **Цьонь Г.Б.** 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.
11. **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.
12. Рибак Т., **Цьонь Г.** Обґрунтування параметрів гичкозбирального модуля. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті) : мат. Міжн. наук.-техн. конф. Тернопіль, 22-24 травня 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. С. 153-154.
13. 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.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

14. 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.

15. 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.

АНОТАЦІЯ

Цьонь Г.Б. Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля кормових буряків. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

У дисертації на підставі сукупності узагальнених наукових результатів вирішено актуальне завдання підвищення показників якості збирання гички коренеплодів кормових буряків шляхом розроблення та обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

Гичкозбиральний модуль складається з рами, на якій встановлено опорні колеса, роторний гичкоріз, гвинтовий конвеєр, обрізувачі головок коренеплодів. Удосконалення робочих органів полягає у наступному: ножі роторного гичкоріза виконано Г-подібної форми; крок спіральних витків шнека гвинтового конвеєра збільшується в сторону вивантаження зрізаної гички; плоский ніж обрізника залишків гички з головок коренеплодів встановлено на нерухомому вертикальному пальці та виконано підпружиненим; ніж виконано активним з можливістю зворотно-поступального руху в горизонтальній площині; гребінчастий копір встановлено на амортизаторі удару, який виконано у вигляді пружного елемента.

На основі проведеного комплексу теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано основні раціональні параметри робочих органів гичкозбирального модуля.

Результати досліджень прийняті ПАТ «Рівнесільмаш» (сmt. Квасилів, Рівненська обл.) для розроблення та вдосконалення існуючих робочих органів для збирання гички коренеплодів кормових буряків. Конструктивна новизна технічного рішення підтверджена 2 патентами України на корисні моделі.

Ключові слова: гичка, роторний гичкоріз, шнек, секундна подача, продуктивність, коефіцієнт заповнення, частота обертання, діаметр, пошкодження, вивалювання.

АННОТАЦИЯ

Цень А.Б. Обоснование параметров рабочих органов ботвоуборочного модуля кормовой свеклы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, 2019.

В диссертации на основании совокупности обобщенных результатов решена актуальная научная задача, которая состоит в повышении показателей качества уборки ботвы корнеплодов кормовой свеклы путем разработки и обоснования параметров рабочих органов ботвоуборочного модуля.

Ботвоуборочным модуль состоит из рамы, на которой установлены опорные колеса, роторный ботворез, винтовой конвейер, обрезчики головок корнеплодов. Совершенствование рабочих органов состоит в следующем: ножи роторного ботвореза выполнены Г-образной формы; шаг спиральных витков шнека винтового конвейера увеличивается в сторону выгрузки срезанной ботвы; плоский нож обрезчика остатков ботвы с головок корнеплодов установлен на неподвижном вертикальном пальце и выполнен подпружиненным; нож выполнено активным с возможностью возвратно-поступательного движения в горизонтальной плоскости; гребенчатый копир установлено на амортизаторе удара, выполненного в виде упругого элемента.

В первом разделе проведен анализ литературных источников – рассмотрены технологии и способы уборки ботвы, основные конструкции ботвоуборочных машин, а также обосновано выбор рабочего органа для проведения исследований.

Во втором разделе приведен анализ технологической подачи срезанных растительных компонентов до винтового конвейера, производительности винтового конвейера и кинематический анализ перемещения ножа обрезчика головок корнеплодов. На основании результатов обоснованы основные параметры рабочих органов.

В третьем разделе представлено программу экспериментальных исследований, приведено перечень оборудования, приборов, разработанных опытных установок и методики проведения исследований.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований. Установлено влияние конструктивно-кинематических параметров рабочих органов модуля на изменение производительности винтового конвейера, повреждения корнеплодов и количества выбитых корнеплодов кормовой свеклы с почвы. На основании сравнительных исследований определено технологическую эффективность работы усовершенствованной конструкции ботвоуборочного модуля.

В пятом разделе определены перспективные направления усовершенствования конструкций рабочих органов для уборки ботвы, основные показатели экономической эффективности использования разработанной машины, а также рекомендованы рациональные параметры. Конструктивная новизна разработок защищена двумя патентами Украины на полезные модели.

Ключевые слова: ботва, роторный ботворез, шнек, секундная подача, производительность, коэффициент заполнения, частота вращения, диаметр, повреждения, вываливание.

ANNOTATION

Tson H.B. Substantiation of operating elements parameters of the top gathering module for beet roots. – Manuscript copyright.

Thesis for Candidate Degree in Engineering Sciences in 05.05.11 – Machines and Mechanical Equipment of Agricultural Production. – Ternopil Ivan Pului National Technical University, Ternopil, 2019.

An important task of improving the quality indices of fodder beet roots top

gathering by means of developing and substantiating the parameters of operating elements of the top gathering module is solved in this thesis on the basis of generalized scientific results set.

Top gathering module consists of the frame with mounted supporting wheels, rotary top cutter, auger, root heads cutter. Improvement of the operating elements is as follows: the knives of the rotary top cutter are of Γ -type shape,; the auger spiral winding pitch increases towards the cut root top unloading; the plain knife of the root top remains cutter is mounted on fixed vertical pin and is spring loaded; the knife is active with possible reciprocating motion in horizontal plane; comb feeler is mounted on shock damper produced in the form of elastic element.

Based on the complex to the results theoretical and experimental investigations the main parameters of the operating elements for improved top gathering module are justified.

The investigation results are adopted by Private Joint-Stock Company “Rivnesilmash” (village Kvasyliv, Rivne region) for development and improvement of existing operating elements for fodder beet roots top gathering. Constructive novelty of engineering solution is confirmed by 2 Ukraine patents for useful models.

Key words: top, rotary top cutter, auger, per-second feed, efficiency, filling coefficient, rotary velocity, diameter, damage, throw out.