

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

На правах рукопису

ЦЬОНЬ ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ

УДК 631.356.22

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДООБРІЗУВАЧА ГИЧКИ
ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ АКТИВНОГО ТИПУ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор
Рибак Тимофій Іванович

ТЕРНОПІЛЬ – 2014

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СТРУКТУРИЗАЦІЯ НАПРЯМКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ БУРЯКОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН	
1.1. Технології збирання гички цукрових буряків та агротехнічні вимоги до процесу і машин.....	10
1.2. Тенденції, перспективи розвитку та порівняльний аналіз апаратів для видалення гички.....	15
1.3. Сучасний стан конструкцій механізмів для дообрізування залишків гички цукрових буряків.....	26
1.4. Аналіз досліджень взаємодії робочих органів гичкозбиральних машин з коренеплодами цукрових буряків.....	41
1.5. Технічне забезпечення для випробування гичкозрізувальних апаратів...	47
1.6. Мета та задачі дослідження.....	49
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДООБРІЗУВАННЯ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ АКТИВНИМ ПЛОСКИМ НОЖЕМ	
2.1. Характеристика коренеплодів цукрових буряків.....	51
2.2. Схеми зрізування гички з головок коренеплодів плоским ножем.....	55
2.3. Математична модель взаємодії плоского ножа з коренеплодом при режимі різання з ковзанням.....	58
2.4. Обґрунтування коефіцієнта ковзання плоского ножа дообрізувача гички під час виконання технологічного процесу.....	64
2.5. Аналіз сил та напружень, що виникають на ножі під час приведення його у рух.....	68
2.6. Модель руху активного плоского ножа дообрізувача гички по рядках коренеплодів цукрових буряків.....	72
2.7. Попередні висновки до розділу.....	77

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДООБРІЗУВАЧЕМ ГИЧКИ АКТИВНОГО ТИПУ

3.1. Програма експериментальних досліджень.....	79
3.2. Методика проведення експериментальних досліджень.....	81
3.3. Прилади та обладнання для проведення лабораторних досліджень дообрізувачів гички активного типу.....	89
3.4. Методика проведення корозійних досліджень матеріалів в розчині соку цукрових буряків.....	100
3.5. Попередні висновки до розділу.....	103

РОЗДІЛ 4. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ФОРМУВАННІ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕТОДИКИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДООБРІЗУВАЧА ГИЧКИ АКТИВНОГО ТИПУ

4.1. Результати проведених досліджень.....	104
4.2. Результати багатофакторного експерименту.....	105
4.3. Вплив сукупності незалежних факторів на результуючу величину сили різання.....	114
4.4. Результати лабораторних досліджень корозійної стійкості сталей у розчині соку цукрових буряків.....	125
4.5. Результати лабораторних досліджень НДС активного плоского ножа дообрізувача гички та порівняння теоретичних і експериментальних даних.....	128
4.6. Інженерна методика удосконалення конструкції дообрізувача гички активного типу.....	131
4.7. Попередні висновки до розділу.....	135
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	140
ДОДАТКИ.....	155

ВСТУП

Видалення гички з головок коренеплодів цукрових буряків є однією з найбільш трудо- та енергомістких операцій при їх збиранні. Належність України до основних бурякосіючих країн світу, зумовлює необхідність випуску вітчизняним машинобудуванням бурякозбиральних машин на рівні кращих світових аналогів. Виробництво механізованих засобів для збирання цукрових буряків найбільшого розвитку набуло у країнах Західної Європи, Росії, Україні, США, Японії.

Вимоги, які ставлять до якості гички і коренеплодів цукрових буряків після їх механізованого збирання, зумовлюють виробництво та розробку машин з різними конструктивними та компоновальними схемами гичкоочисних механізмів. Збільшення продуктивності та підвищення показників якості виконання технологічного процесу роботи бурякозбиральних машин здійснюється шляхом модернізації існуючих машин та механізмів, а також розробкою принципово нових компоновальних схем бурякозбиральних агрегатів.

У гичкозбиральних машинах основними є робочі органи для зрізування гички і очисники головок коренеплодів (ОГК), які здійснюють зрізання, доочищення і винесення гички за межі оброблюваної зони.

Механізми для видалення гички сучасних бурякозбиральних агрегатів здійснюють двостадійне її зрізування: високе (за допомогою роторного гичкоріза), та з використанням копіру (копіюючий механізм, що поєднується з плоским ножем).

Вибір параметрів механізмів для видалення гички необхідно проводити з врахуванням механіко-технологічних принципів, на яких базується процес дообрізування та очищення головок коренеплодів.

Розробка гичковидалаючого апарату, який би зменшував енергоємність процесу збирання коренеплодів в цілому, а також характеризувався високими показниками надійності та якості виконання технологічного процесу є одним із актуальних питань сільськогосподарського машинобудування.

Актуальність теми. Цукрові буряки культивують понад 40 країн світу, однак за обсягом виробництва цукру та площами посіву даних коренеплодів Україна посідає одне з провідних місць серед бурякопосівних держав.

Основними критеріями оцінювання роботи бурякозбиральної техніки згідно з сучасними агро вимогами до стану коренеплодів після їх механізованого збирання є показники якості викопування і очищення головок буряків від гички та різного виду домішок. Виробництво бурякозбиральних агрегатів з різними компоновальними схемами гичкоочисних робочих органів зумовлене необхідністю досягнення високих показників якості виконання технологічного процесу видалення гички з головок коренеплодів цукрових буряків, оскільки ступінь їх очищення впливає на терміни зберігання та вихід цукрози при подальшому переробленні.

Основні недоліки сучасних гичковидалаючих механізмів – вибивання високо розміщених відносно ґрунту коренеплодів, непрямолінійна площина зрізу головок буряків, затуплення ножів дообрізувачів гички.

Удосконалення конструктивної схеми доочисника головок коренеплодів, який забезпечує підвищення показників надійності та якості виконання технологічного процесу, можливо досягти шляхом розроблення гичкозрізуючого пристрою з активним плоским ножем. Перевагою запропонованого конструктивного рішення, порівняно з активним дисковим ножем, є підвищена експлуатаційна надійність, значно менша маса та простота виготовлення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до програм науково-дослідних робіт “Розробка перспективних очисних робочих органів бурякозбиральних комбайнів” (№ д.р. 0103U003521) та “Розробка методики оцінки і покращення функціональних та несучих параметрів сільськогосподарських грейферних навантажувачів типу ПЕА-1.0” (№ д.р. 0113U000254), які реалізуються в рамках постанови Кабінету Міністрів України “Про розвиток сільськогосподарського

машинобудування та забезпечення агропромислового комплексу конкурентоспроможною технікою”.

Мета і задачі досліджень. *Мета роботи* – підвищення якості обрізування головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички шляхом удосконалення процесу різання за рахунок компонування дообрізувача гички активним плоским ножом та гребінчастим копіром.

Основні задачі дослідження, відповідно до поставленої мети роботи, полягають у наступному:

1. Обґрунтувати процес дообрізування головок коренеплодів активним плоским ножом та основні технологічні параметри ножа.
2. Розробити конструктивну схему дообрізувача гички, до складу якого входить гребінчастий копір та робочий орган активного типу.
3. Розробити математичну модель взаємодії плоского активного ножа з коренеплодом при режимі різання з ковзанням.
4. Розробити програму та методику проведення експериментальних досліджень робочого органу дообрізувача гички.
5. Дослідити експериментальним шляхом процес взаємодії активного плоского ножа з коренеплодом, встановити оптимальні значення величин технологічних параметрів при різних режимах та умовах роботи.
6. Провести дослідження корозійної стійкості матеріалів плоских ножів у розчині соку цукрових буряків.
7. Порівняти результати теоретичних та експериментальних досліджень і встановити розбіжності між ними.

Об’єкт дослідження – технологічний процес дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків.

Предмет дослідження – конструктивні та технологічні параметри механізму дообрізувача гички активного типу.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведені із застосуванням положень класичної механіки, опору матеріалів, вищої

математики, теорії машин і механізмів. Експериментальні дослідження виконані згідно з методиками для випробування сільськогосподарських машин та розробленої програми їх проведення для даних умов дослідження за допомогою багатофакторного експерименту з використанням стенда та універсальної вимірювальної системи для визначення напружено-деформованого стану (НДС) плоского ножа. Опрацювання отриманих результатів здійснено із застосуванням методів математичної статистики з використанням пакета прикладних програм на ПК.

Наукова новизна отриманих результатів:

- досліджено та обґрунтовано основні параметри технологічного процесу очищення від залишків гички головок коренеплодів цукрових буряків активним плоским ножом;
- вперше отримано теоретичні залежності для визначення сили різання головок коренеплодів активним плоским ножом із урахуванням конструктивно-технологічних параметрів механізму дообрізувача;
- побудовано математичну модель руху робочого органу дообрізувача при виконанні технологічного процесу видалення залишків гички;
- запропоновано науково-технічне рішення на основі аналітичних та експериментальних досліджень з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів для проектування дообрізувача гички активного типу.

Практичне значення отриманих результатів. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано й обґрунтовано удосконалену конструкцію дообрізувача залишків гички активного типу та подано рекомендації щодо вибору раціональних конструктивно-технологічних параметрів при його проектуванні. Конструктивна новизна технічного рішення захищена патентом України на корисну модель № 86895. Результати досліджень передані в ПАТ “Рівнесільмаш” для використання при проектуванні нового та удосконаленні існуючого обладнання дообрізувачів гички.

Особистий внесок здобувача. Основні положення дисертаційної роботи, які ґрунтуються на проведених теоретичних та експериментальних дослідженнях, отримані здобувачем особисто. У наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок наступний: [94] – проведено огляд існуючих конструкцій гичкозрізувальних апаратів та доочисників головок буряків, що використовуються для видалення гички з коренеплодів у бурякозбиральних комбайнах закордонного виробництва; [111] – обґрунтовано необхідність проведення заходів щодо підвищення інтегральних показників надійності та якості виконання технологічного процесу дообрізування гички плоскими ножами шляхом проектування самозаточувальних лез; [129, 130, 131, 137] – запропоновано вибір обладнання для проведення багатофакторного експериментального дослідження плоских ножів дообрізувачів гички; [92] – виведено аналітичні залежності для визначення сили різання активним плоским ножом головок коренеплодів; [82] – запропоновано режими дослідження корозійної стійкості конструкційних матеріалів ножів у модельному розчині соку цукрових буряків; [81] – побудовано графічну залежність довговічності сталюї пластини від величини дефектності; [89] – проведено огляд можливих схем зрізування плоскими ножами; [124] – виконано графічний аналіз даних, отриманих у результаті експериментальних досліджень; [70] – запропоновано удосконалену конструкцію дообрізувача гички.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися на: XVI науковій конференції ТНТУ імені І. Пулюя “Матеріалознавство та машинобудування” (м. Тернопіль, 2012); XVII науковій конференції ТНТУ ім. І. Пулюя “Природничі науки та інформаційні технології” (м. Тернопіль, 2013); науково-технічній конференції молодих учених та студентів ТНТУ ім. І. Пулюя “Актуальні задачі сучасних технологій” (м. Тернопіль, 2013); III Всероссийской научно-технической конференции “Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы” (г. Рубцовск, 2013).

Дисертаційна робота у повному обсязі доповідалася та обговорювалася на фаховому тематичному семінарі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя №7 “Машини та засоби механізації сільського господарства” (протокол № 2/11-14 від 29 жовтня 2014 р).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені у 12 наукових працях, з яких 6 – у фахових виданнях, 5 – у матеріалах конференцій, одному патенті України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 138 найменувань і додатків. Загальний обсяг дисертації – 167 сторінок, з них 139 сторінок основного тексту, де міститься 69 рисунків і 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТРУКТУРИЗАЦІЯ НАПРЯМКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ БУРЯКОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

1.1. Технології збирання гички цукрових буряків та агротехнічні вимоги до процесу і машин

Гичка цукрових буряків складає 50–70% від загальної маси коренеплодів. При пізніших термінах збирання цей показник зменшується в 2–2,5 рази [30]. На сучасному етапі механізації збирання гички цукрових буряків можна виділити дві основні технології:

1. Збирання гички з наступним завантаженням в транспортний засіб і використанням її для згодовування тваринам.
2. Збирання гички з одночасним подрібненням та розсіюванням її на поверхні поля в якості добрива.

Перша технологія використовувалася в Україні донедавна. Збирання гички з наступним завантаженням в транспортні засоби дає змогу отримати додаткові корми та запобігає розповсюдженню хвороб (наприклад, церкоспорозу), а також бур'янів. Поле звільняється від рослинних решток, що дає змогу якісно провести збирання коренеплодів [126].

При такій технології збирання можливе копіююче та безкопірне її видалення.

Переваги видалення гички з копіюванням головок буряків:

- якісне очищення коренеплодів при різному їх розміщенні відносно поверхні ґрунту;
- при збиранні гичка не подрібнюється і може бути використана для згодовування тваринам.

Основні недоліки даного способу збирання гички:

- порівняно низька продуктивність процесу;

- складність і матеріаломісткість пристроїв для збирання;
- вузька спеціалізація машин, що обладнуються копіюючими гичкозрізувальними пристроями.

Безкопірне видалення гички цукрових буряків в наш час застосовують на більшості сучасних гичкозбиральних машинах. Його перевагами є:

- простота конструкції та низька матеріаломісткість машин для виконання процесу при порівняно високій продуктивності;
- при збиранні гичка не забруднюється ґрунтом, так як гичкозрізуючі робочі органи встановлюються достатньо високо над поверхнею поля.

Недоліки збирання гички без копіювання головок коренеплодів:

- низька якість роботи через зріз гички по висоті найвище розташованих коренеплодів;
- при збиранні гичка подрібнюється і втрачає кормову цінність.

Технологія збирання коренеплодів з одночасним подрібненням та розсіюванням гички на поверхні поля отримала широке застосування в країнах Західної Європи. Зібрана зелена маса втрачає кормову цінність і використовувати її для силосування недоцільно. Враховуючи особливості цієї технології, практичне її використання доречне при досить високій культурі землеробства.

Розвиток конструкцій гичкозбиральних машин для цукрових буряків дозволяє також застосування технології із вкладанням гички у валки, підсихання її протягом деякого часу з наступним підбиранням спеціалізованим технічним засобом – підбирачем-копнувачем, обладнаним бункером [78, 79].

При виборі і впровадженні тієї чи іншої технології враховують наявність технічних засобів, якісні та кількісні характеристики культури, природно-кліматичні умови та економічну доцільність.

Значні зміни умов роботи гичкозбиральних агрегатів і недостатнє пристосування існуючих конструкцій гичкозрізувальних пристроїв до цих змін не дозволяють отримати постійних агротехнічних показників, особливо при

високих врожаях, нерівномірному розташуванні коренеплодів в рядку, незадовільному стані гички, забур'яненості поля.

При збиранні високих врожаїв (50...70 т/га) знижується якість зрізання гички. Продуктивність машин в екстремальних умовах може зменшуватись у 2...6 разів. При цьому зменшується якість виконання технологічного процесу, особливо в кінці агрономічного терміну збирання [25, 59, 75, 104].

Відзначені фактори значно знижують технологічно-експлуатаційні показники роботи машин.

Оцінюючи особливості умов роботи гичкозбиральної техніки, необхідно враховувати те, що [25, 59]:

- при конструюванні робочих органів і машини в цілому першочергове значення мають агротехнічні вимоги до бурякозбиральної техніки;
- сезонність, яка обмежена невеликими агротехнічними термінами використання машин протягом року;
- суміщення технологічного процесу з пересуванням агрегату на полі, на що витрачається значна кількість енергії, яка зростає із збільшенням маси машини;
- машини працюють під відкритим небом у різних температурно-кліматичних умовах, на різних ґрунтах, на нерівних ділянках поля, при різноманітних розмірних характеристиках цукрових буряків;
- робочий процес бурякозбиральної техніки відбувається в абразивному середовищі, що призводить до швидкого зношування основних вузлів, перш за все, робочих органів.

При виготовленні гичкозбиральних агрегатів висувуються такі технічні вимоги [59, 67]:

- у машині повинно бути регулювання висоти зрізування головок коренеплодів;
- гичкозрізувальні робочі органи повинні виготовлятися із зносостійких матеріалів або мати зносостійкі покриття;

- дорожній просвіт у транспортному положенні має бути не менше 20см;
- у причіпних, напівпричіпних, навісних та напівнавісних машинах має бути забезпечена (при необхідності) можливість їх приєднання до електро-, пневмо-, та гідросистем трактора, що зазначається у технічних умовах на конкретну машину.

Інтенсивні технології вирощування цукрових буряків містять чіткі агротехнічні вимоги до процесу збирання коренеплодів, основними з яких є [30, 56]:

- зріз кореня повинен бути рівним, не нижче зони сплячих вічок;
- при збиранні втрати коренеплодів не повинні перевищувати 1,5% по масі;
- засміченість вороху коренів не більше 10% по масі, в т.ч. гичкою – 1,5%;
- пошкоджених буряків при збиранні не більше 8%;
- засміченість гички ґрунтом до 0,5% по масі;
- для забезпечення якісної роботи збиральних машин при видаленні гички, коренеплоди не повинні втрачати зв'язок з ґрунтом (завалюватися).

Бурякозбиральна техніка виконує технологічний процес з гичкою та коренеплодами, тобто матеріалами, в яких відбуваються біологічні процеси, тому така техніка повинна відповідати наступним вимогам (рис. 1.1) [25, 56, 58, 59, 75].

Гичкозбиральні машини також повинні забезпечувати [25, 53, 56, 75]:

- високі функціональні параметри, пов'язані з якістю виконання технологічного процесу, показники яких не повинні перевищувати обмежень, встановлених ДСТУ 2258-93 [59];
- високу технологічну надійність (не нижче 0,95) і агротехнічну ефективність (при різних урожайностях, параметрах насаджень,

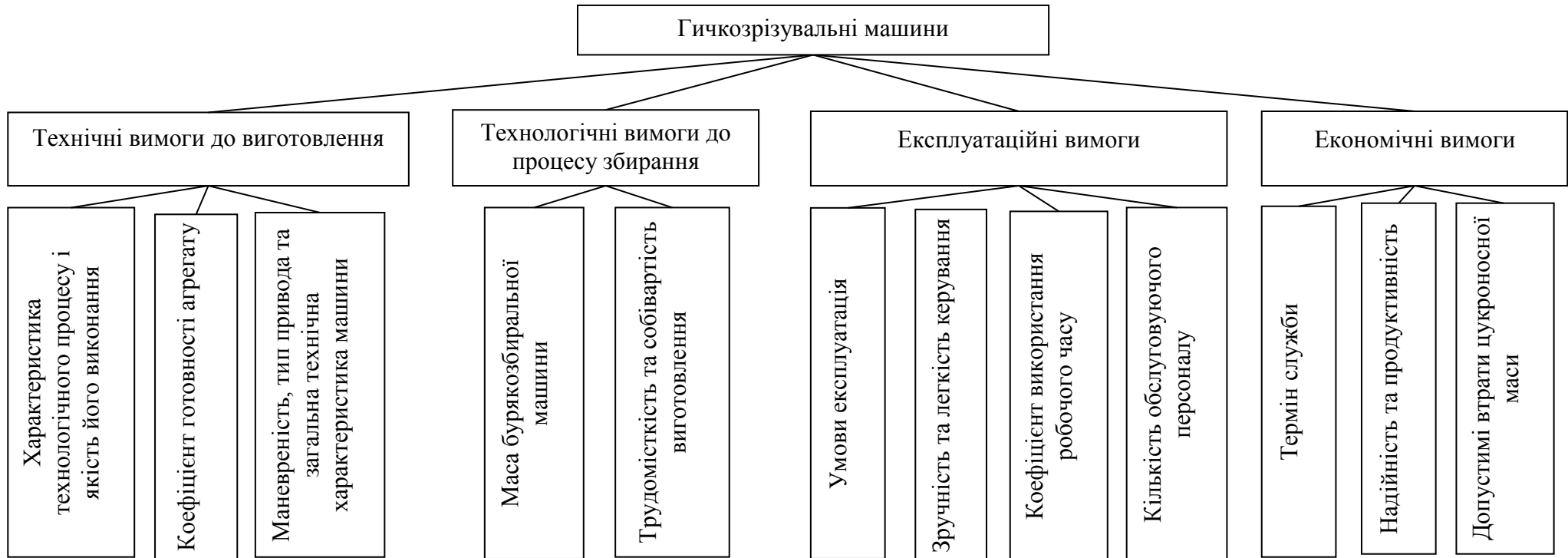


Рис. 1.1. Класифікація вимог, які ставляться до гичкозрізувальних машин

- фізичному стані коренеплодів та гички, засміченості поля) враховуючи й екстремальні умови (при врожайності понад 70 т/га);
- необхідну універсальність при модульному принципі агрегування робочих органів з метою застосування різноманітних варіантів механізованих процесів збирання коренеплодів залежно від природно-виробничих умов;
 - високу надійність і довговічність, що визначається збереженням стабільних функціональних та експлуатаційних характеристик при значному ресурсі роботи (робота до відмовлення не менше 40 год);
 - інтенсифікацію процесів збирання гички цукрових буряків за рахунок підвищення робочих швидкостей гичкозбиральних машин, а також зменшення їх метало- і енергомісткості.

1.2. Тенденції, перспективи розвитку та порівняльний аналіз апаратів для видалення гички

Апарати для видалення гички бурякозбиральних машин – це пристрої, що забезпечують процес видалення гички з головок коренеплодів і відведення її за межі дії викопуючих робочих органів, яке виконується у міжряддя, на зібране поле, транспортний засіб.

Проведений аналіз машин для видалення гички коренеплодів цукрових буряків дозволив створити класифікацію гичковидальючих механізмів (рис.1.2). Конструкції гичкозбиральних машин за типом привода можна класифікувати на причіпні і самохідні. У них застосовуються фронтально розташовані гичкозрізувальні апарати (надалі ГЗА) з вертикальним валом привода з активними чи пасивними ножами, або навісні чи причіпні гичковидальючі модулі з горизонтальним валом роторного подрібнювача гички і шнеком для її видалення.



Рис. 1.2. Класифікація механізмів для видалення гички

У гичкозрізувальних апаратах процес видалення гички здійснюється різанням [53, 89, 90, 94]. У більшості випадків їх використовують для зрізування основної зеленої маси. Очисники головок коренеплодів, які видаляють залишки гички, називають дообрізувачами. Ними можуть бути і окремі типи гичкозрізувальних апаратів [1, 22, 43, 50, 53, 75].

При видаленні верхньої частини головок коренеплодів зі зрізаної частини повинно видалятися як можна менше цукроносної маси. Згідно сучасних агрономічних вимог її відходи не повинні перевищувати 5% від маси коренеплодів, а кількість залишків гички на них – 1,5% [59, 75]. Ці вимоги виконуються у тому випадку, якщо в основній кількості коренеплодів площина зрізу проходить у зоні коронки або сплячих вічок [68, 75]. Такі коренеплоди вважаються нормально обрізаними. Відхилення у площині зрізу від верхньої і нижньої межі допуску називаються, відповідно, високими і низькими (високо і низько обрізані коренеплоди).

При всій різноманітності способів механічного видалення гички (зрізування, збивання [125], відривання, зминання) найбільш поширеними є зрізування і збивання.

Очисники, які працюють за зрізуючою схемою видалення гички з головок коренеплодів, використовують у своїй роботі два типи ножів: плоскі та дискові. Їх застосування можливе як для видалення основної зеленої маси так і для очищення від залишків гички при дообрізуванні. Застосовують ножі (активні чи пасивні) без протирізальних елементів або зустрічного руху. Це зумовлюється, в першу чергу, фізико-механічними властивостями цукрових буряків та технологією збирання гички [94].

Виходячи із вивчення технологічних процесів зрізування гички цукрових буряків, схем бурякозбиральних машин вітчизняного і зарубіжного виробництва, гичкозрізувальні пристрої можна розділити на такі, що здійснюють зрізування на корені, або такі, що зрізують гичку в середині машини, тобто механізми теребильного типу. Якісне виконання технологічного процесу залежить від стану гички, тобто буряки мають бути викопані до настання морозів, поки вона знаходиться у доброму стані, тому в останній час машини теребильного типу практично не застосовуються.

Гичкозрізувальні апарати, які зрізують зелену масу на коренеплодах поділяють на такі, що виконують зрізування без копіювання та з копіюванням.

Гичковидаляючі механізми, в яких зрізування гички проходить без копіювання головок коренеплодів, прості у конструктивному виконанні, технологічно надійні у роботі і дозволяють збирати чисту гичку, тому що вони встановлюються на певній відстані від поверхні ґрунту.

За принципом дії ріжучих елементів гичкозрізувальні пристрої можна класифікувати на три основних типи (рис. 1.3) [53, 56]:

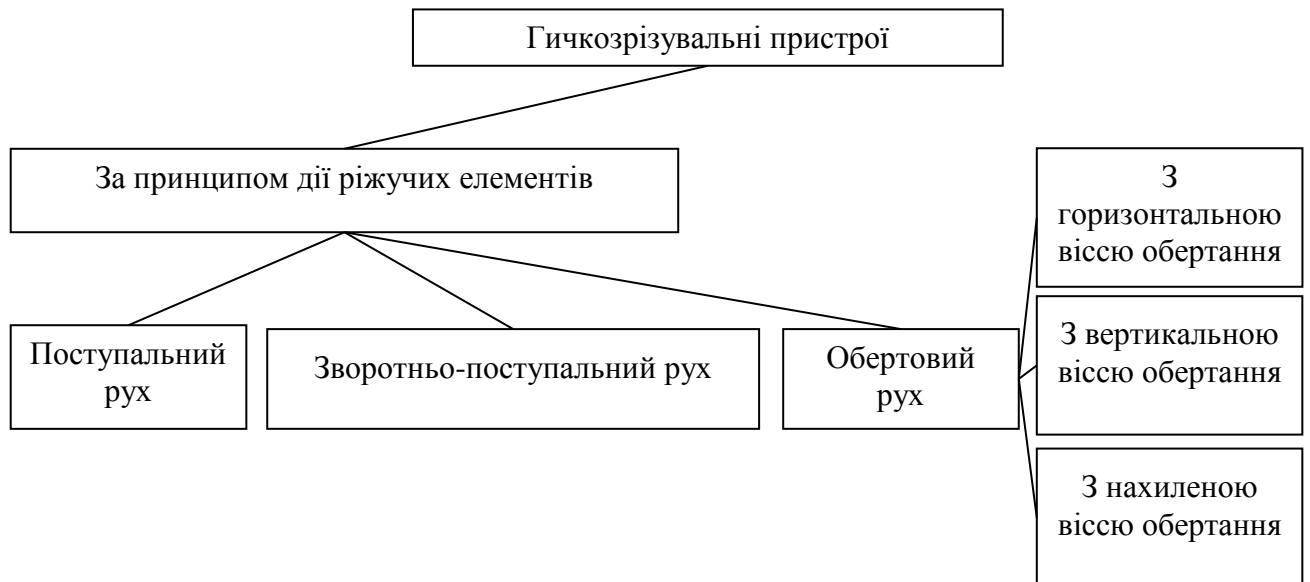


Рис. 1.3. Класифікація гичкозрізувальних пристроїв за принципом дії ріжучих елементів

Гичковидаляючі механізми з поступальним рухом ріжучих елементів (рис. 1.4) відрізняються простотою конструктивного виконання, проте у вітчизняному виробництві поширення не набули. Основна причина цього – ненадійність технологічного процесу зрізування. При роботі на полях з підвищеною засміченістю відбувається забивання ріжучого апарату, що призводить до неякісного зрізування, вибивання коренеплодів з ґрунту. У закордонному виробництві гичкозрізувальні апарати з пасивним ножем використовують в якості дообрізувачів головок коренів на деяких машинах фірм “Kleine”, “Herriau”, “Stoll”.

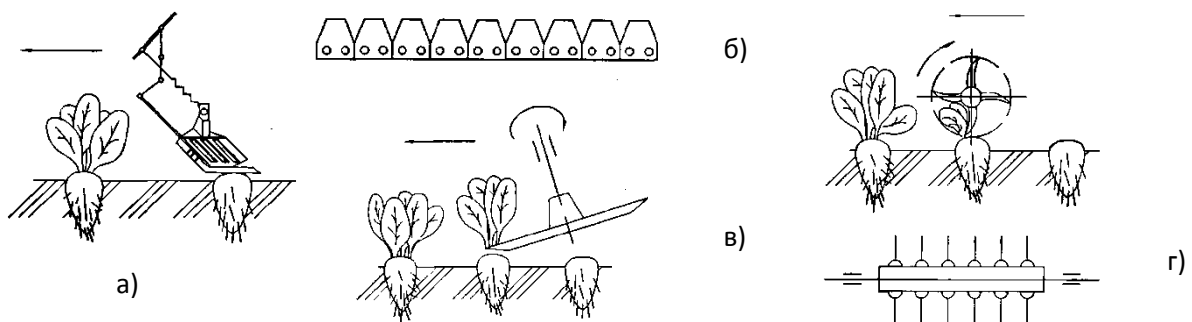


Рис. 1.4. Схеми гичкозрізувальних пристроїв:

- а) ріжучий елемент виконує поступальний рух; б) ріжучий елемент виконує зворотньо-поступальний рух; в) з активним дисковим ножем; г) роторний

У гичкозрізувальному пристрої (рис. 1.5) ріжучий елемент виконує зворотно-поступальний рух (комбайн К-500 “Volvo”), зрізує гичку на певній висоті відносно поверхні ґрунту за допомогою сегментних ножів. В основній зрізаній масі відсутні головки коренеплодів, через що відбувається розсипання черешків під час зрізування, що призводить до забруднення гички і підвищення її втрат, іноді до 30%.

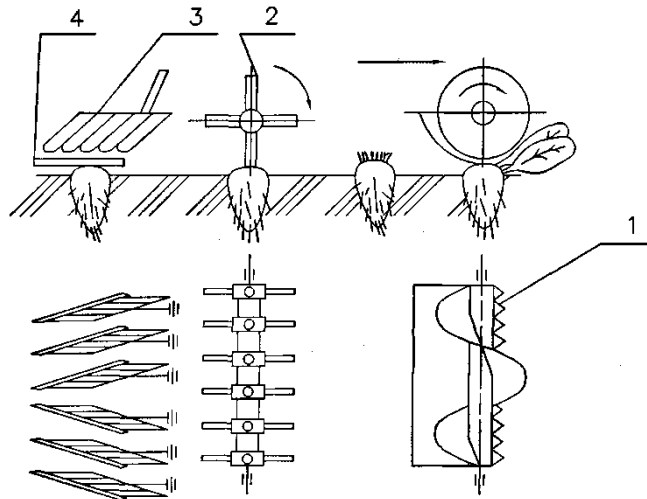


Рис. 1.5. Функціональна схема видалення гички комбайна К-500 “Volvo”:
1 – сегментний ніж; 2 – очисник головок коренеплодів; 3 – копір; 4 – пасивний ніж

Активні дискові ріжучі пристрої (див. рис. 1.4в) у поєднанні з пасивним гребінчастим копіром широкого розповсюдження набули на початку 60-х років, в основному на вітчизняних машинах СКН-2А, БМ-6, БМ-4, БМ-6А, БМ-6Б, БС-6, МБС-6, у комбайнах John Deere 223 (США) та ін. [53, 56]. Ножі цих апаратів, які з’єднуються з копіром через паралелограмну підвіску, приводяться у обертовий рух за допомогою конічного редуктора. Конструктивно ріжуча поверхня дискового ножа виконується суцільною, сегментною або зубчастою. На засмічених рослинністю полях ефективніше працюють ножі з сегментною і зубчастою ріжучою поверхнею, а на чистих – із суцільною.

Дискові ножі використовуються переважно в основній зоні бурякосіяння. Вони забезпечують задовільну якість обрізування при швидкості машини до

1,9 м/с, врожайністю гички до 30 т/га, рівномірному розміщенні рослин у рядках і відносно рівній поверхні поля [53, 56].

Дискові ріжучі пристрої мають такі недоліки [53]:

- малий діапазон (0...100 мм) переміщення ножа у висоту;
- значна маса рухомих частин;
- складна конструкція механізму привода, підвіски ножа і копіра;
- при розташуванні коренеплодів цукрових буряків високо над рівнем ґрунту спостерігається їх вибивання гребінчастими пасивними копірами;
- при високоврожайній гичці і підвищених швидкостях руху агрегату не забезпечується якісне обрізування гички ножами внаслідок відсутності повного копіювання гребінками копірів поверхні головок.

Для усунення цих недоліків можна застосувати активні і комбіновані (активно-пасивні) копіри у поєднанні із дисковими активними ножами [52]. При їх застосуванні кількість повалених коренеплодів знижується, але якість обрізування високорозвиненої гички істотно не підвищується [56]. Такі апарати складні за конструкцією і менш надійні, тому вони не знайшли широкого використання у бурякозбиральній техніці.

Безкопінний роторний пристрій з жорстко закріпленими на диску лопатевими ножами дозволяє попередньо обрізувати високорозвинену гичку на заданій висоті, а дообрізування головок коренеплодів виконувати дисковим апаратом з пасивним гребінчастим копіром. Принципова відмінність технологічного процесу такої машини в тому, що зрізана роторним апаратом верхня частина гички подається на прийомний шнековий транспортер, подрібнюється за допомогою спеціального пристрою і перевантажується у транспортні засоби. Зрізані дисковим пристроєм верхівки коренеплодів із залишками зеленої маси викидаються доочисниками на зібране поле і не підбираються.

Така технологія зрізування гички не знайшла застосування у вітчизняних конструкціях механізмів, внаслідок відсутності у господарствах сховищ для її силосування, а також додаткових втрат цінної кормової маси у залишених на полі верхівках коренеплодів із залишками гички і черешків [53, 56, 64].

Роторні гичкозрізувальні пристрої (див. рис.1.4г), що складаються з вала, на якому шарнірно закріплені S-подібні ножі, отримали широке застосування у країнах Західної Європи. Виробники бурякозбиральної техніки (“Matrot”, “Herriau” (рис. 1.6), “Stoll”, “Klein”), виготовляють гичковидальючі апарати з роторними гичкозрізувачами.

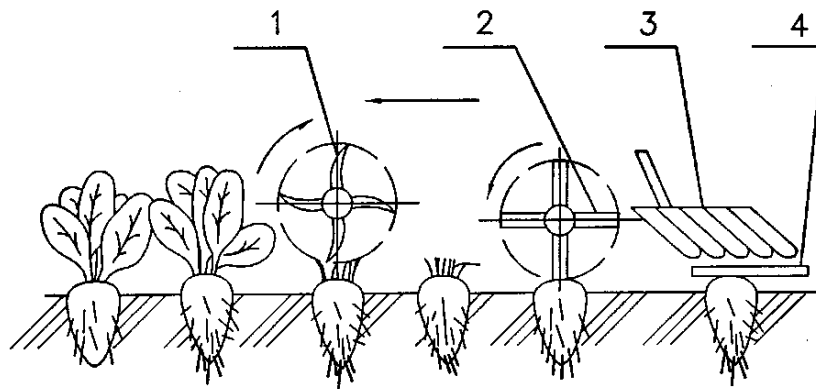


Рис. 1.6. Функціональна схема видалення гички комбайном “Herriau”:

- 1 – вал з S - подібними ножами; 2 – очисник головок коренеплодів; 3 – копір;
4 – пасивний ніж

При роботі роторних гичкозрізувальних механізмів, гичка зрізується на одному рівні, тому нерівномірне розміщення головок коренеплодів у рядкові не впливає на якість роботи гичковидальючого апарату в цілому. Залишки зеленої маси з головок буряків видаляються очисниками головок коренеплодів. Різні моделі гичкозрізувальних пристроїв з роторними гичкозрізувачами відрізняються між собою лише конструкцією очисника головок коренеплодів.

Гичкозрізувальний роторний механізм має важливу перевагу – велика продуктивність при високій врожайності гички, а також при значній засміченості плантації. У вітчизняній практиці даний апарат для збирання

гички цукрових буряків широкого використання не отримав через те, що гичка дуже подрібнюється і після цього стає непридатною для згодовування тваринам [53, 56, 76].

У сучасних бурякозбиральних машинах найбільшого розповсюдження отримали гичкозрізувальні пристрої трьох типів, які відрізняються конструкцією і компоновкою основних елементів – копіра і ножа.

Пристрої, в яких пасивний копір поєднується з активним дисковим ножом (рис. 1.7а), застосовуються у районах з середньою врожайністю гички, низьким розташуванням і міцним закріпленням коренеплодів у ґрунті. Копір може бути виготовлений у вигляді гребінки, або полозки. Такі апарати працюють задовільно при швидкості машини до 1,5 – 1,7 м/с незалежно від погодних умов і забезпечують достатньо повне збирання гички [53, 76]. При збільшенні робочої швидкості різко погіршується технологічний процес обрізування, що призводить до підвищення втрат цукрової маси, яка попадає в гичку.

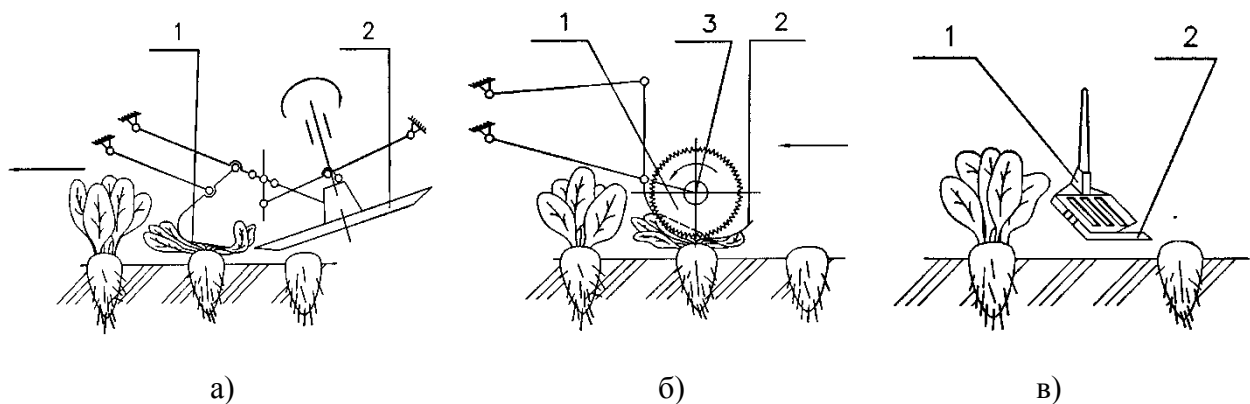


Рис. 1.7. Гичкозрізувальні апарати:

а) пасивний копір поєднується з активним дисковим ножом; б) активний котковий копір поєднується з пасивним ножом; в) пасивний копір поєднується з пасивним ножом

Такі апарати застосовувались у бурякозбиральних комбайнах СКД-2, пізніше – на гичкозбиральних машинах БМ-6А, БМ-6Б.

Поєднання активного коткового копіра, який обертається, з пасивним ножом (рис. 1.7б) є типовим для гичкозрізувальних апаратів машин типу Е732, Е734 (Німеччина), ЗОСХ (Чехія). Застосовуються у районах з високою

врожайністю гички (до 70 т/га), яка збирається і використовується як корми для тварин. У вітчизняному машинобудуванні даний гичковидальючий механізм розповсюдження не отримав. Це пояснюється відносно нестійкими ґрунтово-кліматичними умовами, через що більша частина головок коренеплодів знаходиться на рівні, або нижче рівня ґрунту. При цьому ніж швидко затуплюється, в результаті чого відбувається неякісне зрізування.

Пристрої з пасивним копиром і пасивним ножом (див. рис. 1.7в) застосовуються для зрізування залишків гички при попередньому її видаленні з головок коренеплодів (бурякозбиральні машини фірм “Kleine”, “Herriau”, “Stoll”, “Moreau”).

Можливе поєднання активного копіра та активного ножа. Апарати такої конструкції практичного застосування не отримали, так як рухомі частини мають великі інерційні зусилля.

Очищення коренеплодів за рахунок ударної дії робочих органів досить широко використовують на бурякозбиральних машинах як вітчизняного так і закордонного виробництва. Велику кількість гичкозбиральних машин та модулів обладнують робочими органами ударної дії для доочищення головок коренеплодів від залишків гички. Використовують комбіновані гичкозбиральні пристрої, які мають робочі органи як ріжучої так і ударної дії.

Застосовують також гичкозбиральні машини, в яких видалення гички розділене на декілька операцій. Так, навісна бурякозбиральна машина KR-6 (рис. 1.8а) виробництва фірми “Kleine” має гичкоріз роторного типу 1, який зрізує і видаляє на певній встановленій висоті відносно ґрунту на шнек 2 основну масу гички. За роторним гичкорізом розташований очисник головок коренеплодів 3, який видаляє решту черешків зрізаної гички. За очисником головок коренеплодів 3 розташований дообрізувач для точного обрізування головок коренеплодів, який виконаний у вигляді пасивного копіра і пасивного ножа [107].

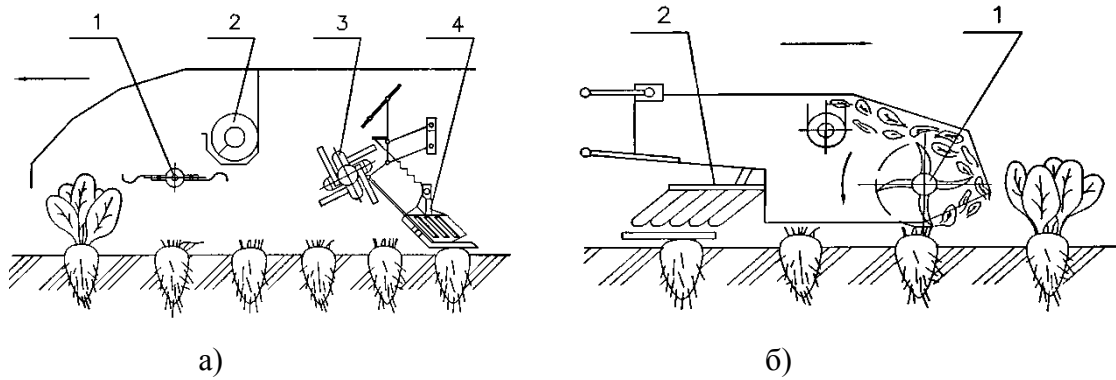


Рис. 1.8. Функціональні схеми видалення гички:

а) бурякозбиральна машина KR-6 фірми “Kleine”:

1 – гичкоріз роторний; 2 – шнек; 3– очисник головок коренеплодів; 4 – дообрізувач;

б) бурякозбиральні машини фірм “Heriau”, “Moreau”, “Stoll”:

1 – гичкоріз роторний; 2 – дообрізувач

Завдяки безступінчастому регулюванню робочої висоти роторного гичкорізу 1 (рис. 1.8а) досягається оптимальна висота зрізування гички у різних за величиною коренів цукрових буряків. Така гичкозрізувальна система задовільно працює і на засмічених полях, підтримуючи високу робочу швидкість.

У більшості французьких бурякозбиральних комплексів (“Heriau”, “Moreau”) та німецькому “Stoll” застосовують гичкозбиральні механізми, в яких перша операція – попереднє обрізування гички, яке здійснюється горизонтальним роторним гичкорізом 1 (рис. 1.8б) з шарнірно підвішеними ножами, як і в бурякозбиральній машині KR-6. У таких машинах доочищення головок відбувається тільки дообрізувачем 2, який виконано у вигляді пасивного ножа та пасивного копіра [57].

Широкого використання у машинах італійських фірм (“Barigelli”, “Rimesco”, “Guaresi” та ін.) набув механізм для збирання гички з попереднім зрізанням основної її маси горизонтальним роторним гичкорізом 1 (рис. 1.9а) із шарнірно підвішеними ножами, однак у цих бурякозбиральних агрегатах доочищення головок коренеплодів проходить у два етапи.

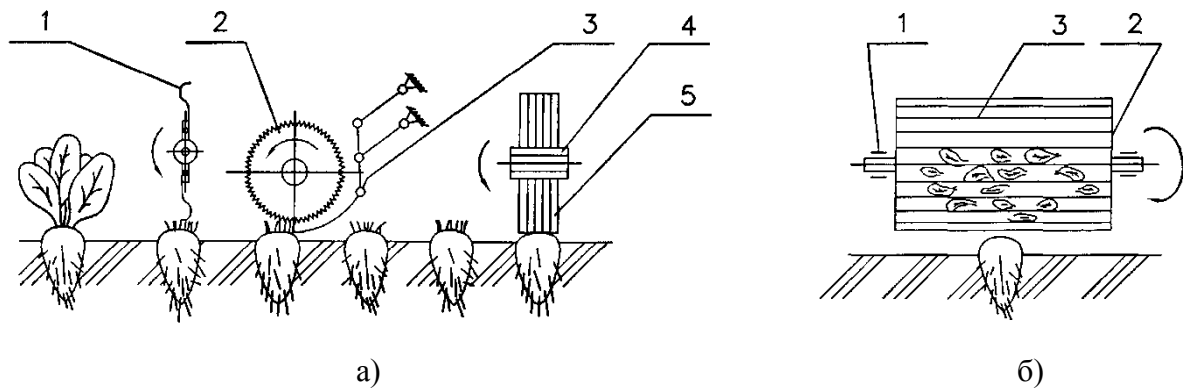


Рис. 1.9. Схеми виконання технологічного процесу гичковидаляючими механізмами:

- а) функціональна схема видалення гички бурякозбиральних машин фірм “Barigelli”, “Rimeco”, “Guaresi”: 1 – гичкоріз роторний; 2 – активний копір; 3 – пасивний ніж; 4 – очисник головок коренеплодів; 5 – бич;
- б) гичкозрізувальний пристрій, який суміщає процес копіювання і зрізування (патент Швеції): 1 – вал; 2 – диск; 3 – дріт

На першому етапі відбувається точне зрізування залишків черешків завдяки тому, що після роторного гичкорізу 1 встановлений дообрізувач головок, який складається з активного копіра 2 і пасивного ножа 3. На другому етапі проходить остаточне доочищення головок за допомогою ОГК 4 з використанням еластичних бичів 5, які мають горизонтальну вісь обертання, направлену вздовж рядків і встановлених на викопуючому пристрої. Така конструкція гичкозрізувального апарату дозволяє збирати цукрові буряки з мінімальною кількістю гички на головках коренеплодів. Конструктивна схема даних пристроїв має ряд недоліків, які характеризуються складністю механічного привода та підвищеною металоємкістю.

Відомий гичкозрізувальний пристрій (патент Швеції № 315766, A01D, 1968) (рис. 1.9б) з горизонтальним валом 1 на якому встановлено два диски 2 на певній відстані один від одного. По периметру диски з'єднані між собою сталевими дротами або прутками з високоміцного матеріалу 3. Барабан, утворений з двох дисків і сталевих дротів, має можливість вільно рухатися у вертикальній площині. Під час роботи барабан обертається і перекочується по головках коренеплодів. Листя гички, що попадає в міждротовий простір, порційно зрізується і подрібнена її маса попадає у внутрішню частину

барабана. Через отвори, пророблені у дисках, подрібнена гичка видаляється на поверхню поля.

Враховуючи потребу сучасного сільськогосподарського комплексу у нових машинах для збирання коренеплодів цукрових буряків з врахуванням агротехнічних вимог, які до них висуваються та опираючись на аналіз існуючих конструкцій і тенденцій розвитку гичкозбиральних агрегатів у найбільших бурякосіючих країнах світу можна вважати, що перспективним є розвиток машин з робочими органами, які працюють за технологічною схемою, що включає високе зрізування гички роторними пристроями з подальшим доочищенням головок коренеплодів гичкозрізувальними механізмами з використанням пасивних гребінчастих копирів і пасивних плоских ножів. Особливо це актуально при різкому зменшенні потреби у кормах для тварин, до яких відноситься і гичка цукрових буряків [56, 78, 79].

1.3. Сучасний стан конструкцій механізмів для дообрізування залишків гички цукрових буряків

На початку 60-х років минулого століття були визначені можливі раціональні комбінації конструкцій різних типів ножів і копирів гичковидальючих апаратів. Основні типи компоновки механізмів для видалення гички того часу – поєднання дискового копіра з плоским ножом (рис. 1.10а-г), і дискового ножа з різними типами копирів (рис. 1.10д-з) [76].

Видалення гички може відбуватися в одну або дві фази. Апарати для двофазного видалення включають механізми для основного видалення і дообрізувачі, які здійснюють обрізування залишків гички на головках коренеплодів [54, 76]. Виконується ця операція пасивними плоскими ножами (рис. 1.11).

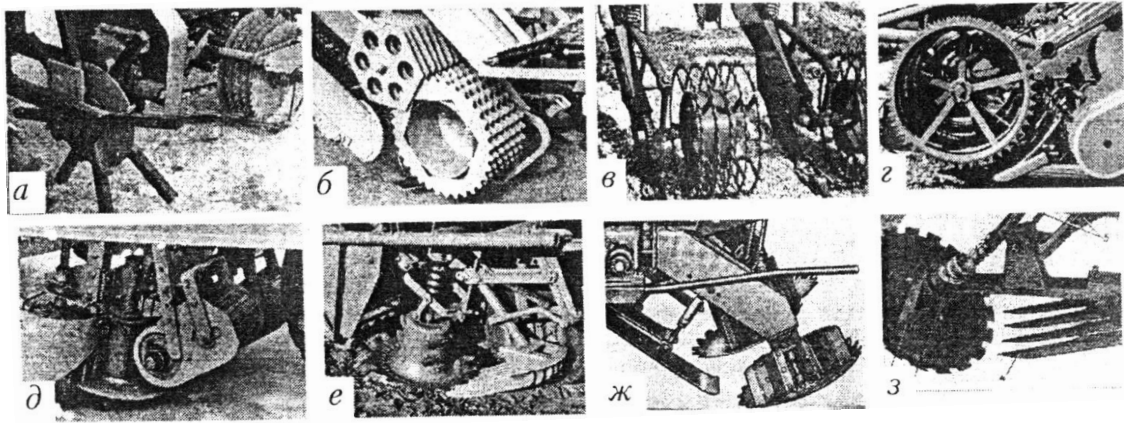


Рис. 1.10. Конструкції гичковиделяючих апаратів:

а) “Кетчнол” (Англія); б) “Салмон” (Голандія); в, д) “Жан-Моро” (Франція); г) Е-732 (Німеччина); е) СКН-2 (УкрНІИСХОМ); ж) “Джон-Дір” (США); з) з гідроприводом ножа (СССР)

Бурякозбиральний комбайн Holmer Terra Dos Т3 (якість обрізування головок 77,9%) обладнаний гичкозрізувальним апаратом з мінімальним зрізом. Незалежно від висоти розташування коренеплодів відбувається незначне їх зрізування, яке точно регулюється. Видалення гички здійснюється за допомогою апарату роторного типу, на якому шарнірно закріплені ножі. Дообрізування головок коренеплодів виконується дообрізувачами з пасивними гребінчастими копірами та пасивними ножами (рис. 1.11), що встановлені під кутом до рядка [90, 94].

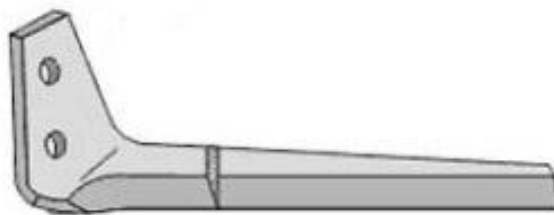


Рис. 1.11. Плоский ніж гичкорізального апарату бурякозбирального комбайна Holmer Terra Dos Т3

Завдяки наявності твердосплавного напилення ножі гичкорізу автоматично заточуються, що підвищує термін їх експлуатації та якість виконання технологічного процесу.

Конструкції дообрізувачів головок коренеплодів цукрових буряків в конструктивній схемі яких використовують плоскі ножі, зображені на рис. 1.12.

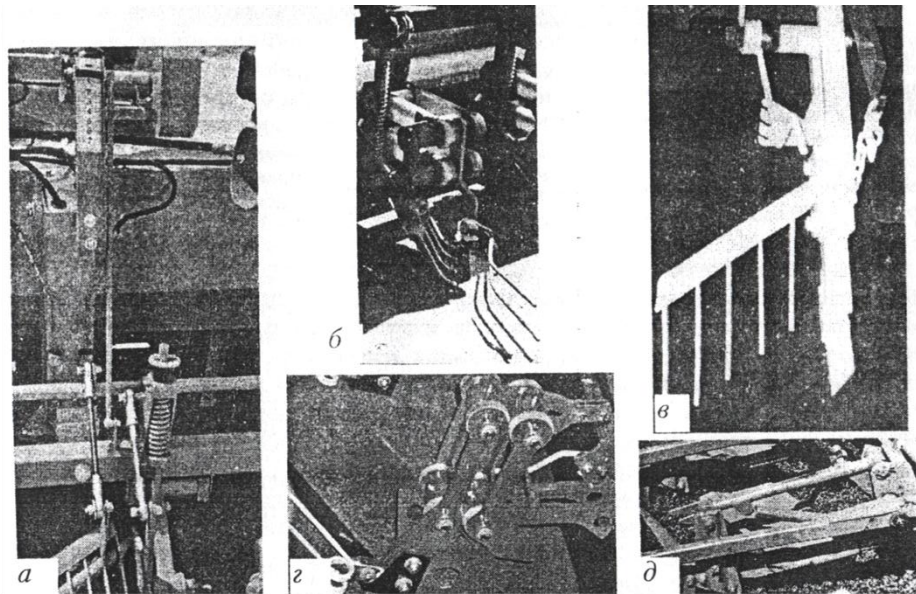


Рис. 1.12. Конструкції дообрізувачів головок коренеплодів:

а) “Ропа” (Німеччина); б) “Штоль” (Німеччина); в) “Мотро” (Франція); г) “Холмер” (ФРГ); д) машина МБП - 6 (ТКЗ)

Компонувальна схема роторних гичкозрізувальних механізмів, які складаються з вала, на якому шарнірно закріплені S-подібні ножі, широко застосовується закордонними виробниками бурякозбиральної техніки (“Franz Kleine” [138] “Matrot”[135] та ін.).

Найбільш типовим представником гичкозбиральних пристроїв закордонних бурякозбиральних машин є гичкозбиральний модуль виробництва фірми “Franz Kleine” (Німеччина) (рис. 1.13). Гичковидальюча частина комбайна “Franz Kleine SF 10” складається із роторного гичкоріза 1, на якому закріплені S-подібні ножі, транспортуючого шнека гички 2, очисника головок коренеплодів 3 і дообрізувача 4, що змонтований на лижній рамі [138]. Оператор комбайна має можливість проводити регулювання висоти і частоти зрізування залежно від відстані між буряками, а також враховуючи рівні заглиблення коренеплодів у ґрунті.

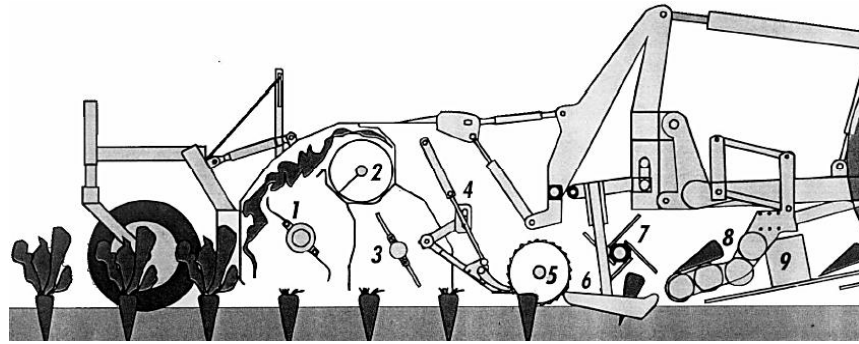


Рис. 1.13. Схема гичкозбиральної частини комбайна “Franz Kleine SF 10”:

1 – роторний гичкоріз; 2 – шнековий транспортер; 3 – ОГК; 4 – дообрізувач гички;
5 – копір; 6 – викопуючий робочий орган; 7 – коренезабірник; 8 – транспортуючий пристрій; 9 – очисний пристрій

S-подібні ножі, які розміщені на роторному гичкорізі 1, видаляють основну масу гички, яка переміщається на край машини за допомогою шнекового транспортера 2. Еластичні біла ОГК 3 очищають головки коренеплодів від черешків та залишків гички. Дообрізувач 4 (див. рис. 1.13), що складається із гребінчастого копіра та пасивного ножа, виконує кінцеве дообрізування головок коренеплодів від залишків гички.

Використання дообрізувача гички типу “Opti-cut” (рис. 1.14) дозволяє підвищити якість обрізування головок коренеплодів. Даний дообрізувач обладнаний функцією автоматичного регулювання висоти зрізу, що дозволяє забезпечувати оптимальну якість видалення гички при різних агрокліматичних умовах [90, 94].

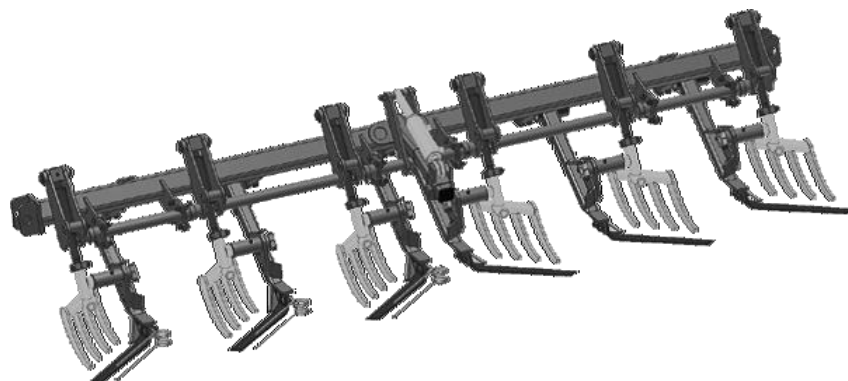


Рис. 1.14. Дообрізувач гички типу “Opti-cut”

Причіпна шестирядна коренезбиральна машина “Defoliator WIC” (рис. 1.15) обладнана гичкозрізувальним апаратом, що складається із ротора 1, на якому закріплені еластичні била 2 та дообрізувача 4 [60, 94]. При русі машини коренеплоди очищаються від гички еластичними билами 2, а залишки її обрізуються з головок коренеплодів пасивними ножами 6, які встановлюються на необхідну висоту за допомогою гребінчастого копіра 5.

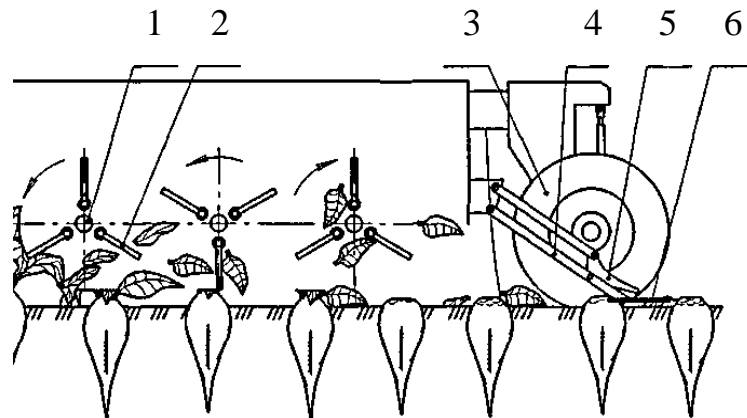


Рис. 1.15. Схема бурякозбиральної машини “Defoliator WIC”:

1 – ротор; 2 – еластичні била; 3 – опорне колесо; 4 – дообрізувач;
5 – гребінчастий копір; 6 – ніж

Самохідна гичкозбиральна машина 6-OCS фірми “Agrozet” (Чехія), обладнана гичкозрізуючим апаратом (рис. 1.16), що складається із активного дискового копіра і пасивного плоского ножа, який розміщений під кутом до напрямку рядка [38]. Дисковий копір 7 (рис. 1.16) при русі машини по рядках під дією власної ваги та довантажуючого пристрою 6 взаємодіє з головками коренеплодів та через регулюючу тягу 5 встановлює плоский ніж 8 на необхідну висоту зрізування. Обрізана гичка завантажується зубчастими дисками копіра 7 на приймальний транспортер 9.

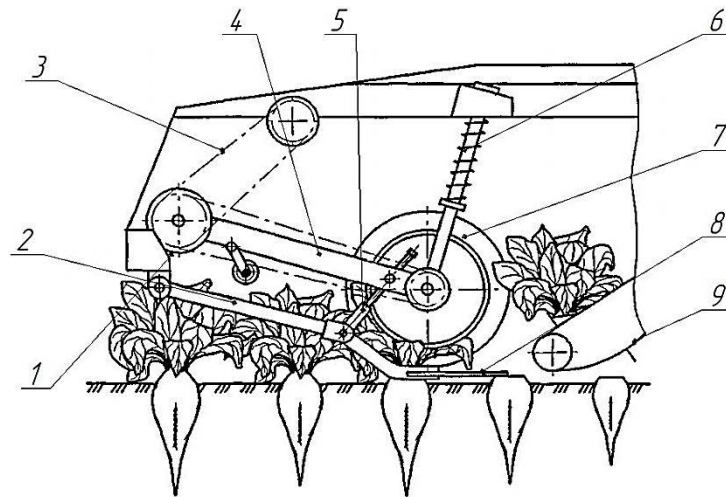


Рис. 1.16. Схема гичкозрізуючого апарату машини 6-OCS фірми
“Agrozet” (Чехія):

1 – рама машини; 2 – підвіска ножа; 3 – привод копіра; 4 – підвіска копіра;
5 – регулююча тяга; 6 – довантажуючий пристрій; 7 – дисковий копір; 8 – плоский
ніж; 9 – приймальний транспортер

Проведений патентний пошук дозволив виділити принципово нові схеми гичкоочисних пристроїв, які застосовуються у бурякозбиральних агрегатах вітчизняного та зарубіжного виробництва.

Машина для збирання гички цукрових буряків (АС SU 1097224 А1, А 01 D 23/02) (рис. 1.17) складається з рами, на якій розміщено пристрій для зрізування основної маси гички, очисники головок коренеплодів та їх дообрізувачі, які виготовлені у вигляді ножа і копіра. Кожна пара дообрізувачів обладнана розміщеним між ними копір-водієм і горизонтальною штангою, що шарнірно кріпиться з поворотними в горизонтальній площині кронштейнами. При русі машини по рядках ротор 4 пристрою 3 ножами 5 при обертанні видаляє основну масу гички і подає її на поперечний шнек 6. Висота обрізування встановлюється колесами 21, що копіюють рельєф ґрунту. Черешки гички, що залишились на коренеплодах після проходження через пристрій 3, видаляються білами 11 обертового ротора 10 очисника головок 9, а неочищена верхівка коренеплодів обрізується ножами 14 дообрізувача 12. Копіри 13, жорстко зв'язані з ножами 14 дообрізувачів 12 головок коренеплодів та шарнірно зв'язані з поворотними кронштейнами 16, здійснюють плоско-

паралельний рух відносно ґрунту, копіюючи коренеплоди по висоті. Ніж 14 має по відношенню до копіра 13 попередньо встановлений горизонтальний та вертикальний зазори, які дозволяють зменшити втрати цукроносної маси.

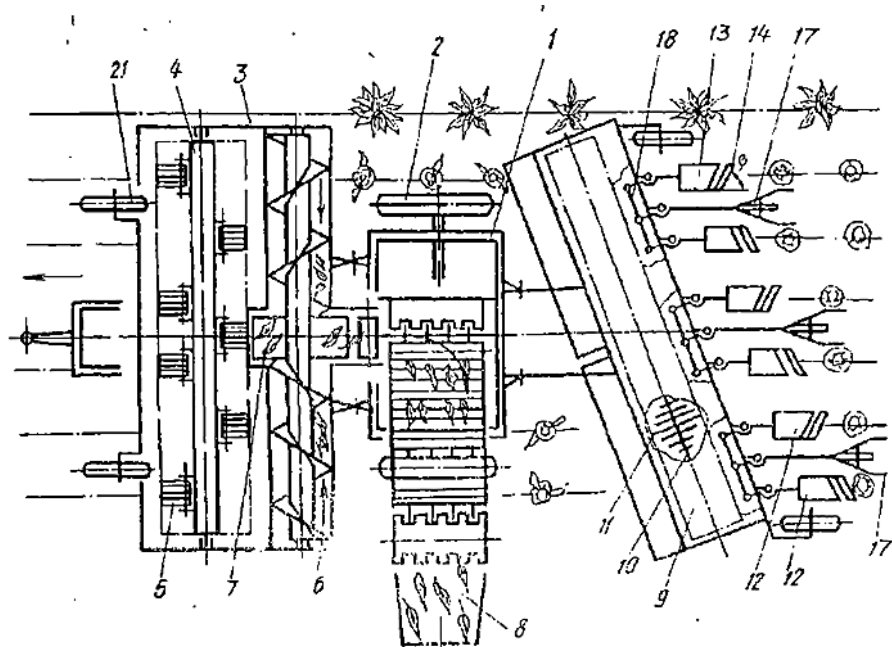


Рис. 1.17. Машина для збирання гички цукрових буряків
(АС SU 1097224 А1, А 01 D 23/02):

1 – основна рама; 2 – ходові колеса; 3 – пристрій для обрізування основної маси гички; 4 – ротор; 5 – ніж; 6 – поперечний шнек; 7 – розкидач; 8 – завантажувальний транспортер; 9 – очисник головок; 10 – ротор; 11 – біла; 12 – дообрізувач головок коренеплодів; 13 – копір; 14 – ніж; 15 – рама очисника; 16 – кронштейн; 17 – копір-водій; 18 – горизонтальна штанга; 19 – датчик копір-водія; 20 – паралелограмна підвіска; 21 – колеса; 22 – пружини

Дообрізувач гички коренеплодів (RU 2003105871 А, А01D23/02) складається з паралелограмного механізму, на рухомій ланці якого розміщені копір і стійка з ножем. Верхня кромка стійки має гострий активний кут входження в ґрунт, нижня кромка стійки з горизонтальною площиною складає гострий кут.

Гичкоріз бурякозбиральної машини (RU 2449528 А, А01D23/00) обладнаний повідковим копіром верхівок головок коренеплодів, шарнірно встановленим на рамі машини і дисковим ножем з бітером. Вони з'єднані з валом в підвісному корпусі, встановленому на рамі машини за допомогою

паралелограмної підвіски, зв'язаної кінематично з повідковим копіром і карданним приводом дискового ножа від трансмісії машини.

Пристрій (5 А 01 D 23/02) для видалення гички коренеплодів на корені (рис. 1.18) складається з рами 1, на якій за допомогою паралелограмної підвіски змонтовані гребінчастий копір 2 і ніж 3. Копір встановлений із нижньої штанги 6 підвіски, що дає можливість повороту навколо її поздовжньої осі, а з верхньою штангою 5 зв'язаний через тягу автоматичного регулювання 8, яка встановлена на кульових шарнірах 9 і 10. Штанги 5 і 6 підвіски зв'язані між собою пружиною розтягу 11.

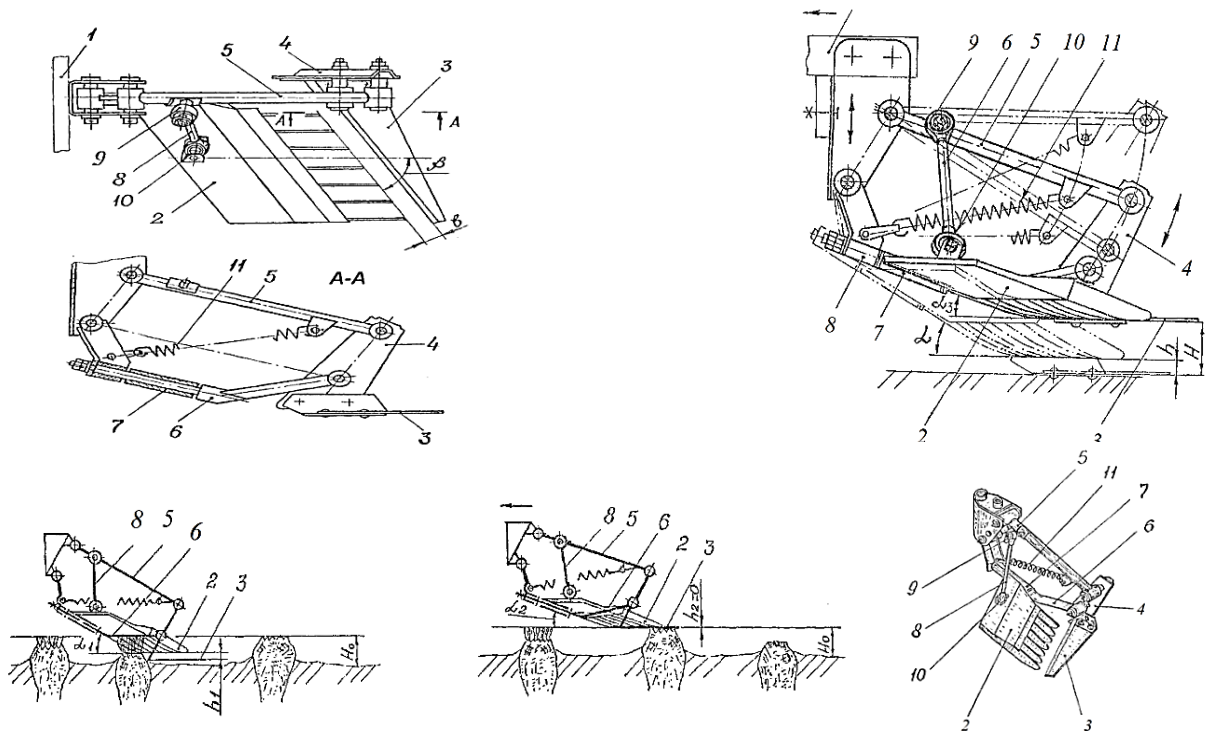


Рис. 1.18. Пристрій для видалення гички коренеплодів на корені
(5 А 01 D 23/02):

1 – рама; 2 – гребінчастий копір; 3 – плоский ніж; 4 – вертикальна стійка; 5 – верхня штанга; 6 – нижня штанга; 7 – поздовжня вісь; 8 – тяга автоматичного регулювання копіра; 9, 10 – кульові шарніри; 11 – пружина

При русі пристрою вздовж рядків коренеплодів копір 2, наїжджаючи на коренеплоди, копіює їх головки по висоті, при тому копір 2 підіймає чи опускає нижню штангу 6 і кінематично зв'язаний з нею ніж 3. Ніж 3, притиснутий до

головки коренеплоду зусиллям пружини 11, своєю ріжучою кромкою видаляє гичку з коренеплоду. При наїзді копіра 2 на буряк, що низько розміщений у ґрунті, ніж 3 обрізує його головку на величину вертикального зазору. Якщо коренеплід розташований високо над поверхнею ґрунту, вертикальний зазор зменшується, при тому зменшується висота обрізування черешків.

Пристрій (UA 17327 U, A01D 23/02) для дообрізування гички (рис. 1.19) складається з рами 1, на якій за допомогою паралелограмної підвіски 2 змонтовані гребінчастий копір 3 і ніж 4, що встановлені на рамі 1 на двох нерухомих осях 5 в поздовжніх пазах 6, виконаних паралельно різальній кромці ножа 7. На одній з осей 5 змонтована Г-подібна пружина 8, довша сторона якої розташована під кутом α (6...10°) до різальної кромки ножа 7, а загнутий кінець меншої сторони Г-подібної пружини встановлений в паз 9 ножа 4. Паз 9 виконаний перпендикулярно до різальної кромки 7 ножа 4. При русі пристрою для дообрізування гички по рядках цукрових буряків з попередньо високо видаленою гичкою на одному рівні від поверхні ґрунту, гребінчастий копір 3 наїжджає на головки коренеплодів, копіює їх і за допомогою паралелограмної підвіски 2, прикріпленої до рами 1, передає ці рухи ножу 4.

В процесі зрізування головок коренеплодів із залишками гички довша сторона Г-подібної пружини 8 відхиляється під дією зрізаного залишку цукрових буряків. В результаті руху довшої сторони Г-подібної пружини 8 відбувається її поворот навколо осі 5 і за рахунок взаємодії загнутого кінця меншої сторони з пазом 9 ножа 4 відбувається його рух у поздовжніх пазах 6 паралельно різальній кромці 7. Так, як рух ножа 4 відбувається паралельно різальній кромці 7, то віддаль між копіром і ножем 4, не змінюється. Після зрізування головки коренеплоду за рахунок Г-подібної пружини 8 відбувається зворотній рух ножа 4 в поздовжніх пазах 6.

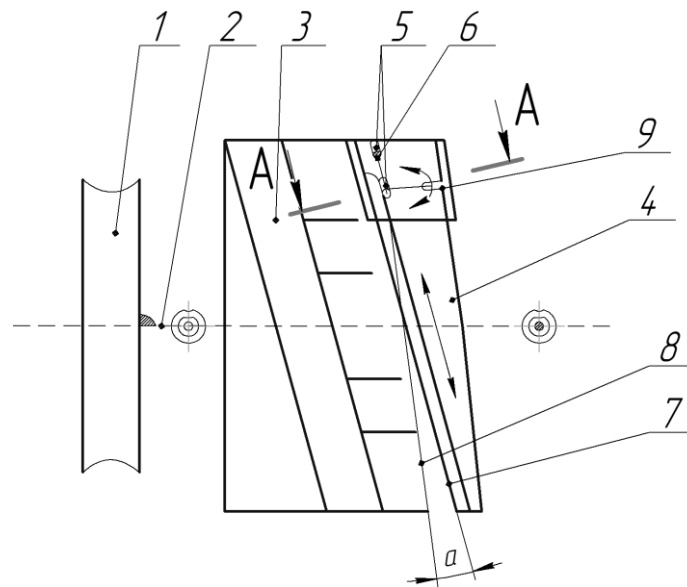


Рис. 1.19. Пристрій для дообрізування гички (UA 17327 U, A01D 23/02):

1 – рама; 2 – паралелограмна підвіска; 3 – гребінчастий копір; 4 – ніж; 5 – нерухома вісь; 6 – поздовжній паз; 7 – різальна кромка ножа; 8 – Г-подібна пружина; 9 – паз ножа

Дообрізувач гички (UA 25478 U, A01D 23/02) (рис. 1.20) складається з рами 1, на якій за допомогою паралелограмної підвіски 2 змонтовані гребінчастий копір 3 і рухомий ніж 4, що встановлені на дообрізувачі на двох нерухомих осях 5 в поздовжніх пазах 6, виконаних паралельно різальній кромці ножа 7. На одній з осей 5 змонтована Г-подібна пружина 8, довша сторона якої розташована паралельно різальній кромці 7 ножа 4. Менша сторона пружини 8 розміщена в пазу 9 ножа 4, має С-подібну форму і встановлена з можливістю взаємодії з пазом 10 фіксатора 11, що змонтований на гребінчастому копирі 3, а в одній із стінок якого встановлений гвинт 12. При русі дообрізувача по рядках цукрових буряків, з попередньо високо видаленою гичкою на одному рівні від поверхні ґрунту гребінчастий копир 3 наїжджає на головки коренеплодів, копіює їх і за допомогою паралелограмної підвіски 2, прикріпленої до рами 1, передає ці рухи ножу 4. В процесі зрізування головок коренеплодів із залишками гички довша сторона пружини 8 відхиляється під дією зрізаного залишку цукрового буряка, внаслідок чого відбувається поворот довшої сторони пружини 8 навколо осі 5 і за рахунок взаємодії загнутого кінця меншої

сторони з пазом 9 ножа 4 відбувається його рух у поздовжніх пазах 6 паралельно різальній кромці 7.

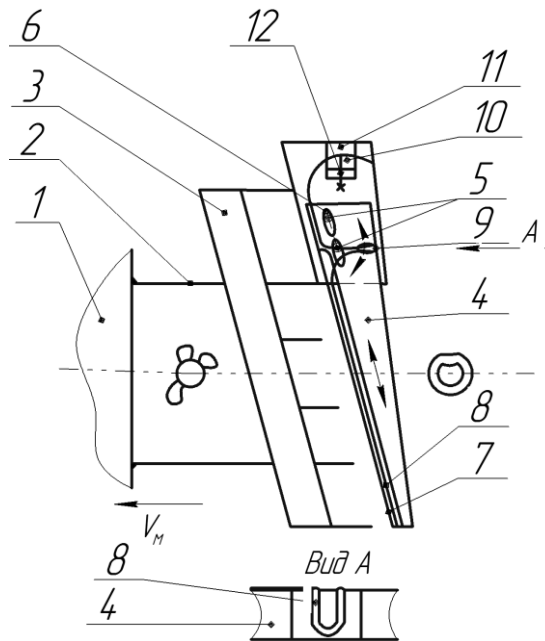


Рис. 1.20. Дообрізувач гички (UA 25478 U, A01D 23/02):

1 – рама; 2 – паралелограмна підвіска; 3 – гребінчастий копір; 4 – ніж; 5 – нерухома вісь; 6 – поздовжній паз; 7 – різальна кромка ножа; 8 – довша сторона пружини; 9 – паз ножа; 10 – паз фіксатора; 11 – фіксатор; 12 – гвинт

В процесі взаємодії ножа 4 з головками коренеплодів цукрових буряків, розміщених в рядках, він виконує зворотно-поступальний рух, взаємодіючи з залишком гички в одну сторону, і в іншу, під час проходження проміжків між буряками, за рахунок дії на паз 9 С-подібного продовження пружини 8, яка має змінну жорсткість, що створюється стопорінням її вільного кінця в пази 10 фіксатора 11 гвинтом 12.

Так як віддаль від паза 9 до точки взаємодії довшої сторони пружини 8 з коренеплодом приблизно однакова з віддалю до розташування паза 10 фіксатора 11, то сили, які створюють зворотно-поступальний рух ножа 4, також однакові, а це створює позитивну динаміку роботи дообрізувача, яка триває десятки долі секунди, за рахунок зрівноваження сил інерції.

У пристрої для обрізування гички коренеплодів (RU 2004136388 А, A01D23/02) робочий орган для доочищення головок виконаний у вигляді

очисних пластин, встановлених на підпружинених лопатях, шарнірно закріплених у ступиці, що жорстко встановлена на валу.

Зрізування гички за допомогою схеми з використанням активних дискових копирів та пасивних ножів (патент Франції № 2283628) відбувається без допоміжного валу з еластичними бичами (рис. 1.21). Активні копирі з високим ступенем точності копіюють головки коренеплідів, а пасивні ножі достатньо точно обрізають поверхню коренеплоду.

Обмеження робочої швидкості машини є суттєвим недоліком пристроїв, які працюють за такою схемою. При високих швидкостях можливе проскакування копирів з головок коренеплідів, що негативно впливає на якість виконання технологічного процесу в цілому.

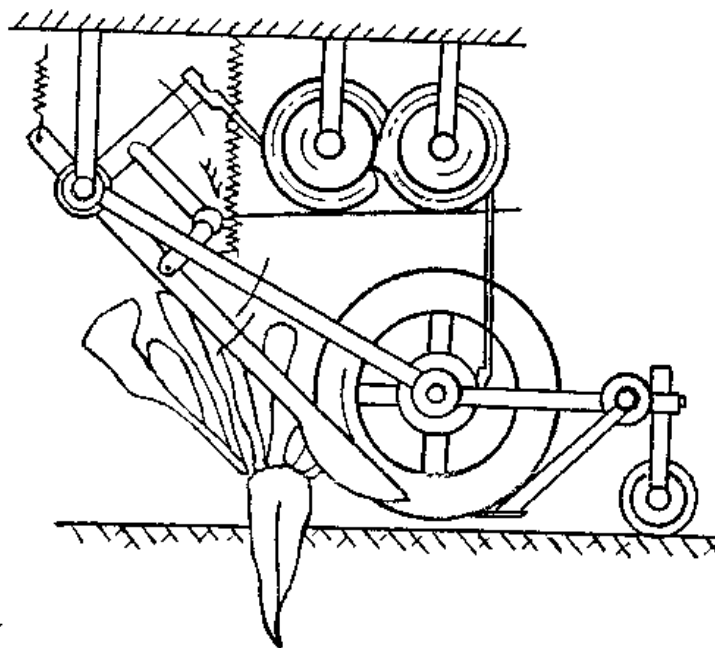


Рис. 1.21. Очисник головок коренеплідів згідно патенту Франції № 2283628

Доочисник головок коренеплідів цукрових буряків (UA 49336 U, A01D 23/02) (рис. 1.22) має підпружинену шарнірно-радіальну підвіску 1, різальний барабан 2, нерухомий напівциліндричний копир 3, підпружинений криволінійний копир 4, ланцюгову передачу 5.

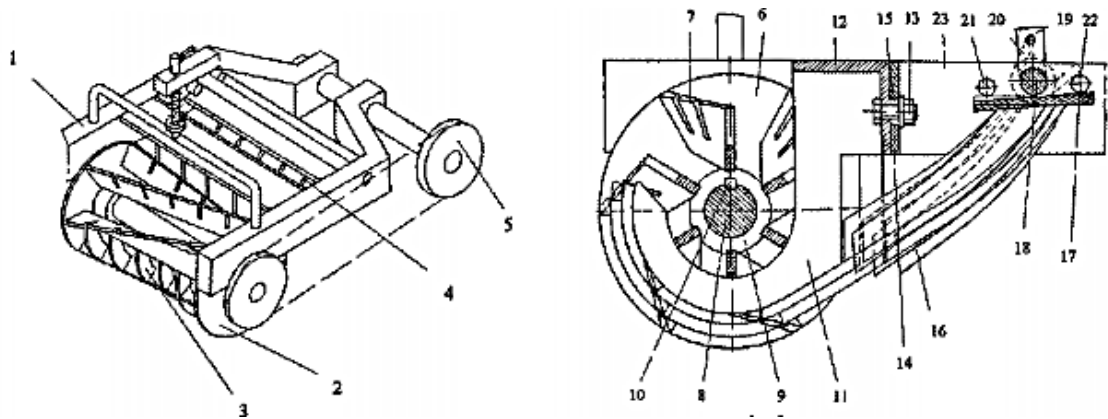


Рис. 1.22. Доочисник головок коренеплодів цукрових буряків

(UA 49336 U, A01D 23/02):

1 – підпружинена шарнірно-радіальна підвіска; 2 – різальний барабан; 3 – циліндричний копір; 4 – підпружинений криволінійний копір; 5 – ланцюгова передача; 6 – боковина; 7 – пластина; 8 – вал; 9 – втулка; 10 – шпонка; 11 – щуп; 12 – кутник; 13 – болтове з'єднання; 14 – поперечка; 15 – поздовжні вертикальні отвори; 16 – щуп копіра; 17 – планка; 18 – вісь; 19 – кронштейн; 20 – пружини; 21 – верхній обмежувач; 22 – нижній обмежувач; 23 – рамка

Різальний барабан 2 (див. рис. 1.22) містить боковини 6, пластини 7, вал 8, втулки 9, шпонки 10. Нерухомий напівциліндричний копір 3 містить щупи 11, що жорстко прикріплені до кутника 12, який болтовим з'єднанням 13 прикріплений до поперечки 14, у якій зроблені поздовжні вертикальні отвори 15. Підпружинений криволінійний копір 4 має щупи 16, що жорстко прикріплені до планки 17, яка у свою чергу прикріплена до вісі 18, до якої закріплений кронштейн 19 для встановлення пружини 20. Верхній 21 та нижній 22 обмежувачі, прикріплені до рамки 23, фіксують рухомий криволінійний копір 4 в крайніх положеннях.

В процесі роботи підпружинений криволінійний копір 4, взаємодіючи з коренеплодом, який високо розташований над поверхнею ґрунту, закручує пружину 20 і відхиляється у верхнє крайнє положення, впираючись планкою 17 у верхній обмежувач 21. Далі вертикальне переміщення підпружиненого криволінійного копіра 4 здійснюється разом з підпружиненою шарнірно-радіальною підвіскою 1. В результаті поздовжнього переміщення доочисника в контакт з головою коренеплоду вступає нерухомий напівциліндричний копір 3, який встановлює різальний барабан 2 на необхідну висоту різання. При

взаємодії доочисника з коренеплодами, які низько розташовані над поверхнею землі, у взаємодію вступає нерухомий напівциліндричний копір 3, а далі процес проходить аналогічно.

Пристрій для видалення гички коренеплодів (патент на корисну модель №2007105247/22, 12.02.2007) складається з рами (рис. 1.23), на якій розміщений підпружинений гичковиделяючий апарат, виконаний у вигляді змінного ножа і розміщеного перед ним гребінчастого копіра, що регулюється по висоті. Гребінчастий копир встановлюється підпружиненими упорами в отвори П-подібної рамки з можливістю переміщення в поперечному напрямку, при тому крайні пластини копіра мають довжину на величину, яка дорівнює діаметру коренеплоду, а задні кінці пластин і ріжуча кромка ножа розміщені по лінії, що знаходиться під кутом $45 - 65^\circ$ до осі рядка.

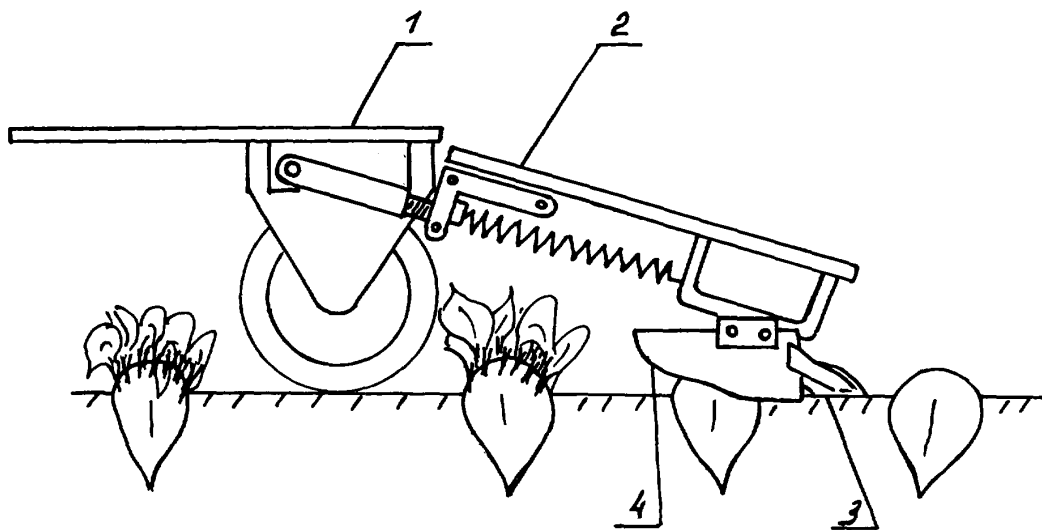


Рис. 1.23. Пристрій для видалення гички коренеплодів на корені (патент на корисну модель №2007105247/22, 12.02.2007):

1 – рама; 2 – підпружинений гичковиделяючий апарат; 3 – ніж; 4 – гребінчастий копир

Продуктивність машини та якість зрізування головок коренеплодів від залишків гички безпосередньо залежить від конструкції ножів та принципу їхньої роботи. Плоскі ножі працюють за допомогою однієї із схем зрізування гички: рублення, ковзання, рублення з ковзанням (рис. 1.24) [89].

Ніж, що працює за схемою рублення (рис. 1.24а) використовують у бурякозбиральних комбайнах західного виробництва. Недоліком даної схеми дообрізування головок коренеплодів є утворення сколів, а також швидке затуплення ріжучої кромки ножа.

Плоскі ножі, що працюють за принципом ковзання (рис. 1.24б) мають можливість здійснювати поворот навколо осі, однак за рахунок зміни відстані між копиром та ріжучою кромкою ножа відбувається погіршення якості дообрізування головок коренеплодів.

Перспективним методом для зрізування гички коренеплодів цукрових буряків є використання схеми рублення з ковзанням (рис. 1.24в). В даному випадку ніж переміщується вздовж ріжучої кромки, що забезпечує постійний зазор між кромкою та копиром, а зворотно-поступальний рух плоского ножа дозволяє зменшити зусилля різання та підвищити якість виконання технологічного процесу [89].

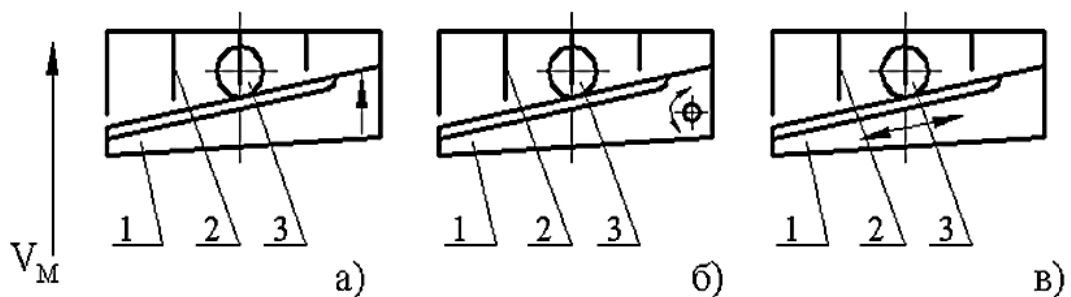


Рис. 1.24. Схеми зрізування гички цукрових буряків:

1 – плоский ніж; 2 – гребінчастий копір; 3 – коренеплід

Така схема зрізування гички може використовуватися при застосуванні двофазної функціональної схеми очищення головок коренеплодів від залишків гички на корені (високе зрізування гички роторним гичкозрізувальним пристроєм з подальшим доочищенням її активним плоским ножом з пасивним гребінчастим копиром).

1.4. Аналіз досліджень взаємодії робочих органів гичкозбиральних машин з коренеплодами цукрових буряків

Основним напрямкам та науковим концепціям розвитку сільськогосподарської техніки, досліджень властивостей гички, а також розроблення теорій робочих процесів машин і засобів для її видалення присвячено праці Аванесова Ю.Б., Адамчука В.В., Аніловича В.Я., Босого Є.С., Булгакова В.М., Брея В.В., Василенка П.М., Войтюка Д.Г., Горячкіна В.П., Гевка Б.М., Гевка Р.Б., Желіговського В.А., Мартиненка В.Я., Мішина М.А., Погорілого Л.В., Підгурського М.І., Рогатинського Р.М., Резника Н.Є., Рибачака Т.І., Ріпецького Є.Й., Савича П.В., Сичова І.П., Татьянка М.В. та ін.

В дослідженнях проведених Л.В. Погорілим та Н.В. Татьянком [75], було сформовано множину всіх випадків взаємного розміщення коренеплодів у рядку (рис. 1.25). Найбільш простим вважається випадок, коли відстань між сусідніми коренеплодами є достатньо великою, і в перерозподілах циклу наявні паузи, протягом яких гичкозрізуючий апарат знаходиться в крайньому нижньому положенні. В інших випадках робота гичковидаляючого механізму залежить від розміщення коренеплодів у рядку і по висоті над поверхнею ґрунту [75, 76].

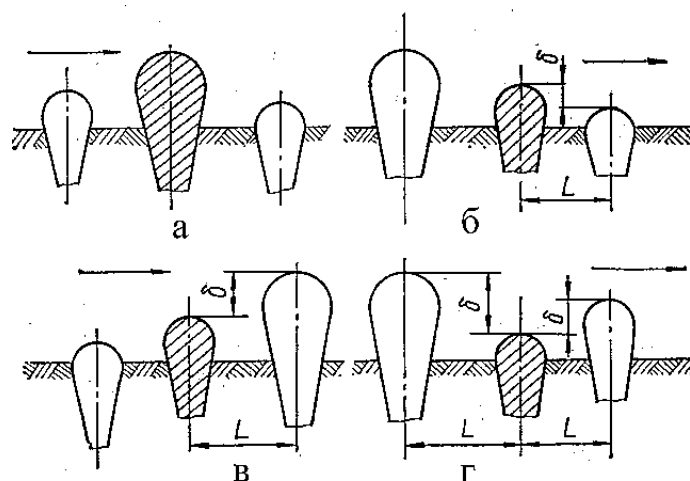


Рис. 1.25. Можливі комбінації відносного розміщення коренеплодів

(коренеплід, що обрізується заштрихований):

- а) між двома сусідніми нижчими коренеплодами; б) нище попереднього, але вище наступного; в) вище попереднього, але нище наступного; г) між двома вищими коренеплодами

В першому випадку (див. рис. 1.25а) копіювання і обрізування коренеплоду не залежить від розміщення сусідніх буряків і його можна розглядати як ізольований коренеплід. Тому для аналізу динаміки та кінематики копіювання і обрізування буряка цикл даного процесу розбито на три фази: перша – з моменту дотику копіра з головкою до початку його руху відносно рами машини (підйому); друга – рух копіра і ножа (підйом) відносно несучої рамки; третя – зрізування верхівки головки.

В результаті проведених досліджень Л.В. Погорілим було встановлено динамічну умову, яка обмежує робочу швидкість руху бурякозбирального агрегату [75, 76]:

$$V_m \leq \sqrt{\frac{Q_{Hi} \cdot \cos \psi_H}{2M_H \delta} [L - d_K + (\delta/i) \cdot \operatorname{tg} \psi_H]}, \quad (1.1)$$

де Q_{Hi} – сума приведених до ножа статичних сил;

ψ_H – кут нахилу осі обертання ножа до вертикалі;

M_H – маса рухомих частин апарата приведених до ножа;

δ – перевищення коренеплодів один над одним;

L – відстань між коренеплодами в рядку;

d_K – діаметр коренеплоду;

i – вертикальна поправка, що дорівнює відношенню вертикального переміщення копіра y_K до відповідної вертикальної складової переміщення ножа y_n .

Проведені дослідження з визначення механіко-технологічних властивостей гички буряків відображені у працях Л.В. Погорілого [75, 77].

В.М. Булгаков досліджував процес взаємодії пасивного копіра з коренеплодом. Копір при русі вздовж рядка контактує з нерухомою головкою в точці А (рис. 1.26) [14].

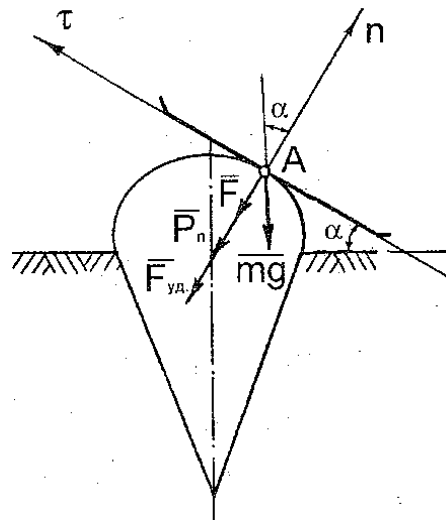


Рис. 1.26. Схема взаємодії пасивного копіра з коренеплодом:

α – кут відхилення копіра від горизонту; τ та n – осі координат; $\overline{F}_{уд}$ – сила удару; \overline{mg} – вага рухомих частин гичкозрізувального апарату; \overline{P}_n – сила, що примусово притискає копір до головок коренеплоду; A – точка контакту; \overline{F} – сила, яка враховує сили тертя в шарнірах механізму навіски

В результаті проведених досліджень отримано аналітичний вираз для визначення робочої швидкості V_p , при якій буде здійснюватись ефективна робота гичкозрізувального апарату [14]

$$V_p = \sqrt{\frac{10 - P_n \cdot \sin \alpha - F \cdot \sin \alpha}{6m \cdot (1 + \varepsilon) \cdot \sin^2 \alpha}}, \quad (1.2)$$

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 A маса гичкозрізувального апарату.

Босой Є.С. встановив аналітичну залежність для визначення горизонтальної складової рівнодійної сили нормального тиску копіра на головку коренеплоду, при якій не буде відбуватися вивертання (завалювання) коренеплоду [11]

$$R_2 = N \sin(a_{uz} + \varphi) / \cos \varphi < [P_6]; \quad (1.3)$$

де N – сила нормального тиску;

a_{uz} – кут нахилу робочої грані копіра до горизонту;

φ – кут тертя;

$[P_6]$ – допустиме значення сили, при якій не відбувається вивертання коренеплоду.

В результаті експериментальних досліджень процесу безкопінного 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 [35]. 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 В.Я. Аніловичом та І.П. Сичовим [4]. Побудована номограма [4] дозволяє визначати значення товщини кромки та кута заточування ножа. Ними 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 [27]

$$\varepsilon = \frac{V_t}{V_n}, \quad (1.4)$$

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 ним дослідження показали, що при умові зменшення сили нормального тиску P_n , необхідна для виникнення різання сила P_t зростає у розмірах, при яких рівнодіюча R є постійною величиною [33]

$$R = \sqrt{P_n^2 + P_t^2} \approx const. \quad (1.5)$$

Всі випадки різання Желіговський В.А. класифікував на три групи:

1. Різання нормальним тиском $P_{n\max}$ без впливу дотичної сили P_t і поздовжніх переміщень S_t .
2. Різання при дії дотичної сили P_t і поздовжніх переміщень S_t , але без ковзання. Таке різання відбувається при умові, коли кут α між нормаллю до леза і напрямком його переміщення не перевищує кут тертя φ леза по матеріалу.
3. Різання при дії сили P_t та ковзання, при умові, що кут $\alpha > \varphi$.

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 долаючим ряд опорів різного походження, що виникають у матеріалі (рис. 1.27) [88].

Критична сила різання $P_{кр}$, прикладена до ножа дорівнює [88]

$$P_{кр} = P_{рез} + P_{сж} + T_1 + T_2', \quad (1.6)$$

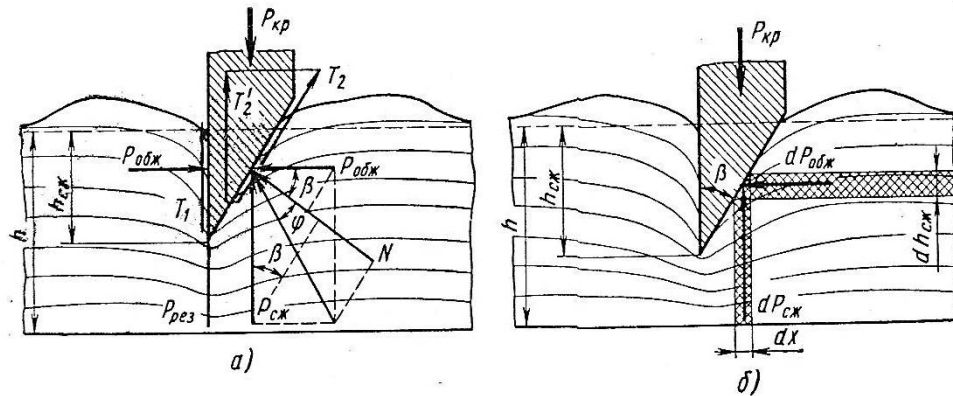


Рис. 1.27. Силова взаємодія леза з матеріалом:

а) опір, який виникає при входженні леза в матеріал; б) схема для визначення зусиль обтиснення матеріалом $P_{обж}$ та сили опору шару стисненню фаскою леза $P_{сж}$

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.

Підставивши значення всіх сил, що протидіють силі $P_{кр}$, М.Є. Резником отримано залежність для леза довжиною $\Delta l = 1$ [88]

$$P_{кр} = \delta \sigma_p + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{сж}^2}{h} \left[\operatorname{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta) \right], \quad (1.7)$$

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.

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

1.5. Технічне забезпечення для випробування гичкозрізувальних апаратів

Важкі ґрунто-кліматичні умови та режими роботи при яких працює бурякозбиральна техніка спричиняють виникнення поломок механізмів, усунення яких потребує значних часових та матеріально-технічних затрат, що різко знижує техніко-експлуатаційні показники роботи машин [5].

Експлуатаційна навантаженість – фактор, який виявляє причини відмов та руйнування конструкцій мобільних сільськогосподарських машин. Він характеризується сукупністю статичних показників процесів, які проходять в машинах (механізмах, вузлах) в умовах звичайної експлуатації у всіх природно-кліматичних зонах. Експлуатаційна навантаженість – основа оцінки показників надійності машини у процесі її проектування, доробки, модернізації [102, 123].

Загальні основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин закладені на початку ХХ століття вітчизняними та зарубіжними вченими. Сучасний стан науки доповнений новими дослідженнями та методами розрахунку з теорії прогнозування ресурсу роботи, надійності, довговічності, зносостійкості сільськогосподарських машин та їх елементів [3, 7, 31, 80, 85, 93, 95, 97, 106].

Зовнішній вплив на конструкцію машини включає характер навантажень, що описується наступними складовими: статичні навантаження, максимальні динамічні зусилля і стохастичні навантаження [67]. Спрацювання і вихід із ладу елементів привода робочих органів бурякозбиральної техніки відбувається за рахунок динамічних навантажень, які є небажаним явищем під час роботи машини.

Будь-які сільськогосподарські технічні засоби можна розглядати як систему послідовно або паралельно з'єднаних вузлів, агрегатів та елементів, які працюють в умовах динаміки навантаженості та зношування.

Для прогнозування ресурсу роботи техніки та у наукових дослідженнях важливу роль відіграють експериментальні методи [83]. Проведення випробувань робочих органів, вузлів та агрегатів машин можливе як у лабораторних умовах (на спеціальних стендах), полігонах, так і безпосередньо в умовах експлуатації при виконанні технологічного процесу, передбачуваного функціональним призначенням агрегату [84, 86, 127]. Перевагою стендових та полігонних випробувань над іншими є їх незалежність від погодних умов, пори року і сезонності робіт. Для отримання необхідної кількості інформації про стан механізмів сільськогосподарської техніки сезонної експлуатації, яка зайнята 30–50 днів у році при тривалості 10–15 годин на добу, необхідно від двох до чотирьох сезонів. При полігонних та стендових випробуваннях експлуатаційні режими роботи деталей та вузлів можна відтворити нормально чи форсовано за навантаженістю чи циклічністю дії [137].

Режими навантаження можна відтворити точно, наближено або використовувати нормовані режими. У дослідницьких роботах використовують два напрямки: перший – еталонні навантаження (застосовують при дослідженні властивостей різних матеріалів); другий – характерний при вивченні натурних деталей та вузлів (на стенді відтворюють характерні експлуатаційні навантаження).

Перший метод характеризується універсальністю та простотою, однак отримані за його допомогою результати неможливо використовувати для

прогнозування терміну служби деталей машин. При точному моделюванні режимів навантаження, використовуючи другу методику, при якій можливо отримати більш точні результати порівняно із еталонними навантаженнями [9, 34, 112].

При побудові моделі стендових випробувань необхідно, щоб процеси робочих органів на стенді і в експлуатації були максимально наближені, тобто повинна зберігатися фізична картина відмови. Для збереження подібності при моделюванні випробувань необхідно дотримуватися умов, які б звели до мінімуму величину похибки, яка виникає при переході від натурних результатів до отриманих на моделі.

Закон надійності, який теоретично отримав і експериментально перевірів Седякін Н.М. [109] можна використовувати при визначенні коефіцієнту переходу від результатів стендових випробувань до результатів, отриманих при експлуатації.

Існують методи прискорених випробувань елементів і систем на надійність [26, 37, 47, 63], кожен з яких вирішує певні питання пов'язані із випробуваннями на стендах.

1.6. Мета та задачі дослідження

На основі аналізу стану питання видалення гички з головок коренеплодів цукрових буряків з можна зробити наступні висновки:

1. Двофазне видалення гички з головок цукрових буряків забезпечує підвищення якісних показників, які ставляться до коренеплодів при їх подальшій переробці та зберіганні.

2. Основними недоліками сучасних гичковидаляючих механізмів є: незадовільне копіювання коренеплодів при нерівномірному їх розміщенні у рядках відносно ґрунту; неякісне обрізування головок від залишків гички;

травмування та вибивання високо розміщених буряків; затуплення пасивних плоских ножів, що спричиняє зниження якісних показників виконання технологічного процесу.

3. Використання гребінчастого копіра та активного плоского ножа для дообрізування головок коренеплодів дозволить: зменшити кількість травмованих буряків; зменшити силу різання (дообрізування) головок; збільшити кількість годин безвідмовної роботи гнчководеляючого апарату; покращити якість технологічного процесу дообрізування гички з головок коренеплодів цукрових буряків.

З метою підвищення якісних показників процесу механізованого збирання коренеплодів цукрових буряків та збільшення надійності гнчководеляючого апарату, у дисертаційній роботі слід вирішити наступні задачі:

1. Обґрунтувати процес дообрізування головок коренеплодів активним плоским ножом та основні технологічні параметри ножа.
2. Розробити конструктивну схему дообрізувача гички, до складу якого входить гребінчастий копір та робочий орган активного типу.
3. Розробити математичну модель взаємодії плоского активного ножа з коренеплодом при режимі різання з ковзанням.
4. Розробити програму та методика проведення експериментальних досліджень робочого органу дообрізувача гички.
5. Дослідити експериментальним шляхом процес взаємодії активного плоского ножа з коренеплодом, встановити оптимальні значення величин технологічних параметрів при різних режимах та умовах роботи.
6. Провести дослідження корозійної стійкості матеріалів плоских ножів у розчині соку цукрових буряків.
7. Порівняти результати теоретичних та експериментальних досліджень і встановити розбіжності між ними.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДООБРІЗУВАННЯ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ АКТИВНИМ ПЛОСКИМ НОЖЕМ

2.1. Характеристика коренеплодів цукрових буряків

Очищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички при їх механізованому збиранні є однією з відповідальних операцій, яка впливає на якість виконання технологічного процесу в цілому.

Агротехнічні показники роботи бурякозбиральних машин залежать від ряду факторів, основними з яких є фізичний стан і тип ґрунту та агрофізичні характеристики коренеплодів [75]. Враховуючи статистичний характер виробничих умов і випадкову природу агрофізичних параметрів цукрових буряків, їх значення необхідно задавати залежно від вирішуваної задачі відповідними статистичними характеристиками – математичним очікуванням, дисперсією, щільністю розподілення та ін. [13, 74].

Під час виконання технологічного процесу збирання коренеплоди цукрових буряків мають конусоподібний головний коренеплід (рис. 2.1), від якого відходять в боки (на 20–25 см) дрібні корінці [23, 110].

Згідно із даними С.В. Іллевича [40], зрілі коренеплоди мають різні розмірно-масові показники, тому загальна довжина кореня варіюється від 20 до 53см, а максимальний діаметр може сягати 15см, при тому, що його маса зазвичай не перевищує 2кг.

Нижня частина коренеплоду (хвостова) знаходиться в ґрунті більше як на 1м і при збиранні обривається (на діаметрі 8 – 10мм), тому його довжина визначається лише параметром l_k . Гичка має форму перевернутого конуса і складається в середньому з 10 – 30 листків утворюючи пучок. Маса буряків залежить від лінійних характеристик і змінюється від 0,3 до 2кг [23, 110].

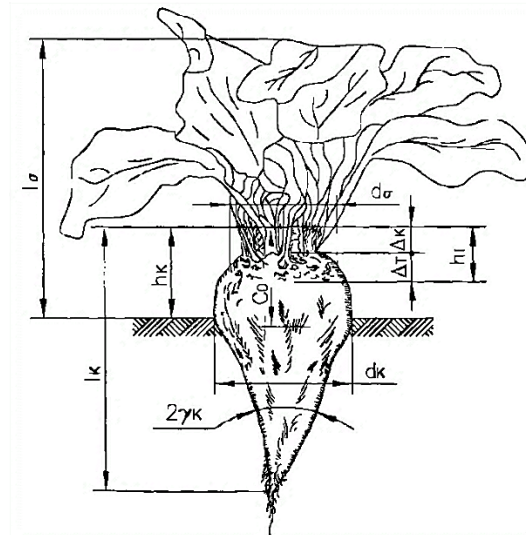


Рис. 2.1. Агрофізичні характеристики коренеплодів цукрового буряку:

d_k – діаметр коренеплоду; l_k – довжина; $2\gamma_k$ – кут конусності; C_o – координата центра ваги; h_k – висота головки коренеплоду над рівнем ґрунту; Δ_K – товщина зони коронки; Δ_T – товщина зони “сплячих вічок”; h_T – висота головки коренеплоду; d_σ – діаметр пучка гички; l_σ – довжина пучка гички

Верхня частина тіла коренеплоду розташована над поверхнею ґрунту. Основна маса цукру (більше 90%) зосереджена в тілі коренеплоду. Розподіл маси цукрових буряків між його частинами та вміст цукру в них зображено на рис. 2.2. [14].





Назва	Відносний вміст, %	Вміст цукру (чистий), %
Головка Коронка 	5...7	
Зона сплячих вічок 	6...18	9,7
Тіло коренеплоду 	76...88	90,3
Хвостова частина коренеплоду 	1	

Рис. 2.2. Відносний вміст маси та розподіл цукру в тілі коренеплоду

Усереднені значення розмірно-масових та фізико-механічних характеристик коренеплодів цукрових буряків наведені в таблиці 2.1 та 2.2 [23, 75, 110].

Розмірно-масові характеристики коренеплодів цукрових буряків

№ з/п	Показник	Значення показника
1	Довжина коренеплоду l_k , мм	230–280
2	Діаметр коренеплоду d_k , мм	67–122
3	Маса коренеплоду Q_k , кг	0,3–2,0
4	Маса гички Q_g , кг	0,12–0,80
5	Маса коронки q_k , кг	0,055–0,096
6	Маса зони “сплячих вічок” q_T , кг	0,062–0,123
7	Товщина зони “сплячих вічок” Δ_T , мм	8,0–22,4
8	Товщина зони коронки Δ_k , мм	13,2–16,2
9	Діаметр пучка гички d_σ , мм	50–60
10	Довжина пучка гички l_σ , мм	300–400
11	Координата центра ваги Co , мм	90–100
12	Висота головки коренеплоду над рівнем ґрунту h_k , мм	18,4–42,4
13	Висота головки коренеплоду h_T , мм	10,4–32,4
14	Кут конусності $2\gamma_k$, град	9–19

Оптимальною густиною розташування коренеплодів цукрових буряків на плантації є 80 – 150 тис. шт./га.

В роботах В.В. Брея, В.М. Булгакова, Г.А. Хайліса відзначено важливість таких механічних характеристик коренеплодів при їх збиранні як: пошкоджуваність, власні частоти коливань при защемленості, координата центра ваги, пружність і міцність при динамічному та статичному навантаженні [13, 14, 122].

Фізико-механічні характеристики цукрових буряків

№ з/п	Показник	Значення показника
1	Щільність коренеплоду, кг/м ³	550–650
2	Щільність гички, кг/м ³	140–160
3	Тимчасовий опір згину коренеплоду, МПа: динамічне навантаження статичне навантаження	1,15 1,80
4	Модуль пружності коренеплоду, МПа	18,40
5	Зусилля вилучення коренеплоду з ґрунту, Н	50–770
6	Зусилля відриву гички від головки коренеплоду, Н	50–650
7	Коефіцієнти тертя коренеплоду по сталі: статистичний динамічний	0,50–0,70 0,45–0,70
8	Питомий опір різанню коренеплоду, кН/м	3–6
9	Питомий опір різанню гички, кН/м	1–4
10	Кут природного схилу, град.: спокою в русі	35–40 25–30
11	Коефіцієнт питомого опору гички, Н/мм	2,26–2,65
12	Коефіцієнт питомого опору коренеплоду, Н/мм	2,10–3,50
13	Робота викопування коренеплоду горизонтальною силою, Дж	17,80–25,30
14	Робота вилучення з ґрунту підкопаного коренеплоду, Дж	15,20
15	Опір черешків гички розриву, МПа: зовнішніх внутрішніх	0,94 1,21
16	Робота руйнування зв'язків черешків гички з головою коренеплоду при дотичному прикладанні сили, Дж	33,90
17	Сила опору коренеплоду зусиллю, Н: вилученню	227–522

Матеріал коренеплодів цукрових буряків є анізотропним, крихким та неоднорідним в поперечному перетині та по довжині [75].

В поперечному перетині буряків спостерігається центральний судинно-волокнистий пучок і шари, які концентрично чергуються [122].

2.2. Схеми зрізування гички з головок коренеплодів плоским ножом

Процес різання с/г матеріалів – механічний процес, при якому вплив кромки і фаски леза на матеріал супроводжується переходом його за межу пружних деформацій [88]. Технологічні процеси різання поділяють за типом робочого органу на: різання пуансоном, різання різцем і різання лезом. Особливість процесу різання лезом (рис. 2.3) полягає в тому, що при заглибленні в матеріал під дією зусилля P лезо здійснює руйнування матеріалу головним чином різальною кромкою, що є вершиною двогранного кута утвореного гранями леза [88, 110].

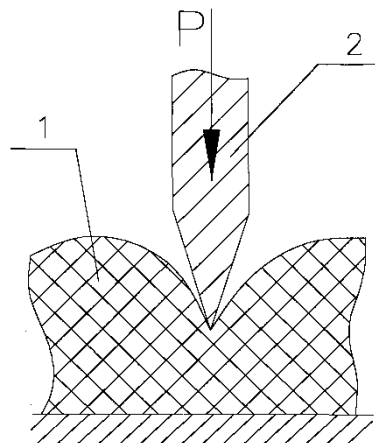


Рис. 2.3. Процес різання лезом:

1 – матеріал; 2 – лезо

Лезом вважається частина ножа, яка руйнує матеріал, а фасками – ті частини, які розсовують його і по яких він ковзається [33]. В загальному випадку розрізняють три режими різання лезом, які задаються початковими умовами [14, 33]:

- рубаюче різання (рублення);
- різання з поздовжнім переміщенням (без ковзання);
- різання з ковзанням.

При рубаючому різанні (рис. 2.4) плоский ніж 2 діє на коренеплід 1 із силою N , яка напрямлена перпендикулярно до нього, створюючи тим самим напруження зминання, які дорівнюють його границі міцності до тих пір, поки буряк не зруйнується.

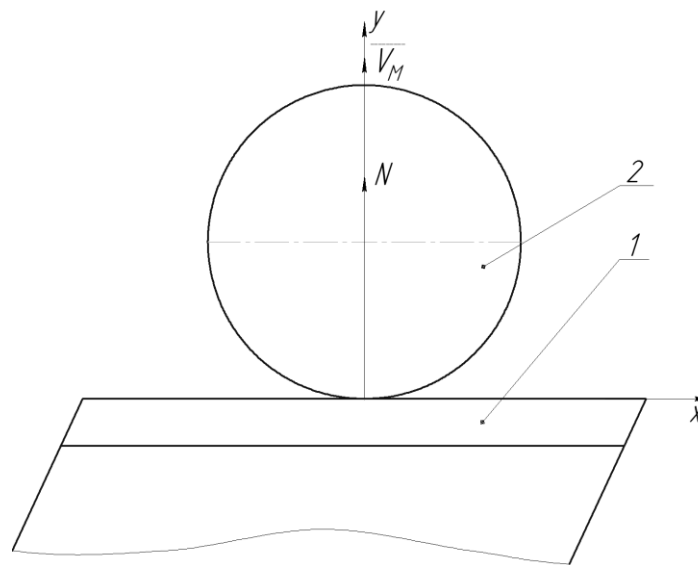


Рис. 2.4. Схема рублення

Недоліком даного режиму різання головок коренеплодів цукрових буряків є невідповідність якості обрізування агротехнічним вимогам до процесу збирання (утворення сколів, непрямолінійна площина зрізу) та швидке затуплення леза ножів.

В процесі очищення головок коренеплодів від залишків гички при режимі різання з поздовжнім переміщенням (без ковзання) (рис. 2.5) лезо чинить тиск на перерізуєчий матеріал (головку коренеплоду) нормальною силою N . Дію даної сили розглянемо, розклавши її за напрямом швидкості бурякозбирального агрегату V_m та вздовж кромки леза F_t .

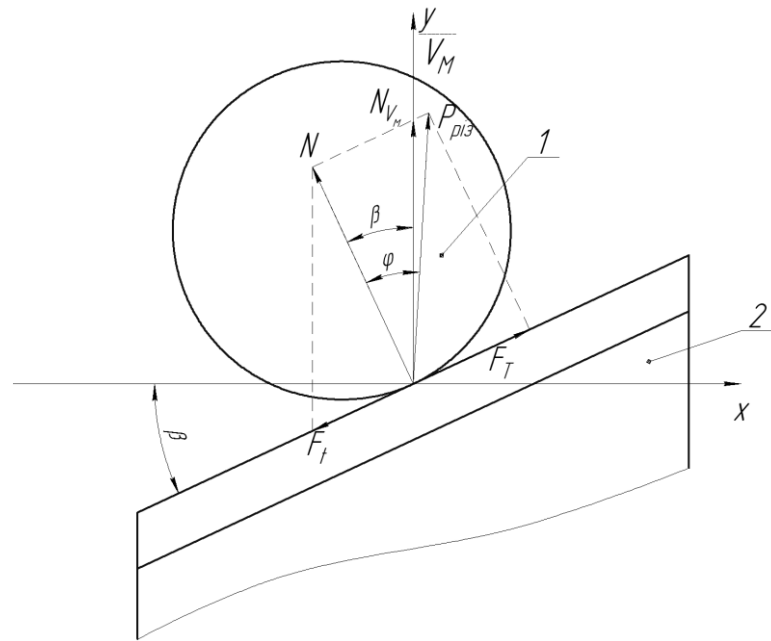


Рис. 2.5. Схема різання з поздовжнім переміщенням (без ковзання)

Значення сили тертя F_T визначають за формулою

$$F_T = N \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.1)$$

де φ - кут тертя плоского ножа з коренеплодом.

Вздовж кромки леза діє дотична сила F_τ , яку визначають за залежністю

$$F_\tau = N \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (2.2)$$

де β – кут встановлення плоского ножа.

Оскільки сила тертя F_T є більшою від сили F_τ за умови що $\varphi > \beta$, тому відбувається зрівноваження дотичної сили, внаслідок чого матеріал переміщується по лезу (не ковзаючи) під дією сили N_{V_M} доти, поки не буде зруйнований.

Низькі показники якості та надійності виконання технологічного процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків, які

досягаються з використанням даної схеми унеможливають її застосування при проектуванні та розробці сучасних гнчковидаляючих механізмів.

Різання з ковзанням, відбувається при виконанні умови, за якою $\varphi < \beta$. Цей випадок візьмемо за основу при дослідженні взаємодії плоского ножа дообрізувача гички з голівкою коренеплоду цукрового буряку.

2.3. Математична модель взаємодії плоского ножа з коренеплодом при режимі різання з ковзанням

З метою забезпечення оптимального перерозподілу сил, які діють на коренеплід з боку ножа та підвищення показників довговічності та надійності робочого органу, запропоновано конструкцію дообрізувача гички з активним плоским ножем, на будову і принцип роботи якої отримано патент України на корисну модель [додаток А].

Для встановлення зв'язку між кінематичними та силовими параметрами процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів на рис. 2.6 зображена схема взаємодії активного плоского ножа 2 з коренеплодом цукрового буряку 1 [92].

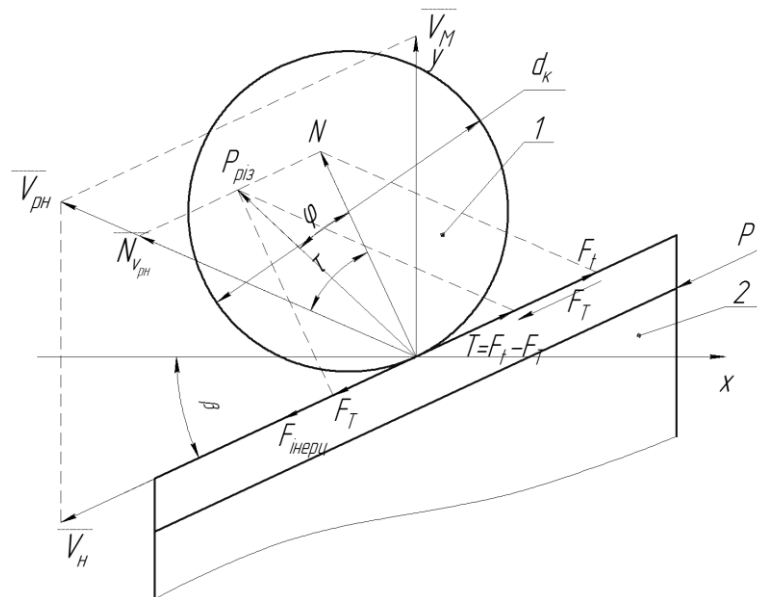


Рис. 2.6. Схема взаємодії плоского активного ножа з коренеплодом

Відповідно до рис. 2.6 бурякозбиральний агрегат рухається із швидкістю $\overline{V_m}$, а плоский ніж дообрізувача гички із швидкістю $\overline{V_n}$. За теоремою косинусів знаходимо абсолютну швидкість різання плоским ножем $\overline{V_{pn}}$ [44]

$$V_{pn} = \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}. \quad (2.3)$$

В точці взаємодії ножа з коренеплодом виникає сила N , яка діє перпендикулярно до леза. Сила тертя ножа по поверхні коренеплоду цукрових буряків визначається залежністю (2.1).

Склавши сили N і F_T за правилом паралелограма отримаємо силу різання $P_{риз}$, яка відхилена від нормалі N на кут тертя φ .

Розкладемо нормальну силу N на напрямок швидкості різання $N_{V_{pn}}$ і напрямок вздовж леза ножа F_t . Дотичну силу F_t визначаємо за формулою

$$F_t = N \cdot \operatorname{tg} \tau, \quad (2.4)$$

де τ – кут ковзання.

Для кількісного визначення ковзання леза по коренеплоду, Горячкін В.П. ввів поняття коефіцієнта ковзання ε , який визначаємо за формулою [27]

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_m} = \operatorname{tg} \tau. \quad (2.5)$$

Векторна різниця сил F_T та F_t дає результуючу силу T , яка зумовлює ковзання матеріалу коренеплоду вздовж леза ножа дообрізувача. Сила різання $P_{риз}$ є векторною сумою сил $N_{V_{pn}}$ та T , а також нормальної сили N і сили тертя F_T .

Силу інерції плоского активного ножа $F_{інерц}$ визначаємо за формулою [17]

$$F_{інерц} = m_n \cdot a_n, \quad (2.6)$$

де m_n – маса ножа, кг;

a_n – прискорення руху плоского ножа, м/с².

Прискорення руху активного ножа визначаємо за залежністю [42]

$$a_n = \frac{dV_{pn}}{dt}, \quad (2.7)$$

де t – час різання, с.

Підставивши (2.3) в (2.7) отримаємо формулу для визначення сили інерції активним плоским ножом

$$F_{інерц} = m_n \frac{d \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}}{dt}. \quad (2.8)$$

Силу різання головки коренеплоду плоским ножом відповідно до рис. 2.6 визначаємо за формулою

$$P_{різ} = \sqrt{N^2 + F_T^2}. \quad (2.9)$$

Величину сили різання також можливо визначити згідно з [88]

$$P_{різ} = \sigma_p \cdot t_l \cdot l_p, \quad (2.10)$$

де σ_p – напруження різання, МПа;

l_p – довжина різання, м;

t_l – товщина леза, м.

Довжина різання плоским ножом рівна діаметру різання головки коренеплоду, який визначаємо із залежності [23]

$$l_p = d_{pk} = 2\sqrt{h_c d_k - h_c^2}, \quad (2.11)$$

де h_c – висота зрізу головки коренеплоду, яка визначається згідно агротехнічних вимог до показників якості роботи машини, м;

d_k – діаметр коренеплоду, м.

Висоту зрізу головки коренеплоду (висота зони зелених листків) визначаємо за формулою [10]

$$h_c = 1,02h_k + 11, \quad (2.12)$$

де h_k – висота розміщення коренеплоду над рівнем ґрунту, м.

Згідно з [23] $h_k = 18,4 - 42,2$ мм. Відповідно до розмірно-масових характеристик коренеплодів цукрових буряків приймаємо $h_k = 25$ мм.

У випадку дообрізування залишків гички з головок цукрових буряків значення довжини різання з врахуванням висоти розміщення коренеплодів над рівнем ґрунту запишеться

$$d_{pk} = 2\sqrt{(1,02h_k + 11)d_k - (1,02h_k + 11)^2}. \quad (2.13)$$

У зоні різання головок коренеплодів плоским ножом виникає тертя, яке має напіврідинний характер. Цей процес можна розглядати з позиції гідродинаміки, відповідно з яким напруження різання визначаємо за формулою [119]

$$\sigma_p = \mu \frac{V_{pn}}{h} + \frac{h}{2} \cdot 6\mu \cdot V_{pn} \frac{h_2 - h_1}{h^3}, \quad (2.14)$$

де μ – динамічна в'язкість соку цукрових буряків, $\mu = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ МПа} \cdot \text{с}$, [8];

V_{pn} – абсолютна швидкість різання плоским ножом, м/с;

h, h_1, h_2 – відстані між лезом ножа і коренеплодом цукрового буряку, м.

Підставивши (2.3) в (2.14), отримаємо залежність для визначення напружень різання, які виникають під час виконання технологічного процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків активним плоским ножом [92]

$$\begin{aligned} \sigma_p = & \mu \frac{\sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}}{h} + \\ & + \frac{h}{2} \cdot 6\mu \cdot \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)} \frac{h_2 - h_1}{h^3}. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Після підстановки формул (2.15) та (2.13) в (2.10) отримаємо залежність для визначення сили різання активним плоским ножом головок коренеплодів цукрових буряків

$$\begin{aligned} P_{piz} = & \left[\begin{aligned} & \mu \frac{\sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}}{h} + \\ & + \frac{h}{2} \cdot 6\mu \cdot \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)} \cdot \frac{h_2 - h_1}{h^3} \end{aligned} \right] \cdot t_l(\alpha) \times \\ & \times 2\sqrt{(1,02h_k + 11)d_k - (1,02h_k + 11)^2}, \end{aligned} \quad (2.16)$$

де $t_l(\alpha)$ – функція залежності товщини леза від його кута заточування.

Для визначення зусилля P , яке затрачується для приведення плоского ножа в рух, необхідно розглядати сили, які діють вздовж його леза. Відповідно до рис. 2.6 встановлено, що вздовж леза активного плоского ножа діють сили $F_{інерц}$, F_T , F_t .

Враховуючи напрямки дії даних сил, залежність для визначення зусилля P запишеться [92]

$$P = F_T + F_{інерц} - F_t. \quad (2.17)$$

Підставивши відповідні аналітичні залежності для визначення значень сили $F_{інерц}$, F_T , F_t у формулу (2.17), отримаємо

$$\begin{aligned}
 P = & \left[m_n \frac{d \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}}{dt} \right] - \left\{ \left[\mu \frac{\sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}}{h} + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{h}{2} \cdot 6\mu \cdot \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)} \frac{h_2 - h_1}{h^3} \cdot t_n(\alpha) \times 2 \sqrt{(1,02h_k + 11)d_k - (1,02h_k + 11)^2} \cos\varphi \cdot \operatorname{tg}\tau \right] - \right. \\
 & \left. - \left[\mu \frac{\sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}}{h} + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{h}{2} \cdot 6\mu \cdot \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)} \frac{h_2 - h_1}{h^3} \cdot t_n(\alpha) \times 2 \sqrt{(1,02h_k + 11)d_k - (1,02h_k + 11)^2} \right] \right\}. \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

При наданні плоскому ножеві дообрізувача гички зворотно-поступального руху відбувається зменшення та перерозподіл результуючої сили різання $P_{різ}$. За рахунок кінематичної трансформації кута заточування та

перенесення частини сили тертя F_T з нормального на тангенціальний напрямок зменшується складова нормальної сили N , що забезпечує суттєве зниження інтенсивності зношування ріжучої кромки ножа та підвищення його довговічності та якості виконання технологічного процесу [92].

2.4. Обґрунтування коефіцієнта ковзання плоского ножа дообрізувача гички під час виконання технологічного процесу

Для визначення ковзання леза в процесі різання (при умові $\varphi < \beta$) використовуємо поняття коефіцієнта ковзання ε , який визначається за формулою (2.5) [88].

Відповідно до схеми взаємодії плоского активного ножа з головкою коренеплоду (див. рис. 2.6) тангенціальну складову швидкості V_τ визначають за формулою

$$V_\tau = V_M \sin \beta. \quad (2.19)$$

Нормальну складову швидкості визначаємо як

$$V_n = V_M \cos \beta. \quad (2.20)$$

Підставивши залежності (2.20) та (2.19) в (2.5) отримаємо

$$\varepsilon = \frac{V_M \sin \beta}{V_M \cos \beta} = \operatorname{tg} \beta. \quad (2.21)$$

Графічна залежність коефіцієнта ковзання ε від кута встановлення активного плоского ножа β зображена на рис. 2.7.

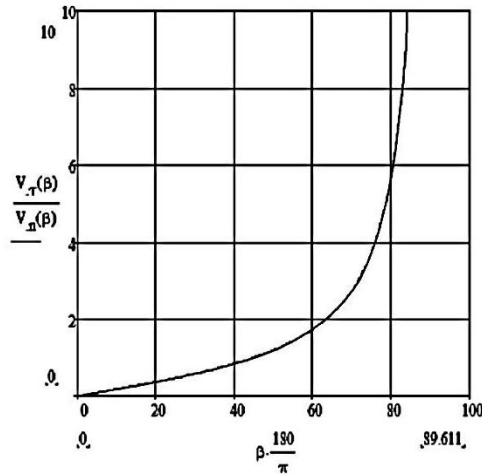


Рис. 2.7. Залежність коефіцієнта ковзання ε від кута встановлення плоского ножа β

Коефіцієнт ковзання в системі “коренеплід–плоский ніж” може бути визначений через одиницю деформації матеріалу. На рис. 2.8 зображено схему для визначення коефіцієнта ковзання леза по матеріалу коренеплоду цукрового буряку. Точку контакту леза з матеріалом, що перерізається, позначимо $a = m$ (рис.2.8).

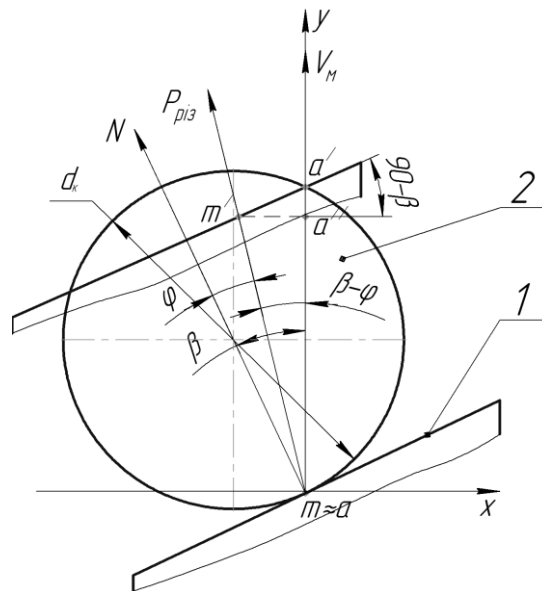


Рис. 2.8. Схема для визначення коефіцієнта ковзання

У процесі зрізування залишків гички з головок коренеплодів активним плоским ножем точка m , яка розміщена на лезі ножа 1 матеріалу цукрового

буряку 2 переміщається в напрямку дії сили різання $P_{різ}$, точка a – в напрямку руху машини. Сила різання $P_{різ}$ відхилена від нормальної сили N на кут тертя φ . В свою чергу сила N відхилена від напрямку руху агрегату на кут встановлення плоского ножа β . Різання з ковзанням відбувається коли кут тертя φ є меншим від кута встановлення плоского ножа β . Коефіцієнтом ковзання вважаємо величину [117]

$$\varepsilon = \frac{m'a'}{m'a}, \quad (2.22)$$

де $m'a'$ – відстань, яку проходить матеріал, який перерізається;

$m'a$ – одиниця деформації матеріалу.

Відстань $m'a'$, яку проходить частинка матеріалу по лезу ножа, виразимо через діаметр коренеплоду d_{κ}

$$m'a' = d_{\kappa} \operatorname{tg}\beta - d_{\kappa} \operatorname{tg}\varphi = d_{\kappa} (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\varphi). \quad (2.23)$$

Аналогічно, відстань $m'a$, яку проходить частинка матеріалу в напрямку дії сили різання $P_{різ}$

$$m'a = \frac{d_{\kappa}}{\cos\varphi}. \quad (2.24)$$

Після підстановки аналітичних залежностей (2.23) та (2.24) у формулу (2.22) отримаємо

$$\varepsilon = \frac{d_{\kappa} (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\varphi)}{d_{\kappa} / \cos\varphi} = (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\varphi) \cos\varphi. \quad (2.25)$$

Графічна залежність коефіцієнта ковзання ε від кута встановлення ножа β (при $\varphi = 22^\circ$) зображена на рис. 2.9.

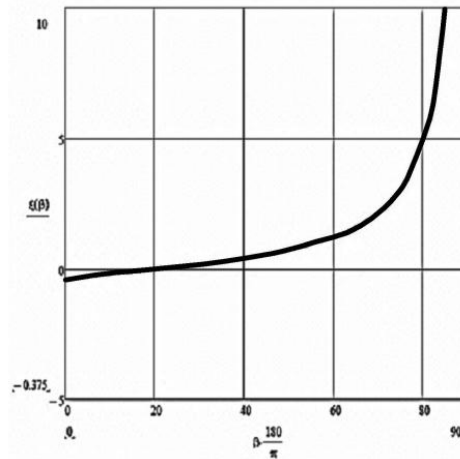


Рис. 2.9. Відповідність коефіцієнта ковзання ε куту встановлення плоского ножа β

Графічне порівняння значення коефіцієнта ковзання ε активного плоского ножа отриманого через одиницю деформації матеріалу та через відношення тригонометричних функцій кута його встановлення зображено на рис. 2.10.

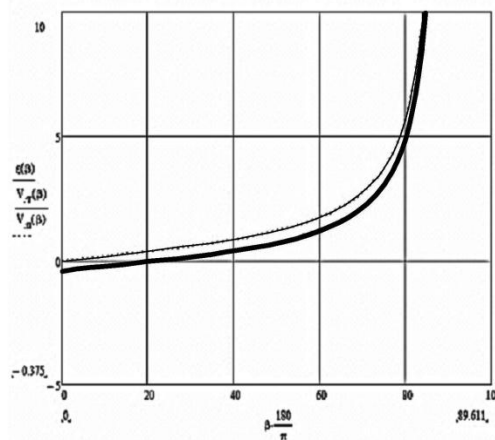


Рис. 2.10. Порівняння результатів визначення коефіцієнта ковзання активного плоского ножа дообрізувача гички:

- залежність ε від кута β (відношення тригонометричних функцій кута β);
- залежність ε від кута β (через одиницю деформації матеріалу)

Визначення коефіцієнта ковзання ε за залежністю (2.21) не точно встановлює його значення, оскільки не враховується кут тертя матеріалу по лезу ножа φ . Для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів механізму дообрізувача залишків гички доцільним є використання залежності

(2.25), яка реально описує процес ковзання леза по матеріалу, який відбувається при взаємодії активного плоского ножа з головкою коренеплоду.

2.5. Аналіз сил та напружень, що виникають на ножі під час приведення його у рух

Робочим органом дообрізувача залишків гички є плоский ніж (рис. 2.11). Процес взаємодії його з головками коренеплодів цукрових буряків під час виконання технологічного процесу характеризується перш за все суттєвою зміною швидкості руху ножа. Згідно з [додаток А], блок привода активного ножа жорстко прикріплений до опорної пластини, і при приведенні його в рух в місцях кріплення до привода виникають згинальні моменти, які діють у вертикальній та горизонтальній площинах. Розглядаючи технологічний процес дообрізування залишків гички активним плоским ножем, необхідним є дослідження його напружено-деформованого стану за допомогою проведення розрахунків з визначення згинальних моментів та максимальних напружень, які виникають в місцях кріплення його до блоку привода.

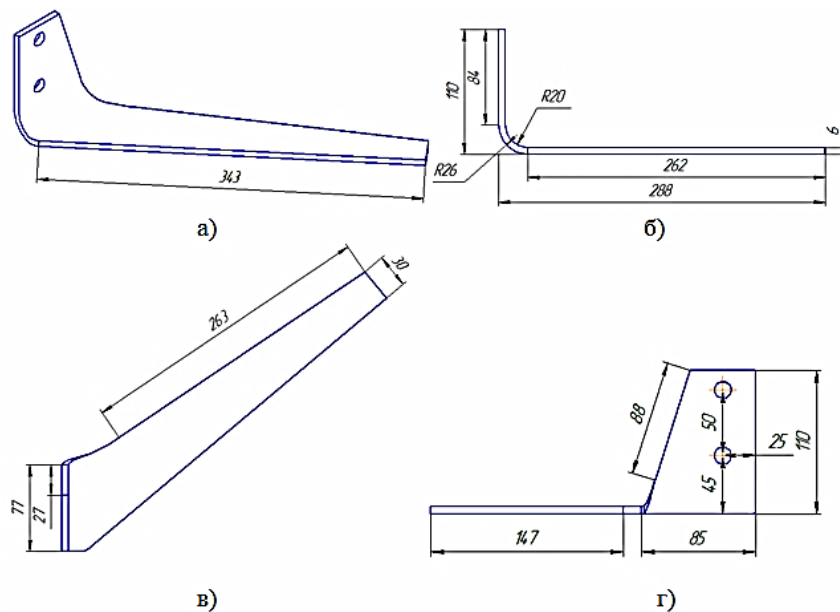


Рис. 2.11. Плоский ніж дообрізувача гички та його геометричні характеристики:

а) загальний вигляд; б) вид спереду; в) вид зверху; г) вид збоку

Схема перетину активного плоского ножа, в якому діють згинальні моменти, та його геометричні характеристики зображені на рис. 2.12.

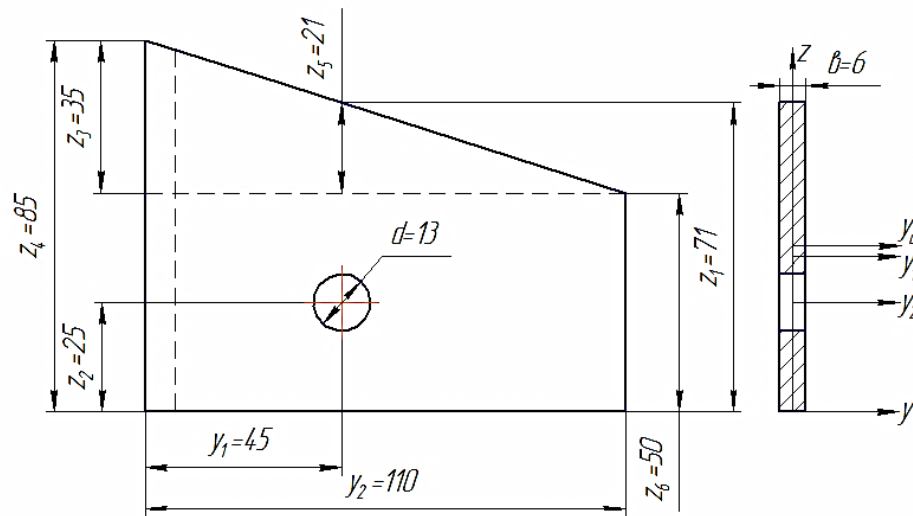


Рис. 2.12. Схема перерізу ножа та його геометричні характеристики

Координату центра ваги перетину (див. рис. 2.12) визначаємо за формулою

$$z_c = \frac{\sum S_z}{\sum F} = \frac{F_1 z_1 - F_2 z_2}{F_1 - F_2}, \quad (2.26)$$

де F_1 і F_2 – площі першої та другої фігури, мм²;

z_1 і z_2 – відповідні відстані, мм.

Підставивши значення, отримаємо $z_c = 37,9$ мм.

Осьовий момент інерції навантаженого перетину ножа у вертикальній площині визначаємо за формулою

$$I_z = \frac{z_1 b^3}{12} - \frac{d b^3}{12}, \quad (2.27)$$

де b – товщина перетину, мм.

Осьовий момент інерції у горизонтальній площині визначаємо за залежністю

$$I_y = \frac{bz_1^3}{12} + F_1(z_c - z_1')^2 - \left[\frac{d^3b}{12} + F_2(z_c - z_2)^2 \right], \quad (2.28)$$

де z_1' – відстань від осі y до осі y_1 , $z_1' = 35,5$ мм.

Після підстановки відповідних величин у залежності (2.27) та (2.28), отримаємо значення осьових моментів інерції у горизонтальній $I_y = 16,74$ см⁴ та вертикальній $I_z = 0,104$ см⁴ площинах.

Осьові моменти опору у горизонтальній та вертикальній площинах визначаємо за формулами:

$$W_z = \frac{I_z}{d/2}, \quad (2.29)$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_c}.$$

Підставивши значення у формулу (2.29), отримаємо $W_y = 4,42$ см³, $W_z = 0,348$ см³.

Розглянемо напружений стан активного плоского ножа.

1. Згинальний момент, що виникає від дії сили тертя F_T розкладемо на момент M_z , що діє у вертикальній та момент M_y – у горизонтальній площинах (рис. 2.13). Визначаємо їх за формулами:

$$M_z = F_T l_1, \quad (2.30)$$

$$M_y = F_T l_2.$$

Нормальні напруження σ у двох площинах, які спричинені дією згинальних моментів M_z та M_y , визначаємо за залежностями:

$$\sigma(M_z) = \frac{M_z}{W_z}, \quad (2.31)$$

$$\sigma(M_y) = \frac{M_y}{W_y}.$$

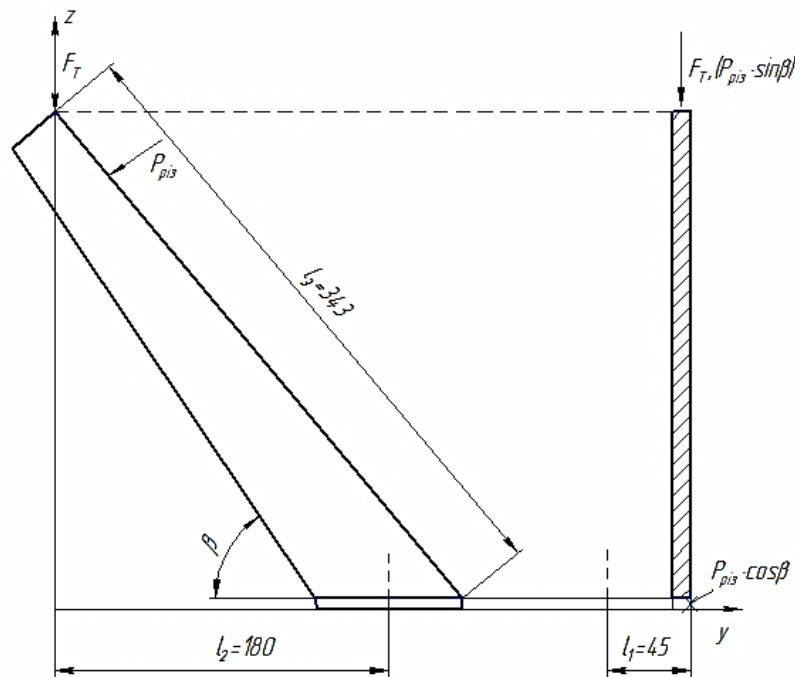


Рис. 2.13. Схема до визначення величини згинальних моментів M активного плоского ножа

Підставивши значення у формули (2.30) та (2.31) отримаємо:
 $M_z = 3240$ Нмм, $\sigma(M_z) = 9,31$ МПа; $M_y = 12960$ Нмм, $\sigma(M_y) = 2,93$ МПа.

2. Від дії сили різання P_{piz} виникає згинальний моменти M , який розкладаємо на три складові, дві з яких діють у горизонтальній площині (M_{y_1} та M_{y_2}) і один у вертикальній (M_{z_1}) (рис. 2.13). Визначаємо їх за формулами

$$\begin{aligned} M_{y_1} &= P_{piz} \cdot l_3, \\ M_{y_2} &= (P_{piz} \cdot \cos \beta) \cdot l_1, \\ M_{z_1} &= (P_{piz} \cdot \sin \beta) \cdot l_1. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Згинальні моменти M_{y_1} , M_{y_2} , M_{z_1} та відповідні їм напруження σ від дії сили різання $P_{різ}$ набувають значень: $M_{y_1} = 53508 \text{ Нмм}$, $\sigma(M_{y_1}) = 12,1 \text{ МПа}$; $M_{y_2} = 6362 \text{ Нмм}$, $\sigma(M_{y_2}) = 1,44 \text{ МПа}$; $M_{z_1} = 2966 \text{ Нмм}$, $\sigma(M_{z_1}) = 8,53 \text{ МПа}$.

Статистичний розрахунок напружено-деформованого стану активного плоского ножа слід проводити з врахуванням динамічних навантажень, які виникають при реальних умовах виконання технологічного процесу видалення залишків гички з метою прогнозування його роботоздатності.

Для досліджуваного робочого органу дотичні напруження металоконструкції є незначні, тому з врахуванням коефіцієнта динамічності $k = 2,1$ [96, 101, 136] максимальні нормальні напруження σ_{\max} , які виникають у місцях кріплення активного плоского ножа до блоку привода під час приведення його в рух, дорівнюють сумі всіх напружень, що діють у горизонтальній та вертикальній площинах від максимальних значень сил $P_{різ}$ та F_T . Отже, $\sigma_{\max} = 72,03 \text{ МПа}$.

2.6. Модель руху активного плоского ножа дообрізувача гички по рядках коренеплодів цукрових буряків

Для розгляду та аналізу руху активного плоского ножа дообрізувача гички по рядках коренеплодів цукрових буряків представимо довільну складову функції руху сумою простіших за допомогою ряду Фур'є. В загальному випадку кількість даних функцій може бути нескінченною, при цьому чим більше таких функцій враховується при розрахунку, тим вищою стає кінцева точність представлення даної функції [72, 133]. Для моделі руху ножа дообрізувача гички використаємо тригонометричні функції синуса і косинуса.

Функцію тригонометричного ряду Фур'є для руху активного плоского ножа по рядках коренеплодів цукрових буряків під час виконання ним

технологічного процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів запишемо у вигляді

$$S(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos \frac{\pi n x}{l} + b_n \sin \frac{\pi n x}{l}, \quad (2.33)$$

де a_0, c_n, b_n – коефіцієнти тригонометричного ряду;

l – відстань між коренеплодами цукрових буряків у рядку.

Коефіцієнти ряду Фур'є в загальному вигляді обчислюють за формулами [49, 115]:

$$a_0 = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) dx; \quad (2.34)$$

$$b_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \sin \frac{\pi n x}{l} dx; \quad (2.35)$$

$$c_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos \frac{\pi n x}{l} dx. \quad (2.36)$$

Розрахункова схема руху активного плоского ножа по рядках коренеплодів цукрових буряків зображена на рис. 2.14.

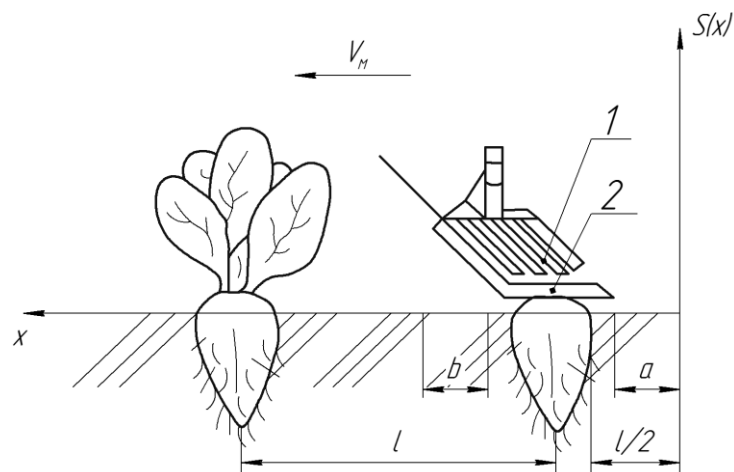


Рис. 2.14. Розрахункова схема руху активного плоского ножа

При виконанні технологічного процесу видалення гички бурякозбиральним комбайном (рис. 2.14), що обладнаний гребінчастим копиром 1 та активним плоским ножом 2 по рядках цукрових буряків відстань між якими

l , копир 1 копіює головки коренеплодів одночасно приводячи в рух плоский ніж 2 (відстань a). Після проходження копиром головки коренеплоду плоский ніж здійснює зворотній рух у вихідне положення (відстань b) [70]. Після проходження копиром головки коренеплоду плоский ніж здійснює зворотній рух у вихідне положення (відстань b) (рис. 2.14).

Для узгодження відстаней a і b необхідно накласти умови на рух активного плоского ножа під час виконання ним технологічного процесу дообрізування залишків гички (рис. 2.15).

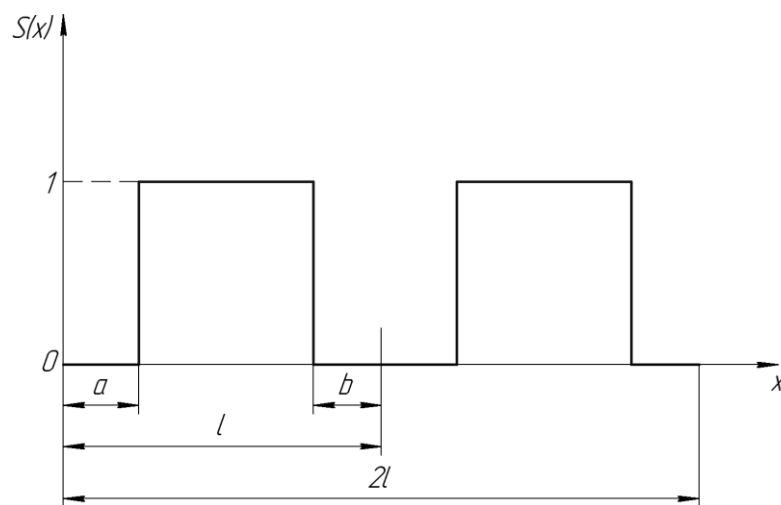


Рис. 2.15. Схема до визначення умов руху активного ножа

Відповідно до рис. 2.15 умови руху плоского активного ножа запишуться

$$S(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \leq x \leq a; \\ 1, & \text{якщо } a \leq x \leq l - b; \\ 0, & \text{якщо } l - b \leq x \leq l + a; \\ 1, & \text{якщо } l + a \leq x \leq 2l - b; \\ 0, & \text{якщо } 2l - b \leq x \leq 2l. \end{cases} \quad (2.37)$$

З врахуванням умови (2.37) залежності для визначення коефіцієнтів ряду Фур'є (2.35-2.37) запишемо у вигляді:

$$a_0 = \frac{1}{l} \left(\int_a^{l-b} dx + \int_{l+a}^{2l-b} dx \right); \quad (2.38)$$

$$c_n = \frac{1}{l} \left(\int_a^{l-b} \cos \frac{\pi x}{l} dx + \int_{l+a}^{2l-b} \cos \frac{\pi x}{l} dx \right); \quad (2.39)$$

$$b_n = \frac{1}{l} \left(\int_a^{l-b} \sin \frac{\pi x}{l} dx + \int_{l+a}^{2l-b} \sin \frac{\pi x}{l} dx \right). \quad (2.40)$$

Використовуючи залежності інтегрального числення запишемо коефіцієнти функції тригонометричного ряду Фур'є для руху активного плоского ножа по рядках коренеплодів цукрових буряків під час виконання технологічного процесу дообрізування гички:

$$a_0 = \frac{1}{l} \cdot (2l - 2b - 2a); \quad (2.41)$$

$$c_n = \frac{1}{l} \left[-l \frac{-\sin \pi n \cdot \cos \left(\frac{1}{l} \pi n b \right) + \cos \pi n \cdot \sin \left(\frac{1}{l} \pi n b \right)}{\pi n} - \frac{\sin \left(a \pi \frac{n}{l} \right)}{\pi n} - l \frac{-2 \cos \left(\frac{1}{l} \pi n b \right) \sin \pi n \cdot \cos \pi n + 2 \sin \left(\frac{1}{l} \pi n b \right) \cos(\pi n)^2 - \sin \left(\frac{1}{l} \pi n b \right)}{\pi n} - l \frac{\sin \pi n \cdot \cos \left(a \pi \frac{n}{l} \right) + \cos \pi n \cdot \sin \left(a \pi \frac{n}{l} \right)}{\pi n} \right]; \quad (2.42)$$

$$b_n = \frac{1}{l} \left(-l \frac{\cos \pi n \cdot \cos\left(\frac{1}{l} \pi n b\right) + \sin \pi n \cdot \sin\left(\frac{1}{l} \pi n b\right)}{\pi} + \frac{\cos\left(a \pi \frac{n}{l}\right)}{\pi} l - \right. \\ \left. -l \frac{2 \cos\left(\frac{1}{l} \pi n b\right) \cos(\pi n)^2 - \cos\left(\frac{1}{l} \pi n b\right) + 2 \sin\left(\frac{1}{l} \pi n b\right) \sin \pi n \cdot \cos \pi n}{\pi} + \right. \\ \left. + l \frac{\cos \pi n \cdot \cos\left(a \pi \frac{n}{l}\right) + \sin \pi n \cdot \sin\left(a \pi \frac{n}{l}\right)}{\pi} \right). \quad (2.43)$$

Підставивши (2.41–2.43) у залежність (2.33) отримаємо значення, відповідно до яких будемо графік залежності переміщення активного плоского ножа від відносного переміщення бурякозбирального агрегату (рис. 2.16).

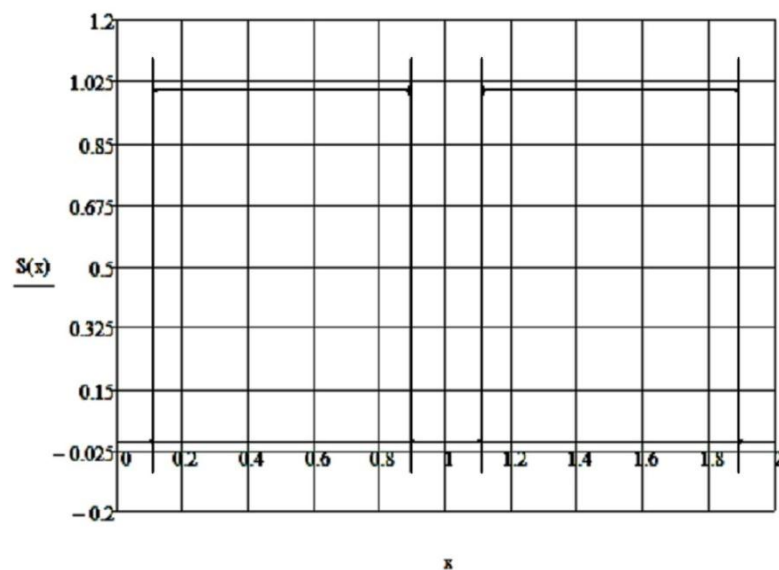


Рис. 2.16. Графічна залежність переміщення активного плоского ножа від відносного переміщення бурякозбирального агрегату

З використанням графічної залежності 2.16 можливо проводити узгодження зворотно-поступального руху ножа з відносним переміщенням бурякозбирального агрегату.

2.7. Попередні висновки до розділу

На основі проведеного теоретичного дослідження процесу дообрізування залишків гички цукрових буряків активним плоским ножом, можна зробити наступні висновки:

1. На підставі аналізу можливих режимів різання лезом головок цукрових буряків встановлено, що підвищення якості та надійності виконання технологічного процесу доочищення коренеплодів можливо забезпечити, використовуючи активний плоский ніж, який працює за схемою різання з ковзанням.

2. Аналітично отримане рівняння (2.16) описує залежність сили різання головок цукрових буряків активним плоским ножом від: робочої швидкості бурякозбирального агрегату; зворотно-поступальної швидкості ножа та кута його встановлення; товщини леза ножа та відстаней між ним і головкою коренеплоду під час виконання технологічного процесу дообрізування; висоти розміщення коренеплоду над рівнем ґрунту та його діаметра.

3. Теоретично обґрунтовано залежності (2.21) та (2.25) для визначення коефіцієнта ковзання активного ножа по коренеплоду при виконанні ним технологічного процесу доочищення головок коренеплодів. Встановлено, що рівняння (2.21) не точно визначає значення коефіцієнта ковзання ε , оскільки не враховується кут тертя матеріалу по лезу ножа φ , тому доцільним є використання залежності (2.25), яка враховує параметр φ .

4. Виведені аналітичні залежності для визначення напружено-деформованого стану активного ножа під час виконання технологічного процесу дообрізування залишків гички. Встановлено, що максимальні напруження виникають на ножі в місцях кріплення його до блоку привода під час приведення в зворотно-поступальний рух. За отриманими залежностями визначено значення даних нормальних напружень, що складають $\sigma_{\max} = 72,03$ МПа. Вони є значно менші від допустимих значень для матеріалів з яких виготовляють плоскі ножі дообрізувачів гички, тому міцнісні показники

надійності при приведенні ножа у рух залишаються незмінними у порівнянні з пасивним виконанням робочого органу дообрізувача гички.

5. Розроблена модель руху дообрізувача гички активного типу по рядках коренеплодів цукрових буряків при виконанні ним технологічного процесу дообрізування головок у вигляді функції тригонометричного ряду Фур'є. Побудована графічна залежність (рис. 2.16), яка дозволяє узгоджувати переміщення активного ножа дообрізувача гички від відносного переміщення бурякозбирального агрегату.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДООБРІЗУВАЧЕМ ГИЧКИ АКТИВНОГО ТИПУ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність – основні фактори, які забезпечують надійність сільськогосподарських машин. У зв'язку із сезонністю виконання с/г робіт, для бурякозбиральних комбайнів їх неробочий період становить до 80% часу експлуатації [18, 108].

На етапі міжсезонного зберігання відбувається процес підтримування роботоздатності бурякозбиральних машин, ефективність якого залежить від якості очищення обладнання від ґрунту, залишків рослинних решток та відповідної консервації [24, 81].

Виконання технологічного процесу дообрізувачами гички цукрових буряків при умовах, за яких плоскі ножі у процесі роботи піддаються тертю з головками коренеплодів, що має напіврідинний характер [119], та недотримання умов їх міжсезонного зберігання спричиняє появу корозійних пошкоджень на їх поверхнях (рис. 3.1), тому існує необхідність у проведенні досліджень корозійної стійкості матеріалів, з яких виготовляють ножі, у середовищі соку цукрових буряків.

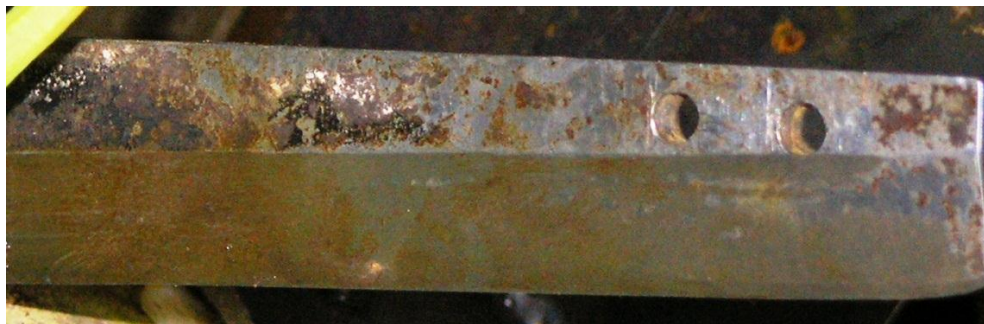


Рис. 3.1. Корозійні пошкодження плоских ножів дообрізувачів гички

На основі визначеної мети дисертаційної роботи та поставлених наукових задачах, а також для підтвердження достовірності отриманих результатів при теоретичних розрахунках, розроблена програма експериментальних досліджень, яка передбачає такі етапи [124, 128]:

- обґрунтування технологічного процесу дообрізування головок коренеплодів від залишків гички активним плоским ножом та розробка конструктивно-технологічної схеми механізму дообрізувача;
- визначення вихідних даних, які використовуються при теоретичних дослідженнях процесу доочищення гички з головок коренеплодів;
- підтвердження характеру різання активного ножа дообрізувача залишків гички;
- проведення лабораторних досліджень основних показників, які характеризують технологічну ефективність процесу дообрізування гички цукрових буряків та встановлення їх оптимальних значень при різних параметрах та режимах роботи.

Метою експериментальних досліджень є забезпечення мінімального значення сили зрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків активним плоским ножом, оптимального кута його встановлення відносно рядка, узгодження зворотно-поступальної швидкості ножа з поступальною швидкістю бурякозбирального агрегату [124].

Об'єктом експериментальних досліджень є технологічний процес дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків [124].

Предметом досліджень є конструктивні та технологічні параметри механізму дообрізувача гички активного типу.

Стандартні методики, які використовуються при випробуваннях сільськогосподарських машин, були дотримані під час проведення експериментальних досліджень активного дообрізувача залишків гички [87, 124]:

- п'ятикратне повторювання експериментів;

- дослідження проводились на спеціально розробленому стенді з можливістю імітації максимально наближених умов роботи механізму дообрізувача;
- експериментальні дані аналізували та порівнювали з теоретичними.

3.2. Методика проведення експериментальних досліджень

Функцією відгуку (параметром який необхідно оптимізувати) є величина, що виражається одним числом, має фізичний зміст та існує для будь-яких умов роботи. У нашому випадку - це сила, яка необхідна для зрізання залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків активним плоским ножом дообрізувача гички.

Фактором є вимірювана змінна величина, що приймає в деякий момент часу визначене значення. Кожен фактор має свою область визначення, тобто сукупність значень, які в реальних умовах можуть мати місце. Він вважається заданим, якщо разом з назвою зазначена його область визначення.

Проведений аналіз технологічного процесу дообрізування гички, дозволив виділити фактори, які чинять суттєвий вплив на якість процесу обрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків та результуючу величину сили різання, основними з яких є:

- 1) довжина ходу активного плоского ножа;
- 2) кут заточування ножа;
- 3) діаметр коренеплоду;
- 4) робоча швидкість бурякозбирального агрегату.

До факторів, які впливають на досліджуваний процес дообрізування залишків гички з головок коренеплодів ставлять такі вимоги [20, 61, 66, 105]:

- фактори повинні достатньо точно вимірюватись і бути стабільними на визначених рівнях;
- між ними не повинно бути зв'язку;
- фактори повинні бути сумісні при проведенні експериментальних досліджень.

Використовуючи такі фактори як довжина ходу активного плоского ножа, кут його заточування, діаметр коренеплоду та робоча швидкість машини виконуємо побудову моделі та проводимо дослідження процесу зрізування з головок коренеплодів залишків гички дообрізувачем активного типу.

Планування експерименту починаємо в умовах, коли об'єкт вже піддається деяким аналітичним дослідженням. Результати попередніх досліджень використовуємо при виборі експериментальної області факторного простору. У даній області виділяємо локальну підобласть для планування експерименту. Вибір її включає два етапи: вибір основного рівня і вибір інтервалів варіювання [6, 48, 65, 120, 121].

Для кожного з чотирьох факторів вибираємо три рівні варіювання: верхньому рівню відповідає +1; нижньому рівню відповідає -1; основному, навколо якого симетрично розміщуються експериментальні точки, відповідає 0 [48]. Перехід від натуральних значень фактора до кодованого виконуємо за допомогою перетворення [6, 20]

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{I_i}, \quad (3.1)$$

де X_i – кодоване значення фактора;

x_i – натуральне значення фактора;

x_{i0} – натуральне значення основного рівня;

I_i – інтервал варіювання;

i – номер фактора.

Нульовий рівень, що займає центр інтервалу (середнє значення кожного вхідного фактора), має вигляд [2, 6, 19]

$$x_0 = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}, \quad (3.2)$$

де x_0 – числове значення нульового рівня вхідного фактора;

x_{\max} – числове значення верхнього рівня вхідного фактора;

x_{\min} – числове значення нижнього рівня вхідного фактора.

Інтервали варіювання вхідними факторами визначаємо за формулою [2, 6, 19]

$$I_i = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}, \quad (3.3)$$

де I_i – числове значення інтервалу варіювання i -го фактора.

Вибір факторів, їх рівні варіювання та результати кодування представлені в таблиці 3.1 [131].

Для план-матриці чотирьохфакторного експерименту типу ПФЕ 3^4 загальну кількість дослідів N визначаємо за залежністю [2, 19, 61]

$$N = P^k, \quad (3.4)$$

де P – кількість рівнів варіювання;

k – кількість діючих вхідних факторів в експерименті.

Рівні варіювання та результати кодування факторів

Фактор	Позначення		Рівні реального позначення факторів			Рівні кодованого значення факторів		
	Натуральне	Кодоване	Нижній	Основний	Верхній	Нижній	Основний	Верхній
Довжина ходу ножа, мм	L	x_1	20	40	60	-1	0	+1
Кут заточування, град.	α	x_2	8	10	12	-1	0	+1
Діаметр коренеплоду, мм	d_k	x_3	60	80	100	-1	0	+1
Робоча швидкість машини, м/с	V_m	x_4	1	2	3	-1	0	+1

Оскільки для чотирьох факторного експерименту типу ПФЕ 3^4 кількість дослідів є значно великою $N=81$, тому ми використали розроблену Боксом–Бенкіном методику, яка значно скорочує кількість дослідів практично без втрати інформації [61, 73]. Використовуємо трьохрівневий план другого порядку у якому для чотирьох вхідних факторів з трьома рівнями варіювання, загальна кількість експериментів $N=27$. План-матриця багатофакторного експерименту для наших умов дослідження представлена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

План – матриця багатофакторного експерименту

№ дослідів	Вхідні фактори			
	Довжина ходу ножа	Кут заточування	Діаметр коренеплоду	Робоча швидкість машини
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	+1	+1	0	0
2	-1	-1	0	0
3	+1	-1	0	0

Продовження таблиці 3.2

4	-1	+1	0	0
5	0	0	+1	+1
6	0	0	-1	-1
7	0	0	+1	-1
8	0	0	-1	+1
9	0	0	0	0
10	+1	0	+1	0
11	-1	0	-1	0
12	+1	0	-1	0
13	-1	0	+1	0
14	0	+1	0	+1
15	0	-1	0	-1
16	0	+1	0	-1
17	0	-1	0	+1
18	0	0	0	0
19	+1	0	0	+1
20	-1	0	0	-1
21	+1	0	0	-1
22	-1	0	0	+1
23	0	+1	+1	0
24	0	-1	-1	0
25	0	+1	-1	0
26	0	-1	+1	0
27	0	0	0	0

Провівши багатофакторний експеримент, отримаємо можливість побудови зображення поверхні відгуку впливу вхідних факторів на критерій оптимізації, функцію якого можна записати у вигляді

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, x_4), \quad (3.5)$$

де Y – критерій оптимізації;

x_1, x_2, x_3, x_4 – кодовані значення факторів.

Аналіз даних, отриманих при експериментальних дослідженнях, можливо проводити при виконанні умови, за якої дисперсії, що обумовлені похибками дослідів є однорідними.

Розрахункове значення критерію Кохрена, за яким виконуємо перевірку однорідності дисперсії, визначаємо за формулою [61]

$$G_p = \frac{\sigma_{i\max}^2}{\sum_1^N \sigma_s^2}, \quad (3.6)$$

де $\sigma_{i\max}^2$ – найбільша дисперсія дослідів;

$\sum_1^N \sigma_s^2$ – сума дисперсій дослідів.

Дисперсію дослідів визначаємо із залежності [61]

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_1^m (y_i - \bar{y})^2}{m-1}, \quad (3.7)$$

де m – кількість повторюваностей;

\bar{y} – середнє значення функції відгуку для кожного повторення.

Якщо виконується умова $G_p < G_{табл}$, тоді дисперсії є однорідними.

Результати багатофакторного експерименту виразимо математичною моделлю у вигляді полінома. У нашому випадку рівняння регресії для чотирьох факторного експерименту має вигляд [61]

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4, \quad (3.8)$$

де y – експериментальне значення кількості взаємодії робочих елементів;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$ – коефіцієнти регресії відповідних вхідних факторів x_j .

Коефіцієнти полінома визначаємо за формулами [105]:

- вільний член b_0 і коефіцієнти b_j

$$b_j = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ju} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{ju}^2}; \quad (3.9)$$

- коефіцієнти взаємодії b_{ij} і b_{ijm}

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ju} x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (3.10)$$

- коефіцієнти взаємодії b_{ijm}

$$b_{ijm} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ju} x_{iu} x_{mu} \bar{y}_u}{N}, \quad (3.11)$$

де x_{ju} – значення кодованої змінної у відповідному стовпці плану експерименту;

u – порядковий номер досліду;

j – номер фактора;

\bar{y}_u – середнє значення u -го досліду;

N – кількість проведених експериментів.

i, m – номер фактора, відмінного від j -го.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії b_j апроксимуючої математичної моделі визначаємо за t -критерієм Ст'юдента у наступній послідовності [46, 132]:

- визначаємо дисперсію похибок дослідів у рядках плану проведення

експериментів

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.12)$$

де n – кількість паралельних дослідів;

– визнаємо дисперсію відтворення дослідів

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2; \quad (3.13)$$

– визначаємо похибку відтворення

$$S_y = \sqrt{S_y^2}. \quad (3.14)$$

Визначаємо виконання умови про значимість коефіцієнтів b_j рівняння регресії за формулою [46, 132]

$$b_{j(im)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{Nn}}, \quad (3.15)$$

де t_T – табличне значення коефіцієнта Ст'юдента [21].

У випадку, коли умова (3.15) не виконується, то відповідний коефіцієнт b_j рівняння регресії приймаємо таким, що дорівнює нулю, а член рівняння регресії x_j , що йому відповідає, виключаємо.

Адекватність вибраної математичної моделі експериментальним даним проводимо за F-критерієм Фішера [61, 66, 105, 121]. Дисперсію адекватності визначаємо за залежністю [61]

$$S_{ag}^2 = \frac{n}{N - g'} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \bar{y}_u)^2, \quad (3.16)$$

де $N - g'$ – число ступенів вільності дисперсії;

g' – число значимих коефіцієнтів, що входять у рівняння регресії;

\bar{y}_u – середнє значення відгуку в u -му досліді;

\bar{y}_u – значення відгуку u -й точці плану, що обчислена за рівнянням регресії.

Умова адекватності вибраної математичної моделі експериментальним даним має вигляд [61]

$$F = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2} < F_T(0,05; f_{ag}; f_y), \quad (3.17)$$

де $F_T(0,05; f_{ag}; f_y)$ – критерій Фішера при 5% рівні значущості;

f_{ag} – число ступенів вільності дисперсії адекватності;

f_y – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

3.3. Прилади та обладнання для проведення лабораторних досліджень дообрізувачів гички активного типу

Для визначення конструктивних та технологічних параметрів механізму активного дообрізувача гички цукрових буряків проведено лабораторні дослідження з використанням стенду для випробувань ножів коренезбиральних комбайнів [55, 71]. Для повноти отриманих результатів, експеримент виконано

на стенді з певною його модернізацією відповідно до поставлених задач дослідження [129].

Лабораторний стенд для дослідження ножів коренезбиральних комбайнів (рис.3.2) складається із станини 1, на якій встановлені активний плоский ніж 2 і рухома платформа 3, із закріпленим на ній коренеплодом цукрового буряка 4. Блок привода 5 прикріплений до плоского ножа 2 болтами 6. Рухома платформа 3 з'єднана з динамометром 7, що гнучкою стрічкою 8 з'єднаний з приводом, виконаним у вигляді електродвигуна 9, на валу якого закріплений барабан 10. Переміщення рухомої платформи 3 обмежене датчиками 11, які керуються електродвигуном 9.

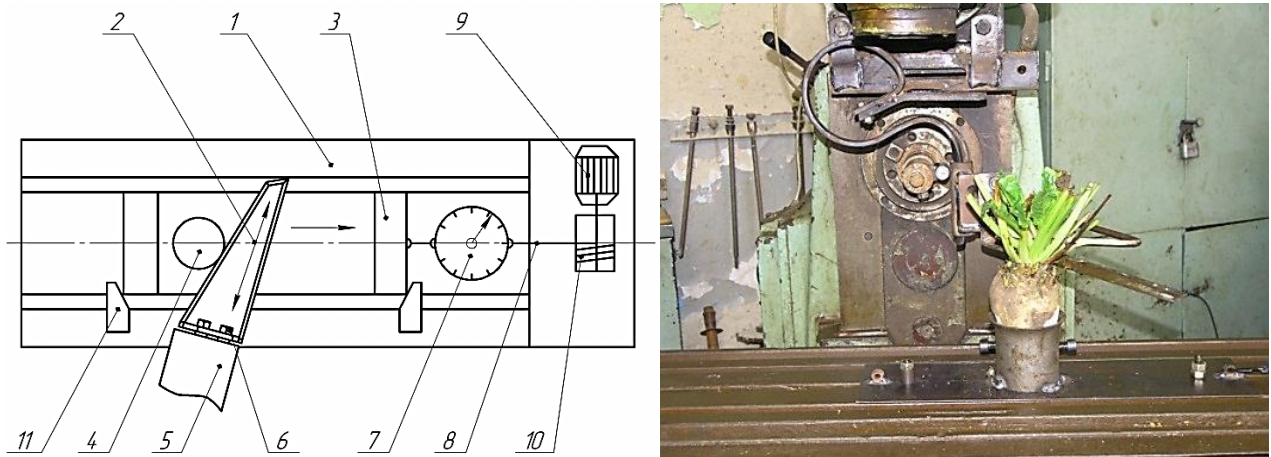


Рис. 3.2. Модернізований стенд для випробування ножів коренезбиральних машин

Лабораторний стенд працює наступним чином. Коренеплід з гичкою 4 підводиться на рухомій платформі 3 до плоского ножа 2. Електродвигун 9, який керується датчиками 11, забезпечує робочу швидкість рухомій платформі 3. Зворотно-поступальний рух плоского ножа 2 відбувається завдяки блоку привода 5 плоского ножа 2.

Використання даного стенду дає можливість проводити реальну імітацію роботи бурякозбирального агрегату та отримати дані за результатами

експериментальних досліджень процесу зрізування залишків гички плоскими ножами з головок коренеплодів цукрових буряків.

Для проведення експерименту з визначення коефіцієнта тертя в системі “коренеплід цукрового буряка – плоский ніж” використано схему, зображену на рис. 3.3а. Для дослідження вибирали коренеплід діаметром 80 мм та плоский ніж дообрізувача залишків гички, який виготовлений з якісної конструкційної сталі 25, кутом заточування 10° , товщиною 0,6 мм і масою 0,9 кг (рис. 3.3б).

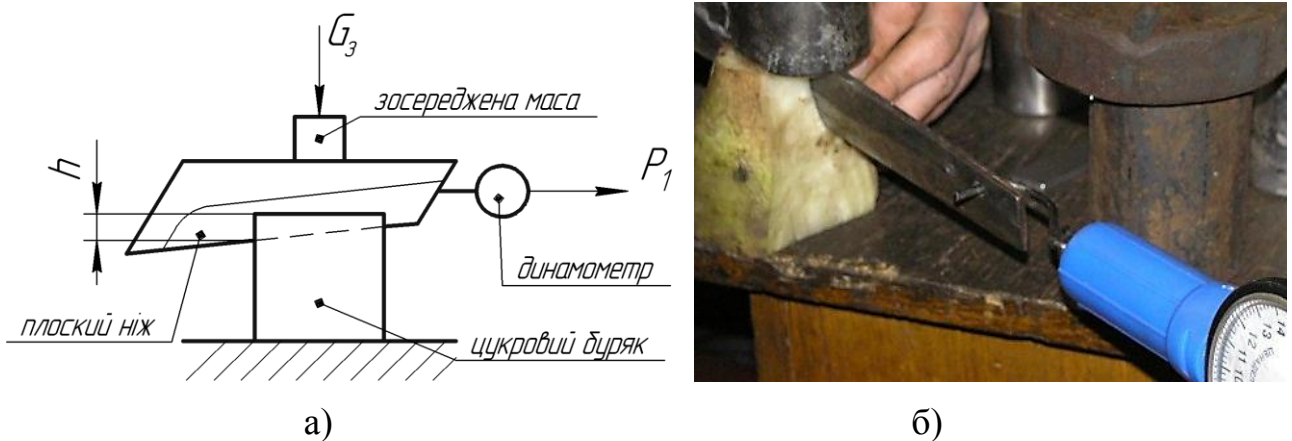


Рис. 3.3. Визначення коефіцієнта тертя в системі “коренеплід – плоский ніж”:

а) принципова схема дослідження; б) натурне дослідження

За результатами проведених досліджень отримано графічну залежність між силою тяги ножа P_1 і величиною зосередженої маси G_3 (з врахуванням власної ваги плоского ножа G_n) (рис. 3.4).

Коефіцієнт тертя плоского ножа з коренеплодами цукрових буряків визначали як тангенс кута нахилу прямої графіку залежності між силою тяги ножа P_1 і величиною зосередженої маси G_3 (з врахуванням власної маси плоского ножа G_n). Дослідження виконувались при наступних умовах:

- довжина ходу ножа 40 мм;
- глибина проникнення ножа в коренеплід $h = 10 - 20$ мм.

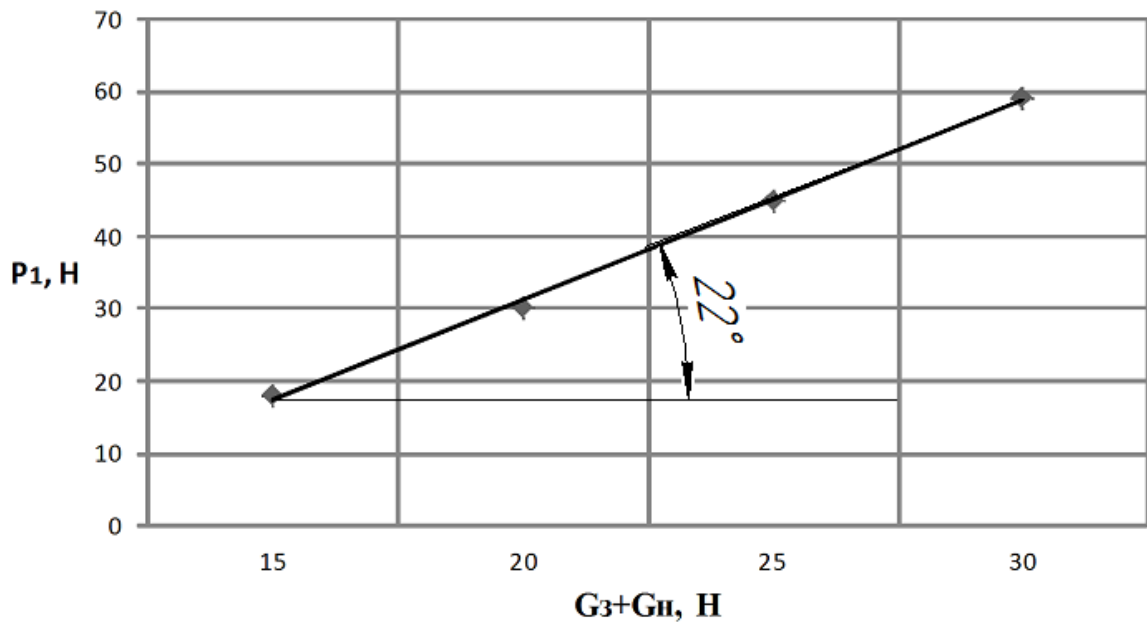


Рис. 3.4. Графік залежності сили тяги ножа P_1 від зосередженої маси G_3 (з врахуванням власної маси плоского ножа G_n)

Після проведення експерименту встановлено, що значення кута тертя в системі “коренеплід цукрового буряка – плоский ніж” складає 22° , а відповідний йому коефіцієнт рівний 0,40.

При проведенні експериментальних досліджень гнчководіаляючих апаратів для реєстрації кінематичних та енергетичних параметрів використовуємо тензометричне обладнання, а саме універсальну вимірювальну систему (УВС) [12, 36, 98, 99, 103].

Універсальна вимірювальна система (рис. 3.5) складається з:

- комплекту різнотипних датчиків (датчиків кутових швидкостей, тензорезисторів, віброакселометрів, динамометрів);
- реєструючої системи (рис. 3.6), що забезпечує підсилення, фільтрацію, реєстрацію статодинамічних сигналів;
- пакету прикладних програм для забезпечення функціонування системи та обробки отриманих даних.

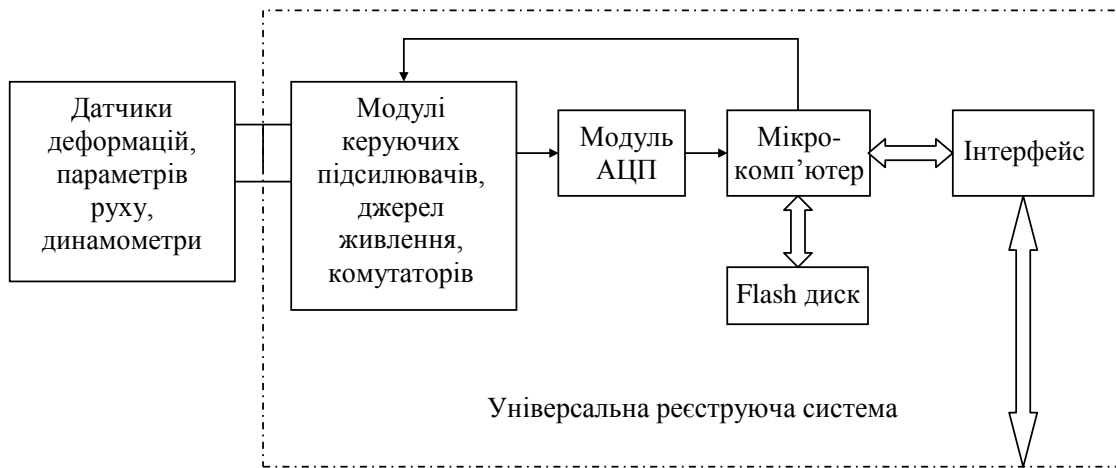


Рис. 3.5. Принципова схема універсальної вимірювальної системи для дослідження динаміки навантаження машин

Основні технічні характеристики УВС:

- загальна кількість каналів – 32;
- число універсальних вимірювальних каналів – 8;
- час реєстрації інформації в автономному режимі роботи обернено пропорційний частоті дискретизації. При частоті дискретизації 2кГц і об'ємі Flash-диска 256МБ час реєстрації складає 52хв.

Основні технічні характеристики універсальних вимірювальних каналів:

- мінімальний опір резистивних датчиків – 50Ом;
- живлення датчиків напругою постійного струму – 0,5В; 2,0В; 5,0В;
- режим вимірювань – статодинаміка;
- діапазон початкового балансування тензомостів, приведений до номінального опору тензорезистора – $\pm 2\%$;
- температурний дрейф нуля, не більше $\pm 1 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$;
- основна похибка каналу, не більше $\pm 0,2\%$;
- діапазон компенсації можливого зміщення нуля: $\pm 5\text{В}$;
- частоти зрізу ФНЧ: 4; 8; 16; 20; 32; 40; 64; 80; 128Гц.

Загальний вигляд реєструючого блоку універсальної вимірювальної системи зображений на рис. 3.6.

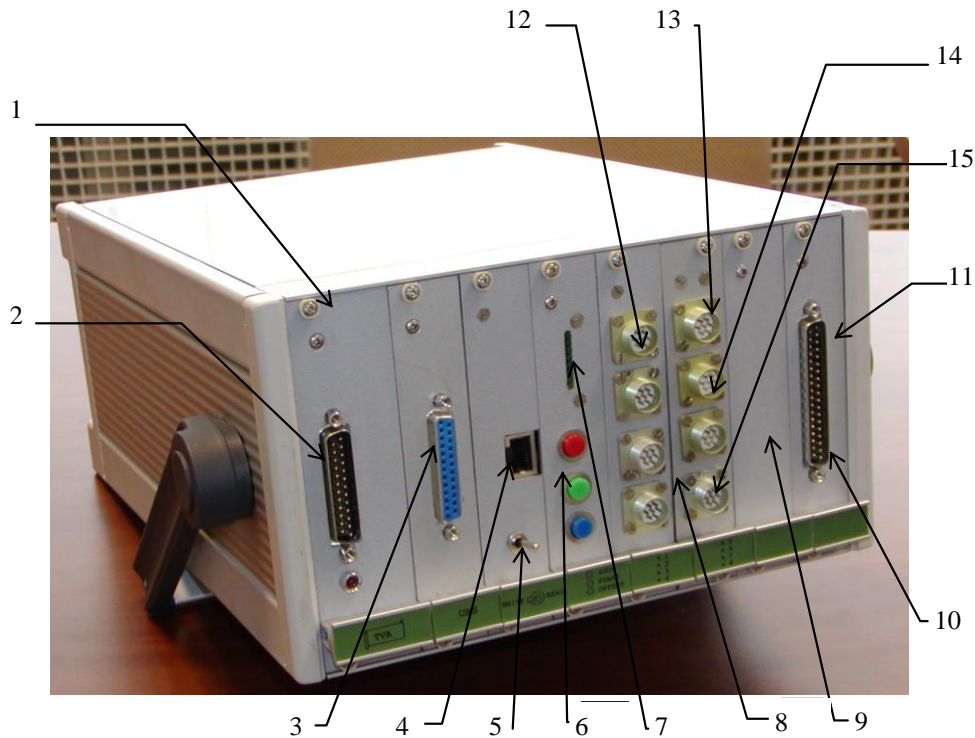


Рис. 3.6. Загальний вигляд реєструючого блоку універсальної вимірювальної системи:

1 – крейт-контролер LC-014; 2 – вихідний роз'єм паралельного порта крейт-контролера; 3 – роз'єм паралельного порта мікрокомп'ютера; 4 – роз'єм Ethernet; 5 – перемикач режиму роботи «запис/читання»; 6 – кнопки керування («старт», «стоп», «зміщення нуля»); 7 – індикатор режиму запису; 8 – входні роз'єми вимірювальних каналів; 9 – модуль аналого-цифрового перетворення LC-301; 10 – модуль комутатора LC-101; 11 – роз'єм аналогових входних сигналів комутатора LC-101; 12 – роз'єми універсальних вимірювальних каналів 1...4; 13 – роз'єм універсального вимірювального каналу 5; 14 – роз'єми каналів під'єднання датчиків віброприскорення (канали 6, 7); 15 – роз'єм каналу вимірювання кутової швидкості (канал 8)

Універсальна вимірювальна система працює наступним чином. Електричні сигнали від датчиків (тензорезисторів) передаються через комутатор MULTIPLEXER на аналого-цифровий перетворювач ADC. Подальша передача інформації здійснюється через крейт-контролер СгС. Якщо робота відбувається із використанням зовнішнього комп'ютера, то обмін інформації виконується через LPT порт. В автономному режимі реєстрація інформації виконується за допомогою вбудованого мікрокомп'ютера ЕМС. Висока чутливість системи (межі вимірюваних входних напруг ± 50 мкВ... ± 5 В) дозволяє застосовувати стандартизовані тензо- і вібродатчики з низькою чутливістю [41, 100].

Тензорезистори застосовуємо як перетворювачі деформацій при експериментальних дослідженнях напружено-деформованого стану об'єкта дослідження (активного плоского ножа). Методика тензометричних вимірювань та технічна характеристика тензорезисторів наведені в [29, 39, 45, 113, 134].

Для отримання достовірних даних при експериментальних дослідженнях гнчкозрізувальних механізмів важливим є тарування тензодатчиків та каналів універсальної вимірювальної системи. За допомогою універсального пресу УП-8 було проведено тарування тензорезисторів в лабораторних умовах [130].

Тензорезистор одиночний прямокутний П1 призначений для вимірювання пружних деформацій при статичних та динамічних навантаженнях (рис. 3.7).

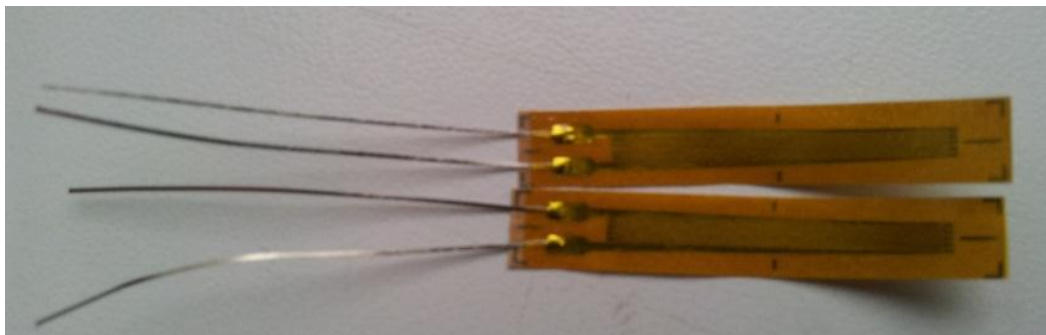


Рис. 3.7. Тензорезистор одиночний прямокутний П1

Основні технічні характеристики тензорезисторів П1 [113]:

- максимально вимірювальна деформація: ± 3000 мкм/м;
- чутливість: 1,9 – 2,3;
- температурний діапазон роботи: від -70°C до $+200^{\circ}\text{C}$;
- номінальна база (довжина тензорешітки): 5мм;
- номінальний опір: 200Ом;
- клас точності: Б;
- виконання: С1 (без виводів).

Для тарування тензодатчиків використовували балку перерізом $8\text{мм} \times 19\text{мм}$ виготовлену зі сталі 25 (рис. 3.8).

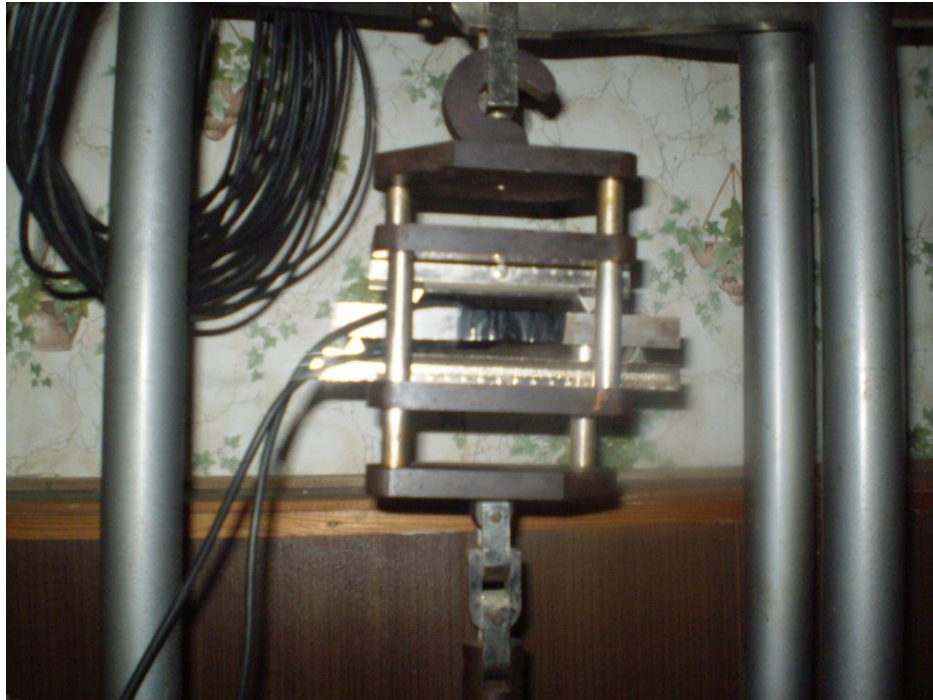


Рис. 3.8. Тарувальна балка

На верхній торець балки наклеювали тензодатчик, балку встановлювали в захвати тарувальної установки (рис. 3.9). Навантаження дослідного зразка



Рис. 3.9. Тарування тензорезисторів на універсальному пресі УП-8

проводили за схемою чистого (чотирьохточкового) згину, при якому досліджувана балка з тензодатчиками розміщувалась на двох опорах, і до неї прикладали дві рівні за величиною зосереджені сили на однакових відстанях від тензодатчика та опор.

Коефіцієнт підсилення навантаження тарувальної установки склав 50. На консоль навантаження установки поетапно добавляли вантажі масою 1кг і фіксували покази реєструючої апаратури (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Консоль навантаження тарувальної установки

За отриманими даними в результаті тарування тензодатчиків табл.3.3 побудовано тарувальний графік рис.3.11 і визначено коефіцієнт тарування (додаток Б) [130].

Таблиця 3.3

Покази індикатора УВС

№ з/п	№ тензодатчика	Навантаження, кг						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Тензорезистор 1	2040	2106	2179	2254	2312	2372	2419

Продовження таблиці 3.3

2	Тензорезистор 2	1982	1962	1895,5	1811,5	1777	1676	1589,5
---	-----------------	------	------	--------	--------	------	------	--------

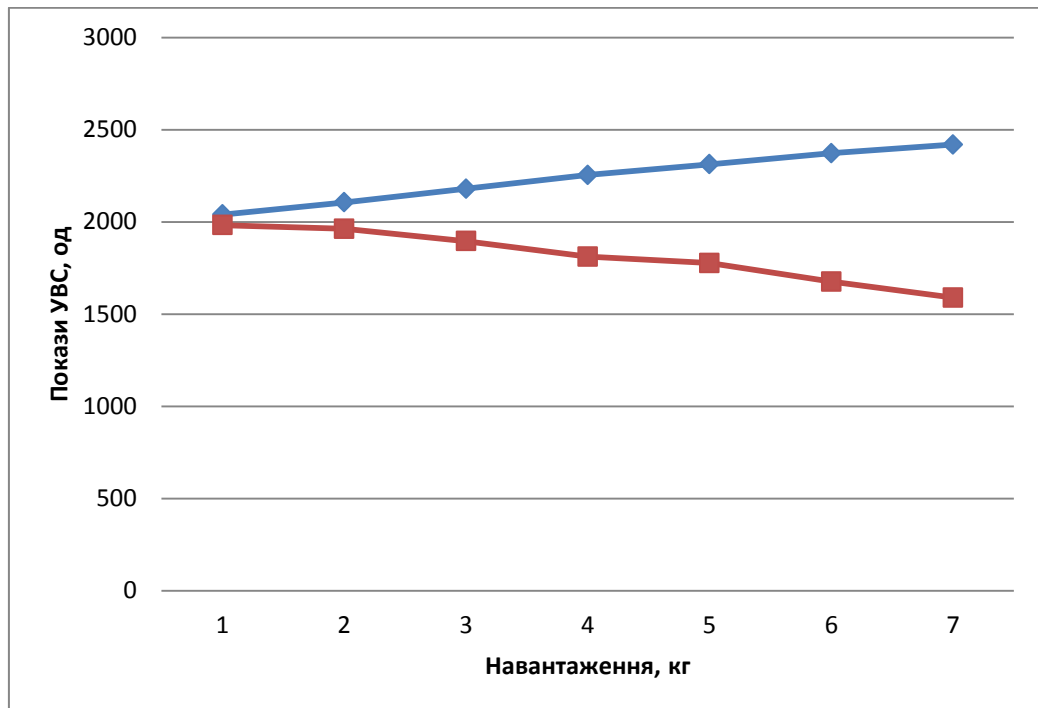


Рис. 3.11. Тарувальний графік

Використання програмного забезпечення для проведення досліджень на міцність активних ножів дообрізувачів гички базується на застосуванні методу кінцевих елементів за вже спроектованою об'ємною моделлю. За результатами виконання системою аналітичних та графічних розрахунків отримуємо необхідну для нас інформацію НДС об'єкту, а саме:

- карту напружень об'ємної моделі;
- загальну деформацію тривимірної моделі;
- карту розподілу напружень у довільному перерізі.

Для визначення ділянок дії максимальних напружень на кріпленні плоского ножа до блоку привода, його НДС, а також для підтвердження отриманих результатів при теоретичних дослідженнях виконана побудова тривимірної твердотілої моделі плоского ножа дообрізувача гички (рис. 3.12) [130].

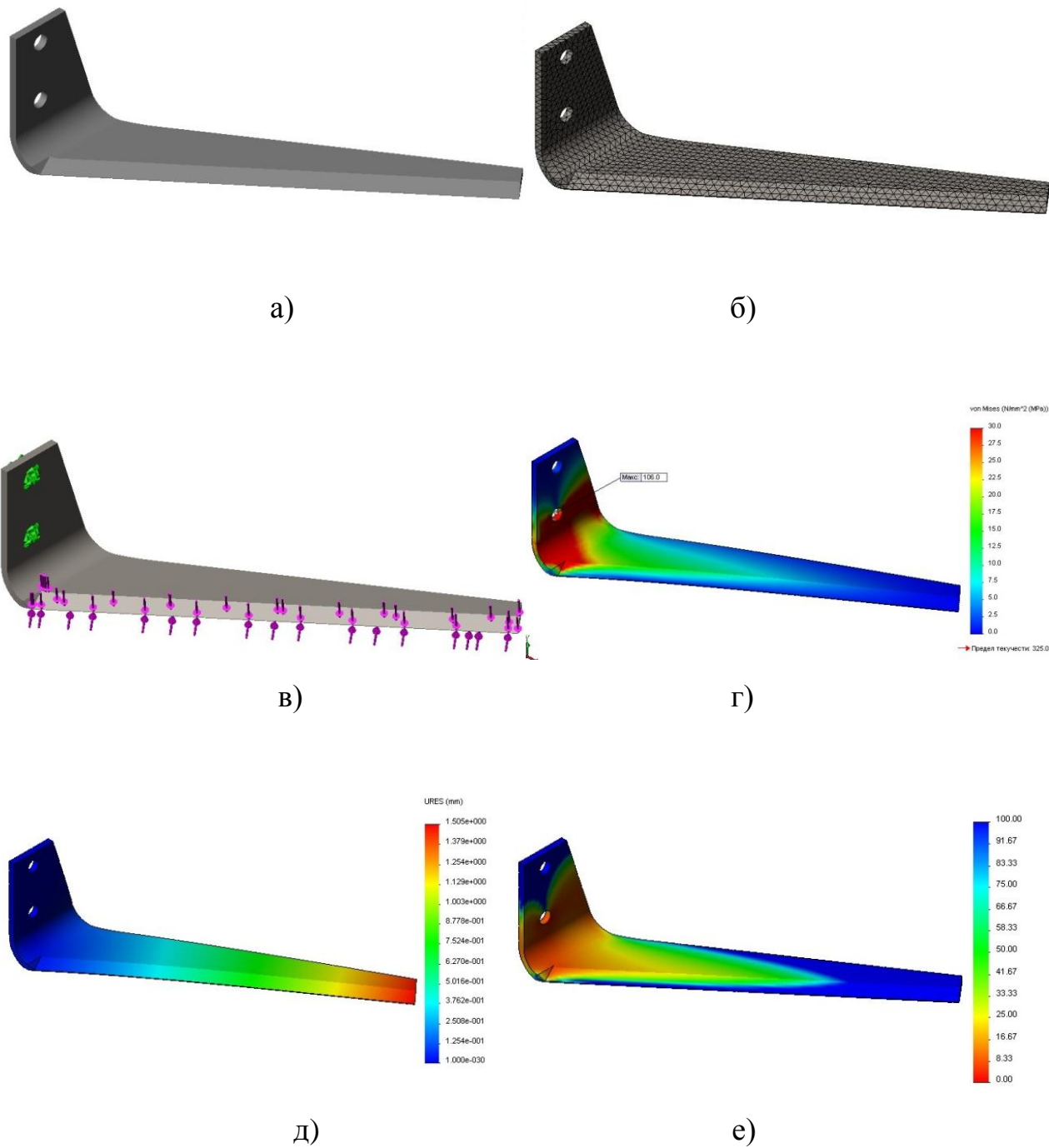


Рис. 3.12. Тривимірна твердотіла модель плоского ножа:

а) розрахункова модель; б) сітка кінцевих елементів; в) схема закріплення та навантаження; г) напруження; д) переміщення; е) запас міцності

Для перевірки результатів НДС плоского активного ножа дообрізувача гички, отриманих за допомогою комп'ютерного моделювання, проведенні натурні випробування для встановлення відповідності даних реальним умовам експлуатації.

З врахуванням комп'ютерного розрахунку тривимірної моделі плоского ножа дообрізувача гички та результатів аналітичного обґрунтування напружень, що виникають на ньому під час приведення його у рух, при проведенні експериментальних досліджень тензорезистори були наклеєні у місцях кріплення ножа з блоком привода, де спостерігаються максимальні деформації за допомогою фенольного однокомпонентного клею УВС-10ТС [113] (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Розміщення тензорезисторів на плоскому ножі під час проведення експериментальних досліджень

3.4. Методика проведення корозійних досліджень матеріалів в розчині соку цукрових буряків

Виконання технологічного процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків активними плоскими ножами відбувається в умовах, при яких в зоні різання виникає напіврідинне тертя (рис. 3.14). Дане тертя призводить до пошкодження ріжучої кромки ножа, затуплення леза, яке спричиняє зміну кута його заточування, утворення нерівностей на ріжучій поверхні при тривалому використанні. Відмічені фактори, в сукупності, знижують показники якості дообрізування головок коренеплодів цукрових буряків.

Проведений огляд бурякозбиральної техніки встановив, що ножі дообрізувачів гички виготовляють із якісної конструкційної, вуглецевої Сталі 25.



Рис. 3.14. Характер тертя в зоні різання ножем головок коренеплодів цукрових буряків

Для дослідження корозійної стійкості матеріалів плоских ножів у розчині соку цукрових буряків було вибрано Сталь 25 (ГОСТ 1050-88) та сталь звичайної якості Ст 3 (ДСТУ 2651:2005; ISO 105-82), зразки з яких виконано у вигляді дисків діаметром 20mm з поверхнею шорсткості $R_a = 0,63\text{mkm}$. Знежирені зразки було зважено на аналітичній вазі з точністю $\pm 0,0004\text{g}$ та проведено їх зберігання в ексікаторі на протязі 24 год (hr).

Середній хімічний склад коренеплодів цукрових буряків зображено на рис. 3.15 [118].

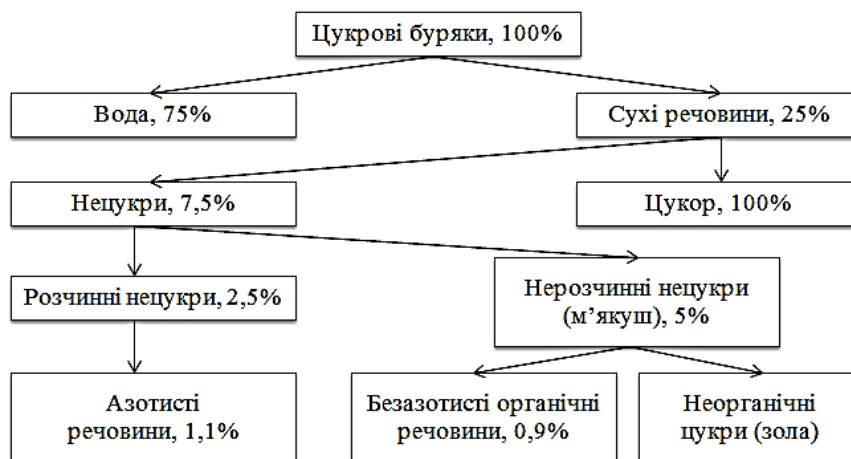


Рис. 3.15. Середній хімічний склад коренеплодів цукрових буряків

Перед початком та після закінчення досліджень вимірювали рН розчину рН-метром И-160М.

Масометричним методом визначали швидкість корозії K_m ($\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hr})$) після експозиції протягом 1, 7, 12, та 24 діб за природньої аерації за залежністю [51, 62, 116]

$$K_m = \Delta m / S \cdot \tau, \quad (3.18)$$

де Δm – зміна ваги зразка після експозиції в корозивному середовищі, g ;

S – площа зразка, cm^2 ;

τ – час експозиції, hr .

Отримані величини перераховувалися за глибинним показником Π (mm/year) [116]

$$\Pi = \frac{K_m \cdot k}{\gamma} \cdot 10^{-1}, \quad (3.19)$$

де k – коефіцієнт перерахунку hr в year ;

γ – густина заліза, $7,86\text{g}/\text{cm}^3$.

Поляризаційні дослідження проводили за допомогою потенціостата IP-Pro з відповідним програмним забезпеченням. Робочими електродами слугували зразки із сталей з площею робочої поверхні $0,0628\text{cm}^2$ запресовані у фторопласт. Перед кожним вимірюванням зразок зачищали на шліфпапері №0, очищали за допомогою ацетону і висушували. Електрод порівняння – насичений хлорсрібний, допоміжний – платиновий. Струми корозії, константи Тафеля катодної та анодної реакцій визначали із прямолінійних ділянок поляризаційних кривих.

Перерахунок струмових показників швидкості корозії на масові здійснювали за формулою [116]

$$K = ikA/nF, \quad (3.20)$$

де i – струм корозії, A/cm^2 ;

k – коефіцієнт ($k=1$, якщо час випробувань виражений у секундах, а площа – в cm^2);

A – атомна маса металу (для заліза та сталі $A = 56$);

n – валентність металу (для заліза 2 або 3);

F – стала Фарадея [116].

3.5. Попередні висновки до розділу

1. Розроблена програма та методика експериментальних досліджень активних плоских ножів дообрізувачів гички цукрових буряків, яка дозволяє підтвердити адекватність теоретичних положень дисертаційної роботи та експериментальним шляхом визначити значення сили різання при різних параметрах та режимах роботи бурякозбирального агрегату, а також напруження, які виникають у місцях кріплення ножа до його блоку привода.

2. Запропоновано план-матрицю проведення експериментальних досліджень з використанням трьохрівневого плану другого порядку запропонованого Боксом-Бенкіном. Наведено залежності для визначення адекватності вибраної математичної моделі експериментальним даним за критерієм Фішера, відтворюваності значущості коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Ст'юдента, та однорідності дисперсії за критерієм Кохрена.

3. Обґрунтовано вибір приладів та обладнання для проведення стендових випробувань активних плоских ножів дообрізувачів гички та подані їх основні технічні характеристики та принципи роботи.

4. Обґрунтовано необхідність проведення корозійних досліджень матеріалів плоских ножів в розчині соку цукрових буряків та подано методику їх проведення.

РОЗДІЛ 4

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ФОРМУВАННІ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕТОДИКИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДООБРІЗУВАЧА ГИЧКИ АКТИВНОГО ТИПУ

4.1. Результати проведених досліджень

Дослідження плоских ножів дообрізувача гички проводились згідно з методикою наведеною в розділі 3, з використанням лабораторного стану, будова та принцип роботи якого розглянуті в попередньому розділі [124].

Враховуючи вимоги, що ставляться до процесу доочищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички, було визначено критерій оптимізації (сила різання головок плоским активним ножем). Провівши аналіз факторів, які чинять вплив на технологічний процес видалення гички визначено їх важливість, а також інтервали варіювання.

Реалізація план-матриці проведення експериментальних досліджень дозволила отримати результати, які наведено в додатку В.

Визначення грубих похибок при експериментальних дослідженнях проводили згідно з методикою, при якій результат, отриманий під час досліду, виключається, якщо його значення більше від величини $\lim X_{\max}$ або менше $\lim X_{\min}$. Межі похибок визначали за формулами [6, 66, 91, 121]

$$\begin{aligned}\lim X_{\max} &= \bar{x} + K(X_{\max} - X_{\min}); \\ \lim X_{\min} &= \bar{x} - K(X_{\max} - X_{\min}),\end{aligned}\tag{4.1}$$

де $\lim X_{\max}$ та $\lim X_{\min}$ – гранично можливі максимальні і мінімальні значення вимірювання серед повторюваностей одного досліду;

\bar{x} – середнє арифметичне ряду, що розраховане без результату вимірювання, яке перевіряється;

X_{\max} та X_{\min} – максимальне і мінімальне значення вимірювання в ряду;

K – коефіцієнт, який залежить від кількості повторюваностей.

При кількості повторюваностей $m = 5$ коефіцієнт $K = 1,7$ [6, 121].

Провівши перевірку експериментальних даних на відсутність грубих похибок, виявлено, що сила різання плоским активним ножом головок коренеплодів цукрових буряків, отримана при першій повторюваності чотирнадцятого дослідів ($y_{14/1} = 157,14$ Н), та сила різання отримана при п'ятій повторюваності двадцять четвертого дослідів ($y_{24/5} = 50,15$ Н), має сумнівний результат.

Гранично можливе максимальне та мінімальне значення параметра серед повторюваностей чотирнадцятого та двадцять четвертого дослідів визначали за залежностями (4.1)

$$\lim y_{\max} = 150,62 + 1,7(157,14 - 145,88) = 169,76;$$

$$\lim y_{\min} = 57,75 - 1,7(60 - 50,15) = 41.$$

Оскільки залежності $y_{14/1} = 157,14 < \lim y_{\max} = 169,76$ та $y_{24/5} = 50,15 > \lim y_{\min} = 41$ виконуються, отже одна з необхідних умов для подальшого проведення обробки і аналізу експериментальних даних забезпечена.

4.2. Результати багатофакторного експерименту

При проведенні експериментальних досліджень активних плоских ножів дообрізувачів гички були отримані значення функції відгуку при

варіюванні незалежних факторів, величини яких представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Значення функції відгуку та незалежних факторів

№ досліду	Вхідні фактори				Значення критерію оптимізації
	Довжина ходу ножа, мм	Кут заточування, град	Діаметр коренеплоду, мм	Робоча швидкість машини, м/с	Середнє значення сили різання, Н
	L	α	d	V_M	$P_{різ}$
1	60	12	80	2	113,58
2	20	8	80	2	76,88
3	60	8	80	2	78,53
4	20	12	80	2	114,22
5	40	10	100	3	148,58
6	40	10	60	1	91,81
7	40	10	100	1	99,23
8	40	10	60	3	115,91
9	40	10	80	2	97,38
10	60	10	100	2	116,24
11	20	10	60	2	93,52
12	60	10	60	2	95,18
13	20	10	100	2	117,11
14	40	12	80	3	151,92
15	40	8	80	1	77,54
16	40	12	80	1	82,45
17	40	8	80	3	101,18
18	40	10	80	2	95,64
19	60	10	80	3	125,87
20	20	10	80	1	71,54
21	60	10	80	1	72,58
22	20	10	80	3	125,04
23	40	12	100	2	116,34
24	40	8	60	2	56,23
25	40	12	60	2	81,03
26	40	8	100	2	92,47
27	40	10	80	2	95,64

Для проведення подальшого аналізу експериментально отриманих даних необхідно виконання умови на однорідність дисперсій на проведенні досліди, перевірку якої проводили з використанням критерію Кохрена згідно з методикою, яка подана в розділі 3.

Результати розрахунку дисперсій, що обумовлені похибками дослідів, наведено в таблиці 4.2.

Табличне значення критерію Кохрена при рівні значущості 0,05 для даного випадку досліджень рівне $G_{табл} = 0,218$ [120, 121].

Розрахункове значення критерію визначали за залежністю (3.6)

$$G_p = \frac{17,6}{175,9} = 0,1.$$

Оскільки умова $G_p < G_{табл}$ виконується, то гіпотеза про однорідність дослідів підтверджується, що дає можливість проведення аналізу даних, отриманих під час виконання багатofакторного експерименту з дослідження активних плоских ножів дообрізувачів гички.

Обробка експериментальних даних проводилась з використанням регресійного аналізу та стандартного програмного забезпечення для ПК.

Коефіцієнти полінома визначали за формулами (3.9 – 3.11), при яких їх значення становлять:

$$b_0 = 63,23; b_1 = -0,1; b_2 = 23,62; b_3 = -1,79; b_4 = -98,94;$$

$$b_{12} = -0,01; b_{13} = -0,002; b_{14} = -0,003; b_{23} = -0,01; b_{24} = 5,73;$$

$$b_{34} = 0,32; b_{11} = 0,01; b_{22} = -1,33; b_{33} = 0,21; b_{44} = 9,82.$$

Підставивши відповідні значення коефіцієнтів полінома в рівняння регресії, що визначає залежність сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів активним плоским ножом, отримано

Результати розрахунку дисперсій, що обумовлені похибками дослідів при визначенні сили різання плоским активним
ножем головок коренеплодів цукрових буряків

№ дослід	Повторюваність					Середнє значення \bar{y}	Δy_i					σ_i^2
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5		Δy_1	Δy_2	Δy_3	Δy_4	Δy_5	
1	118,25	110,57	111,54	112,22	115,32	113,58	-4,67	3,01	2,04	1,36	-1,74	10
2	80,01	72,39	75,14	73,58	83,28	76,88	-3,13	4,49	1,74	3,3	-6,4	2,1
3	81,25	75,14	79,58	77,98	78,7	78,53	-2,72	3,39	-1,05	0,55	-0,17	5,1
4	116,49	110,57	115,91	116,38	111,75	114,22	-2,27	3,65	-1,69	-2,16	2,47	8
5	151,36	144,55	144,36	149,81	152,82	148,58	-2,78	4,03	4,22	-1,23	-4,24	15,3
6	92,16	95,46	93,28	91,02	87,13	91,81	-0,35	-3,65	-1,47	0,79	4,68	9,5
7	100,89	98,27	99,41	96,57	101,01	99,23	-1,66	0,96	-0,18	2,66	-1,78	3,5
8	119,33	115,69	116,39	117,81	110,33	115,91	-3,42	0,22	-0,48	-1,9	5,58	11,7
9	100	98,23	94,29	97,58	96,80	97,38	-2,62	-0,85	3,09	-0,2	0,58	4,4
10	119,87	124,01	112,83	116,86	107,63	116,24	-3,63	-7,77	3,41	-0,62	8,61	3,9
11	96,12	93,52	94,53	91,87	91,56	93,52	-2,6	0	-1,01	1,65	1,96	3,6
12	94,81	96,36	95,83	97,14	91,76	95,18	0,37	-1,18	-0,65	-1,96	3,42	4,4

Продовження таблиці 4.2

13	123,54	115,71	115,93	117,98	112,39	117,11	-6,43	1,4	1,18	-0,87	4,72	16,9
14	157,14	150,28	153,86	152,44	145,88	151,92	-5,22	1,64	-1,94	-0,52	6,04	17,6
15	80,00	75,36	78,12	76,54	77,68	77,54	-2,46	2,18	-0,58	1	-0,14	3
16	84,25	81,81	80,39	81,83	83,97	82,45	-1,8	0,64	2,06	0,62	-1,52	2,6
17	103,56	100,87	103,25	98,23	99,99	101,18	-2,38	0,31	-2,07	2,95	1,19	5
18	96,25	94,53	95,20	97,43	94,79	95,64	-0,61	1,11	0,44	-1,79	0,85	1,4
19	129,37	124,53	125,60	124,64	125,21	125,87	-3,5	1,34	0,27	1,23	0,66	4
20	73,91	70,69	72,95	71,63	68,52	71,54	-2,37	0,85	-1,41	-0,09	3,02	4,4
21	73,61	74,03	73	74,32	67,94	72,58	-1,03	-1,45	-0,42	-1,74	4,64	6,9
22	130,67	120,63	124,97	123,47	125,46	125,04	-5,63	4,41	0,07	1,57	-0,42	13,4
23	118,26	115,91	116,38	114,93	116,22	116,34	-1,92	0,43	-0,04	1,41	0,12	1,47
24	60	56,28	57,33	57,39	50,15	56,23	-3,77	-0,05	-1,1	-1,16	6,08	13,4
25	80,64	80,09	82,64	81,55	80,23	81,03	0,39	0,94	-1,61	-0,52	0,8	1,1
26	93,76	91,49	90,36	93,83	92,91	92,47	-1,29	0,98	2,11	-1,36	-0,44	2,3
27	96,28	94,69	95,37	94,91	96,95	95,64	-0,64	0,95	0,27	0,73	-1,31	1

$$y = 63,23 - 0,1x_1 + 23,62x_2 - 1,79x_3 - 98,94x_4 - 0,01x_1x_2 - 0,002x_1x_3 - 0,003x_1x_4 - 0,01x_2x_3 + 5,73x_2x_4 + 0,32x_3x_4 + 0,01x_1^2 - 1,33x_2^2 + 0,21x_3^2 + 9,82x_4^2, \quad (4.2)$$

де x_1, x_2, x_3, x_4 – кодовані значення факторів.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії математичної моделі проводили за допомогою критерію Ст'юдента та визначали згідно з методикою, що подана в розділі 3.

Згідно проведених розрахунків коефіцієнти $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{11}$ є не значимі, тому їх приймали такими, що дорівнюють нулю, а відповідні їм члени рівняння виключали.

Таким чином, рівняння регресії, що визначає значення сили різання $P_{риз}$ головок коренеплодів плоским активним ножом має вигляд

$$y = 63,23 - 0,1x_1 + 23,62x_2 - 1,79x_3 - 98,94x_4 + 5,73x_2x_4 + 0,32x_3x_4 - 1,33x_2^2 + 0,21x_3^2 + 9,82x_4^2. \quad (4.3)$$

Перевірку адекватності вибраної математичної моделі експериментально отриманим даним виконували за критерієм Фішера. Дисперсію адекватності визначали за формулою (3.16)

$$F = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2} = 1,5.$$

Згідно з розрахунками програмного забезпечення для ПК критерій Фішера для даних умов дослідження дорівнює $F = 1,576$ (додаток Г).

Для знаходження табличного значення критерію Фішера необхідно було визначити число ступенів вільності дисперсії адекватності f_{ag} та число ступенів вільності дисперсії відтворюваності f_y за формулами [32, 66, 105, 120, 121]

$$f_{ag} = N - g' - 1; \quad (4.4)$$

$$f_y = N(n-1),$$

де g' – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії;
 n – число повторень експерименту.

Підставивши відповідні значення у формулу (4.4), отримано, що $f_{ag} = 12$, $f_y = 108$. Використовуючи табличні дані, знаходимо значення критерію Фішера при рівні значимості 0,05 [66, 120] та порівнюємо його з умовою (3.17)

$$F_T(0,05; f_{ag}; f_y) = 1,85 > F = 1,576.$$

Враховуючи те, що умова (3.17) виконується, отримане рівняння регресійної залежності сили різання головок коренеплодів від чотирьох вхідних факторів (4.3) адекватно відтворює експериментально отримані дані.

У натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (4.3) згідно з рівнянням (3.1) має вигляд

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i \left(\frac{x_i - x_{0i}}{I_i} \right) + b_2 \left(\frac{x_2 - x_{02}}{I_2} \right) + b_3 \left(\frac{x_3 - x_{03}}{I_3} \right) + b_4 \left(\frac{x_4 - x_{04}}{I_4} \right) + b_{24} \left(\frac{x_2 - x_{02}}{I_2} \right) \cdot \left(\frac{x_4 - x_{04}}{I_4} \right) + \quad (4.5)$$

$$+ b_{34} \left(\frac{x_3 - x_{03}}{I_3} \right) \cdot \left(\frac{x_4 - x_{04}}{I_4} \right) + b_{22} \left(\frac{x_2 - x_{02}}{I_2} \right)^2 + b_{33} \left(\frac{x_3 - x_{03}}{I_3} \right)^2 + b_{44} \left(\frac{x_4 - x_{04}}{I_4} \right)^2.$$

Для переходу від кодованих до натуральних значень змінних факторів враховували величину основного рівня (табл. 3.1), та визначали інтервали варіювання згідно з залежністю (3.3):

– для довжини ходу ножа L

$$I_1 = \frac{60 - 20}{2} = 20;$$

– для кута заточування a

$$I_2 = \frac{12-8}{2} = 2;$$

– для діаметра коренеплоду d_k

$$I_3 = \frac{100-60}{2} = 20;$$

– для робочої швидкості машини V_m

$$I_4 = \frac{3-1}{2} = 1.$$

Після підстановки відповідних значень інтервалів варіювання та основних рівнів для кожного із факторів у (4.5), отримано рівняння регресії

$$\begin{aligned} y = & 63,23 - 0,1\left(\frac{L-40}{20}\right) + 23,62\left(\frac{a-10}{2}\right) - 1,79\left(\frac{d_k-80}{20}\right) - 98,94\left(\frac{V_m-2}{1}\right) + \\ & + 5,73\left(\frac{a-10}{2}\right) \cdot \left(\frac{V_m-2}{1}\right) + 0,32\left(\frac{d_k-80}{20}\right) \cdot \left(\frac{V_m-2}{1}\right) - 1,33\left(\frac{a-10}{2}\right)^2 + \\ & + 0,21\left(\frac{d_k-80}{20}\right)^2 + 9,82\left(\frac{V_m-2}{1}\right)^2. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Регресійна залежність сили різання P_{piz} головок коренеплодів цукрових буряків активним плоским ножом від дійсних значень факторів запишеться

$$\begin{aligned} P_{piz} = & 219,62 - 0,5L + 12,73a - 0,206d_k - 168,15V_m + 2,865aV_m + \\ & + 0,016d_kV_m - 0,332a^2 + 0,001d_k^2 + 9,82V_m^2. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Аналіз результатів обробки експериментальних даних було проведено в наступній послідовності:

- 1) визначено ступені впливу та ефект взаємовпливу факторів на критерій оптимізації;
- 2) проведено графічний аналіз експериментально отриманих даних;
- 3) визначено оптимальні значення факторів для забезпечення оптимізації процесу різання активним плоским ножом згідно з вибраним критерієм.

Провівши аналіз регресійної залежності (4.7) встановлено, що найбільше впливає на результуючу величину сили різання $P_{риз}$ головок коренеплодів активним плоским ножом кут його заточування α , робоча швидкість машини V_m та діаметр коренеплоду d_k . Довжина ходу ножа L чинить менший вплив.

Графічний аналіз експериментально отриманої регресійної залежності (4.7) виконувався за допомогою поверхонь відгуку та їх двомірних перетинів, які характеризують зміну величини сили різання $P_{риз}$ від впливу та ефекту взаємовпливу факторів на критерій оптимізації.

В результаті проведення експериментальних досліджень (загальна кількість дослідів становила $N = 135$) активного плоского ножа дообрізувача залишків гички цукрових буряків встановлено, що за характером поверхні зрізу коренеплоди з гладкою, прямою поверхнею зрізу, а також зі сколами, впадинами, ступенями до 1 см складають 97% від загальної кількості обрізаних головок. Пошкоджені коренеплоди (ступінчаста та непрямолінійна поверхня зрізу) становлять 3%.

Аналіз стану головок коренеплодів цукрових буряків після дообрізування залишків гички дозволив зробити висновок про те, що розроблений механізм дообрізувача з активним плоским ножом виконує технологічний процес очищення головок коренеплодів в межах встановлених агротехнічних вимог до процесу збирання буряків.

4.3. Вплив сукупності незалежних факторів на результуючу величину сили різання

Вплив довжини ходу ножа та його кута заточування на величину сили різання. За результатами проведених експериментальних досліджень активних плоских ножів побудовано поверхні відгуків та їх двомірні перетини залежності сили різання $P_{риз}$ від сукупності факторів, які чинять вплив на виконання технологічного процесу дообрізування головок коренеплодів цукрових буряків (рис. 4.1 – 4.6).

Регресійна залежність довжини ходу ножа та його кута заточування на величину сили різання запишеться

$$P_{риз} = -215,49 + 0,57L + 54,43\alpha - 0,005L^2 - 0,01L\alpha - 2,32\alpha^2, \quad (4.8)$$

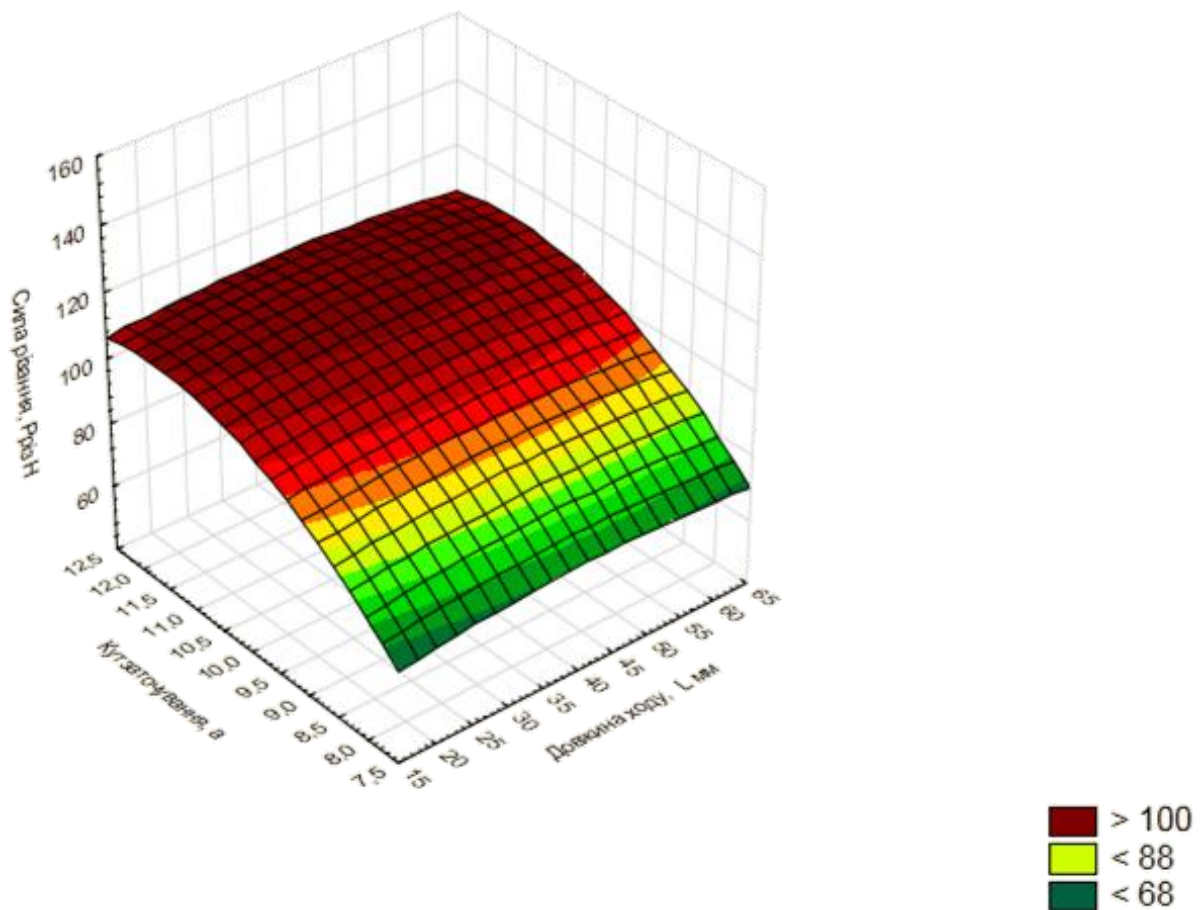
де L – довжина ходу ножа, мм;

α – кут заточування, град.

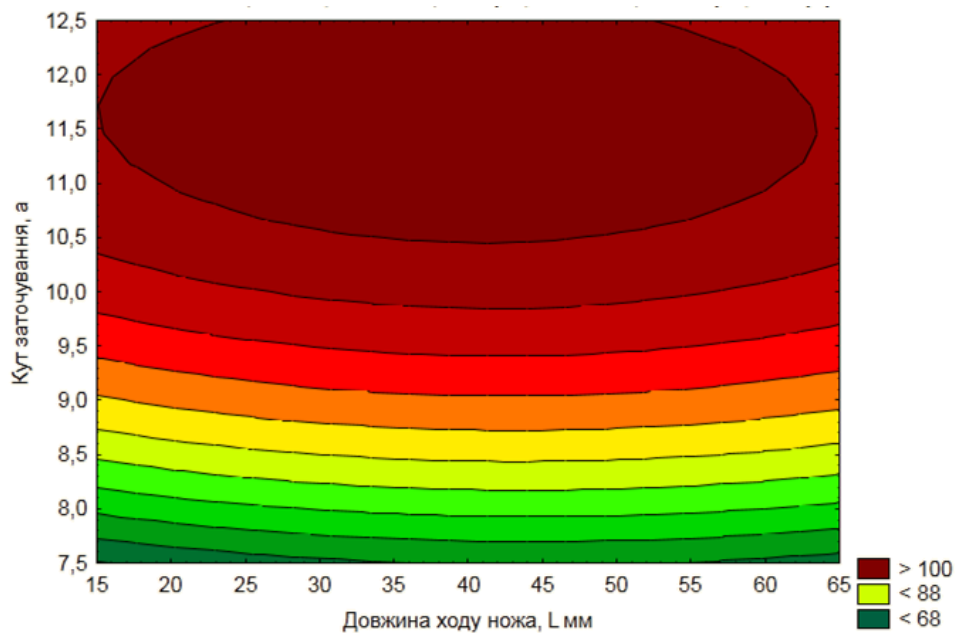
Поверхня відгуку сили різання та її двомірний перетин зображені на рис. 4.1.

Рівняння (4.8) вказує на значний вплив кута заточування плоского ножа α і відносно меншу ступінь впливу довжини ходу ножа L на критерій оптимізації. Ефект взаємовпливу від вказаних вхідних факторів на результуючу величину сили різання є незначним.

Аналіз поверхні відгуку та її двомірного перетину (рис. 4.1) вказує на те, що довжина ходу активного ножа L впливає в незначній мірі на значення результуючої сили різання $P_{риз}$. Для діапазону величини ходу ножа від 15 мм до 65 мм при $L = 35 - 55$ мм спостерігається незначне зменшення сили різання.



а)



б)

Рис. 4.1. Поверхня відгуку (а) та її двомірний перетин (б) залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від довжини ходу ножа L та його кута заточування α

При збільшенні кута заточування α , який впливає на товщину леза ($t_r(\alpha)$ – функція залежності товщини леза від його кута заточування) спостерігається збільшення результуючої сили різання. Мінімальне значення $P_{різ}$ набуває при найменшій величині кута заточування. З конструктивної точки зору, мінімальне значення кута заточування α , яке можливо забезпечити становить $\alpha = 8^\circ$.

Найменше значення сили різання $P_{різ}$ в залежності від взаємовпливу кута заточування та довжини ходу активного ножа спостерігається при $\alpha = 8^\circ$ і $L = 48$ мм.

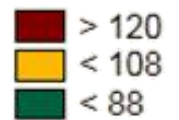
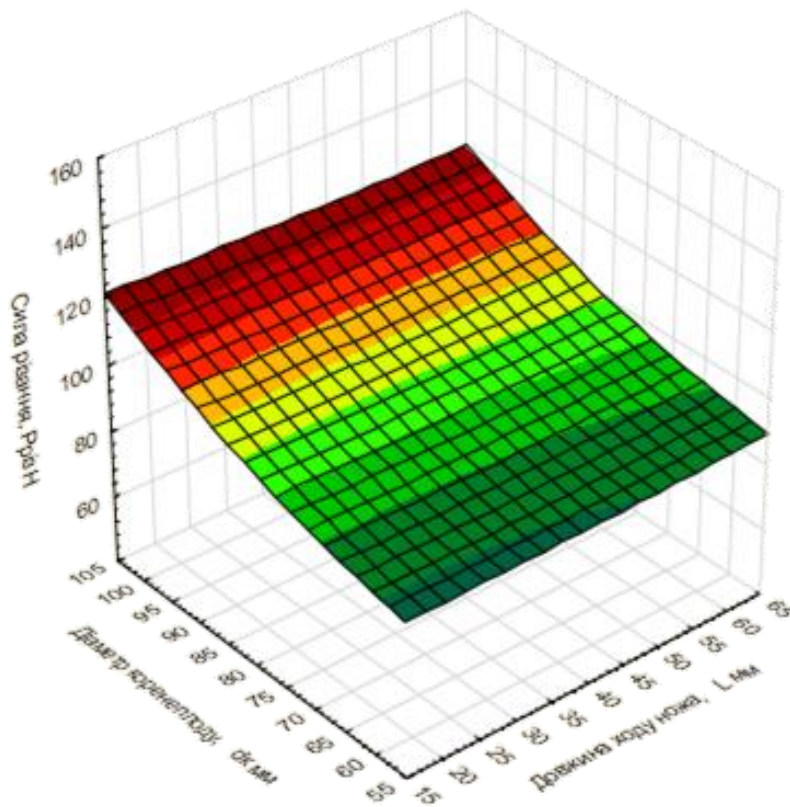
Вплив довжини ходу ножа та діаметрів коренеплодів на значення результуючої сили різання. Після проведення лабораторних досліджень активних плоских ножів та статистичної обробки отриманих результатів, рівняння впливу довжини ходу ножа та діаметра коренеплодів на величину сили різання запишеться

$$P_{різ} = 96,98 + 0,05L - 0,64d_k + 0,01L^2 - 0,001Ld_k + 0,01d_k^2, \quad (4.9)$$

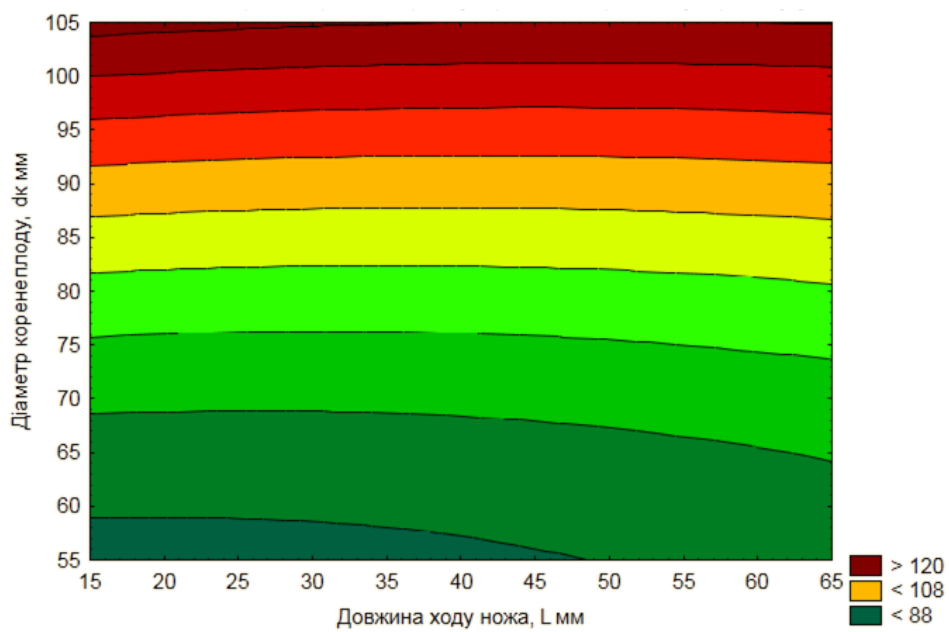
де d_k – діаметр коренеплоду, мм.

Поверхня відгуку сили різання та її двомірний перетин зображені на рис 4.2. Залежність (4.9) вказує на те, що ступінь впливу діаметра коренеплоду d_k у порівнянні з довжиною ходу активного ножа L на результуючу силу різання $P_{різ}$ є дещо вищою. Ефект взаємовпливу даних факторів на критерій оптимізації незначний.

Проведений аналіз поверхні відгуку та її двомірного перетину залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від довжини ходу ножа L та діаметра коренеплодів d_k (рис. 4.2) вказує на те, що при збільшенні діаметра коренеплоду d_k збільшується результуюча сила різання $P_{різ}$, що підтверджується залежністю (2.12), оскільки збільшується довжина різання $d_{рк}$.



а)



б)

Рис. 4.2. Поверхня відгуку (а) та її двомірний перетин (б) залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплідів від довжини ходу ножа L та діаметру коренеплідів d_k

Мінімальне значення сили різання спостерігається при найменшому діаметрі цукрового буряка. Зі збільшенням довжини ходу активного плоского ножа L спостерігається зменшення сили різання, яка набуває свого мінімального значення при $L = 48$ мм.

Вплив довжини ходу ножа та робочої швидкості машини на значення сили різання. Проведена статистична обробка результатів багатofакторного експерименту дозволила записати рівняння регресійної залежності сили зрізування гички з головок коренеплодів цукрових від довжини ходу ножа та робочої швидкості бурякозбирального агрегату.

$$P_{риз} = 94,22 - 0,33L - 17,72V_m + 0,004L^2 - 0,003LV_m + 9,65V_m^2, \quad (4.10)$$

де V_m – робоча швидкість машини, м/с.

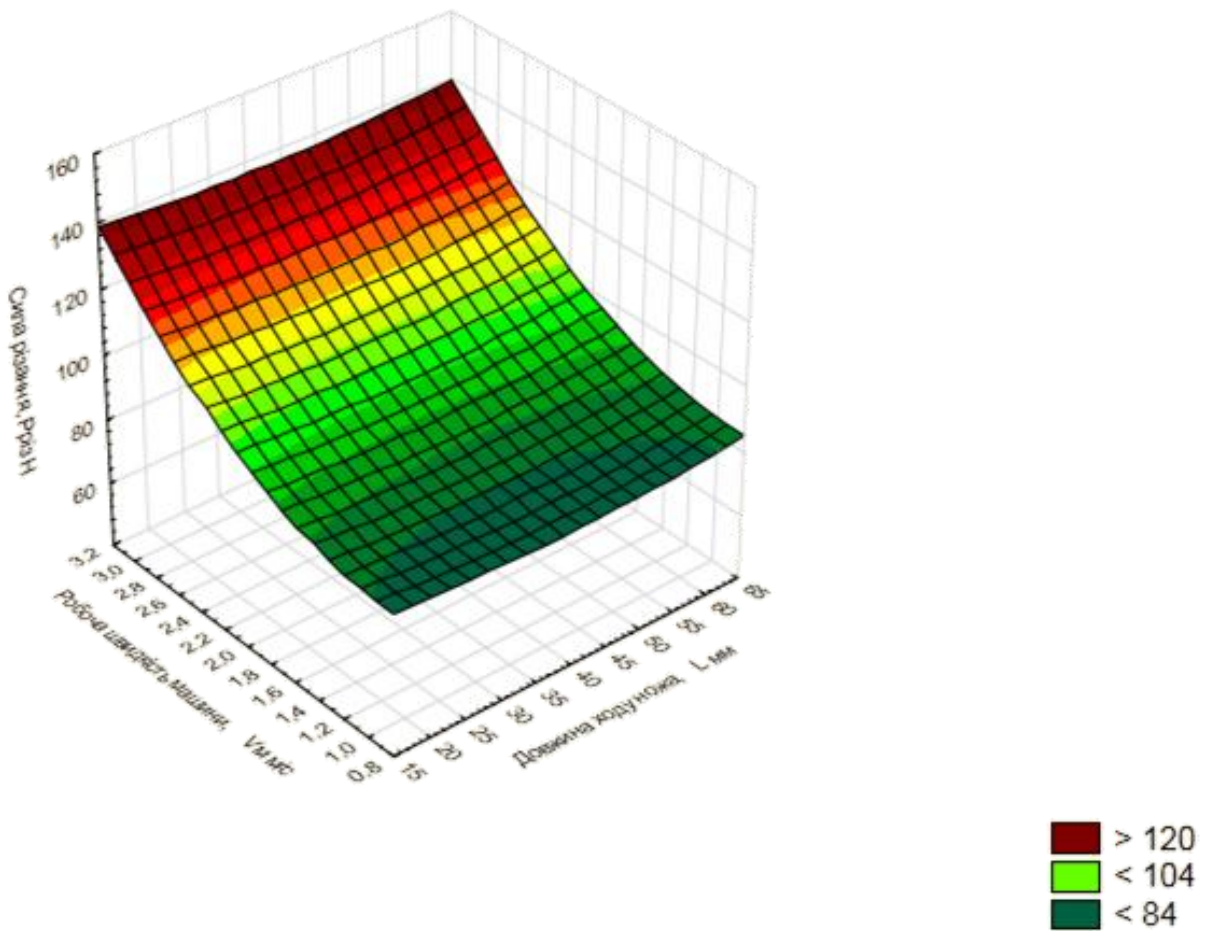
Поверхня відгуку сили різання та її двомірний перетин зображені на рис. 4.3.

З рівняння регресійної залежності сили різання від довжини ходу ножа та робочої швидкості машини (4.10) можливо визначити ступінь впливу факторів та ефекту їх взаємовпливу на критерій оптимізації.

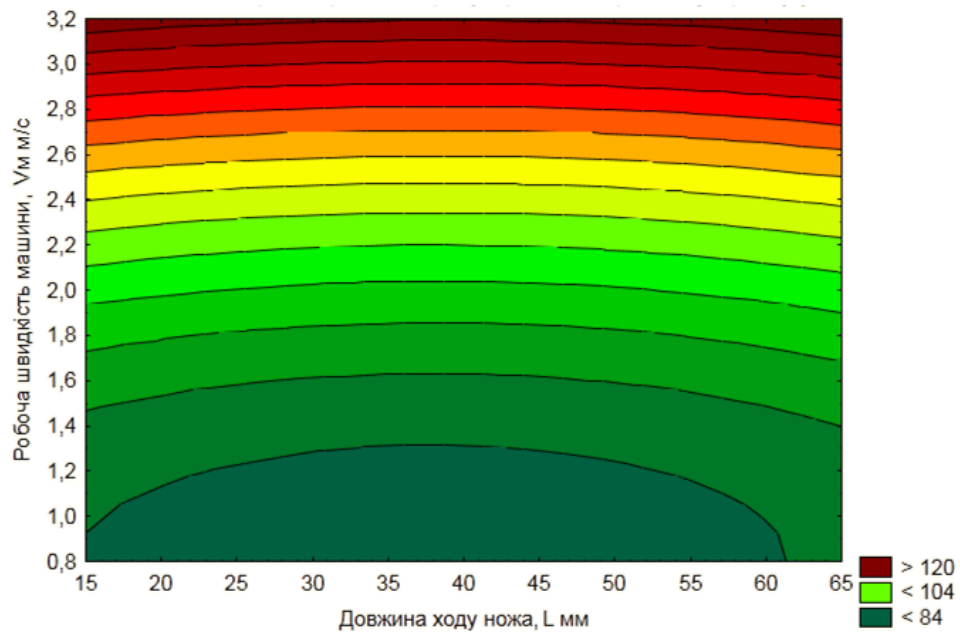
Проаналізувавши залежність (4.10) встановлено, що ступінь впливу робочої швидкості машини V_m в порівнянні із довжиною ходу ножа L на величину сили різання $P_{риз}$ є значно вищою.

Аналіз поверхні відгуку та її двомірного перетину залежності сили різання $P_{риз}$ головок коренеплодів від довжини ходу ножа L та робочої швидкості машини V_m (рис. 4.3) вказує на те, що домінуючим фактором, який впливає на результуюче значення сили різання є швидкість машини.

Зі збільшенням робочої швидкості бурякозбирального агрегату V_m збільшується результуюча сила різання $P_{риз}$ головок коренеплодів.



а)



б)

Рис. 4.3. Поверхня відгуку (а) та її двомірний перетин (б) залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від довжини ходу ножа L та робочої швидкості машини V_m

Результати, отримані з графічного аналізу рис. 4.3, підтверджують аналітичні залежності (2.14) та (2.15).

Регламентована робоча швидкість бурякозбирального агрегату при виконанні технологічного процесу збирання коренеплодів цукрових буряків становить $V_m = 2$ м/с. Мінімальне значення сили різання $P_{риз}$ при швидкості бурякозбирального агрегату $V_m = 0,8 - 1,9$ м/с забезпечується при довжині ходу ножа $L = 40 - 62$ мм.

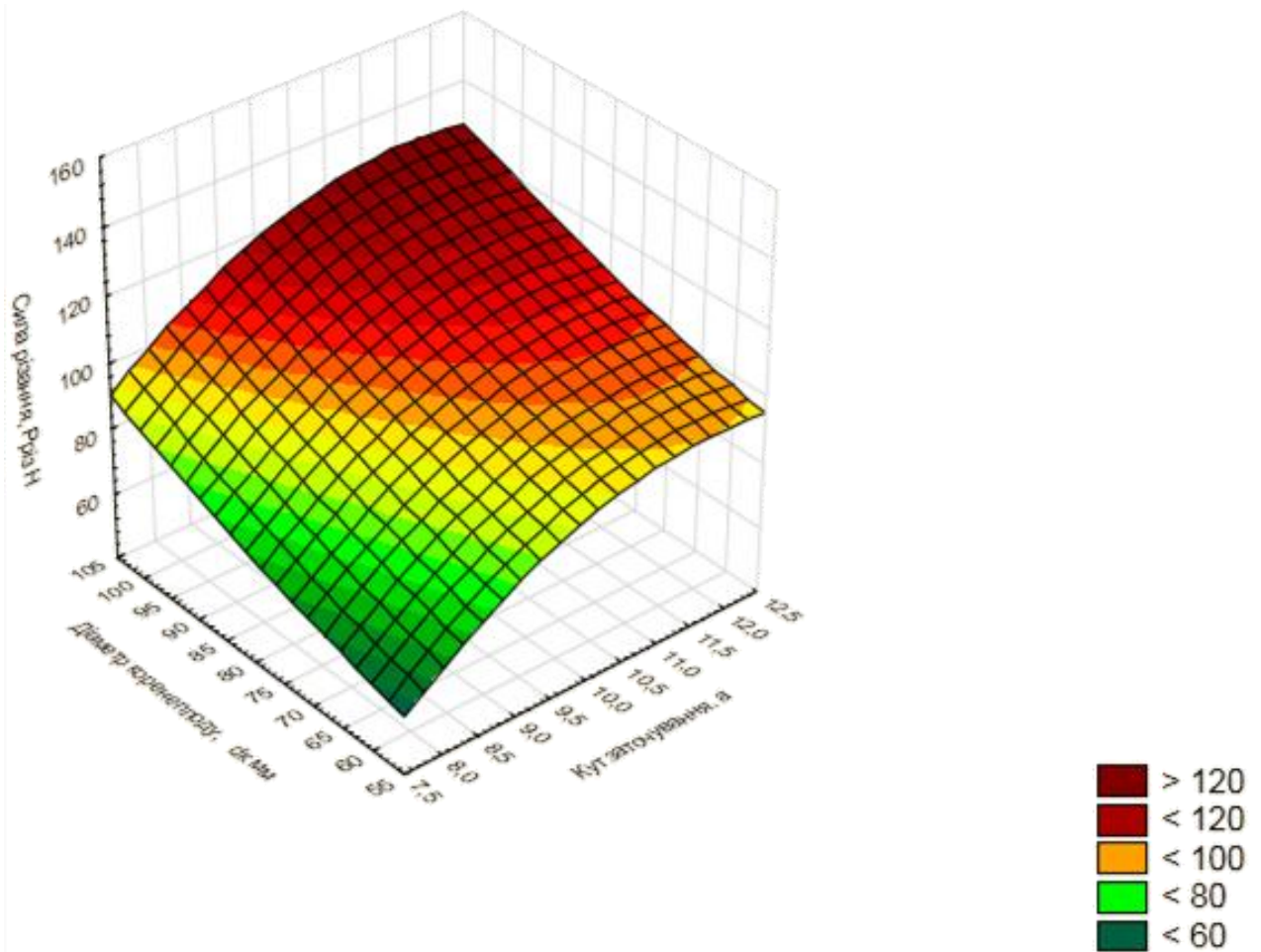
Вплив кута заточування плоского ножа та діаметру коренеплодів на величину сили різання. Залежність сили різання від кута заточування плоского ножа та діаметру коренеплодів запишеться

$$P_{риз} = -215,91 + 50,67\alpha + 0,07d_k - 2,14\alpha^2 - 0,01ad_k + 0,004d_k^2. \quad (4.11)$$

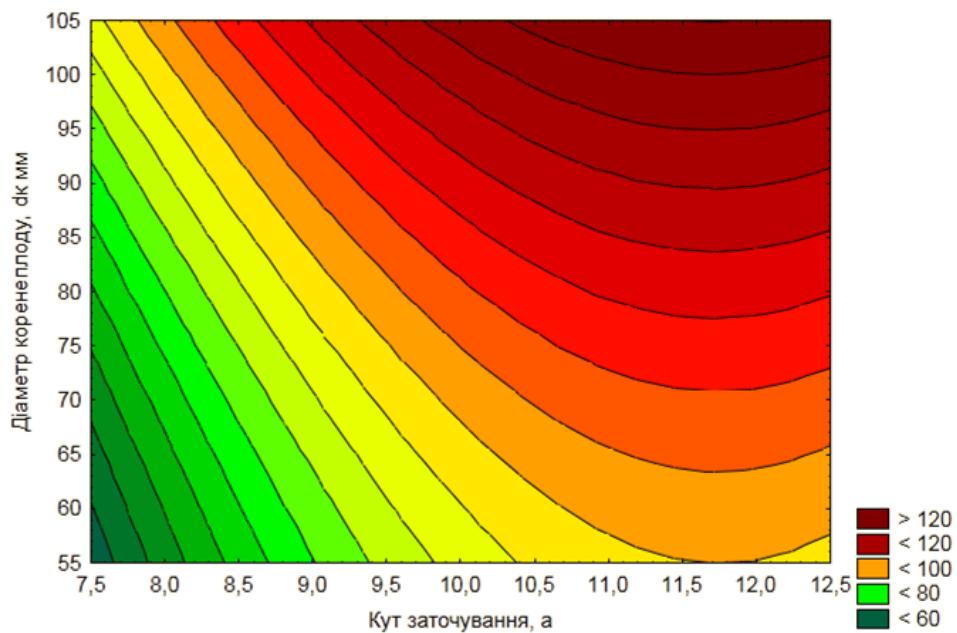
Поверхня відгуку сили різання та її двомірний перетин від дії даних факторів зображені на рис. 4.4.

Проаналізувавши залежність (4.11), можна зробити висновок про те, що кут заточування плоского ножа α чинить більший вплив на результуючу силу різання ніж діаметр коренеплоду d_k . Ефект від взаємовпливу цих факторів на критерій оптимізації є мінімальним, оскільки величина коефіцієнта, що входить у рівняння регресії (4.11), та відповідає за взаємодію даних факторів, є незначною.

Аналіз поверхні відгуку та її двомірного перетину залежності сили різання $P_{риз}$ головок коренеплодів буряків від кута заточування активного плоского ножа α та діаметру коренеплодів d_k (рис. 4.4) вказує на те, що при сталому діаметрі коренеплоду на величину результуючої сили впливає лише кут заточування, мінімальне значення якого становить $\alpha = 8^\circ$.



а)



б)

Рис. 4.4. Поверхня відгуку (а) та її двомірний перетин (б) залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від кута заточування плоского ножа α та діаметру коренеплодів d_k

Вплив кута заточування плоского ножа та робочої швидкості машини на величину сили різання. Регресійна залежність сили різання головок коренеплодів цукрових буряків від кута заточування плоского ножа та робочої швидкості машини має вигляд

$$P_{риз} = -56,32 + 32,5\alpha - 65,87V_m - 1,83\alpha^2 + 5,73\alpha V_m + 7,84V_m^2. \quad (4.12)$$

Поверхня відгуку сили різання та її двомірний перетин зображені на рис. 4.5.

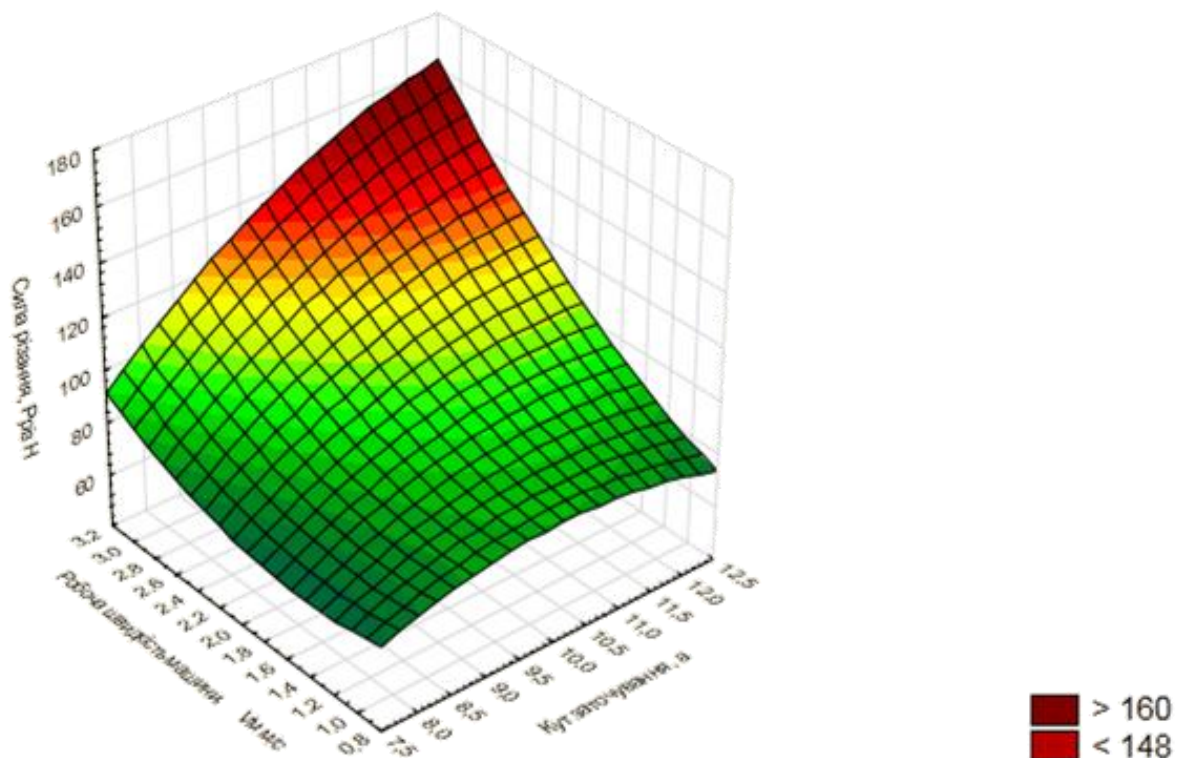
Коефіцієнти рівняння регресії (4.12) вказують на ступінь впливу та ефекту взаємовпливу вхідних факторів на результуючу величину сили різання $P_{риз}$. Робоча швидкість машини V_m та кут заточування плоского ножа α суттєво впливають на значення цієї сили. Із збільшенням швидкості руху машини зростають і напруження, які виникають в зоні різання під час виконання технологічного процесу доочищення головок коренеплодів від залишків гички. Кут заточування плоского ножа знаходиться у функціональній залежності від його товщини.

Мінімальне значення сила різання $P_{риз}$ набуває при куті заточування плоского ножа $\alpha = 8^\circ$ та робочій швидкості машини V_m в діапазоні від 0,8 до 1,9 м/с.

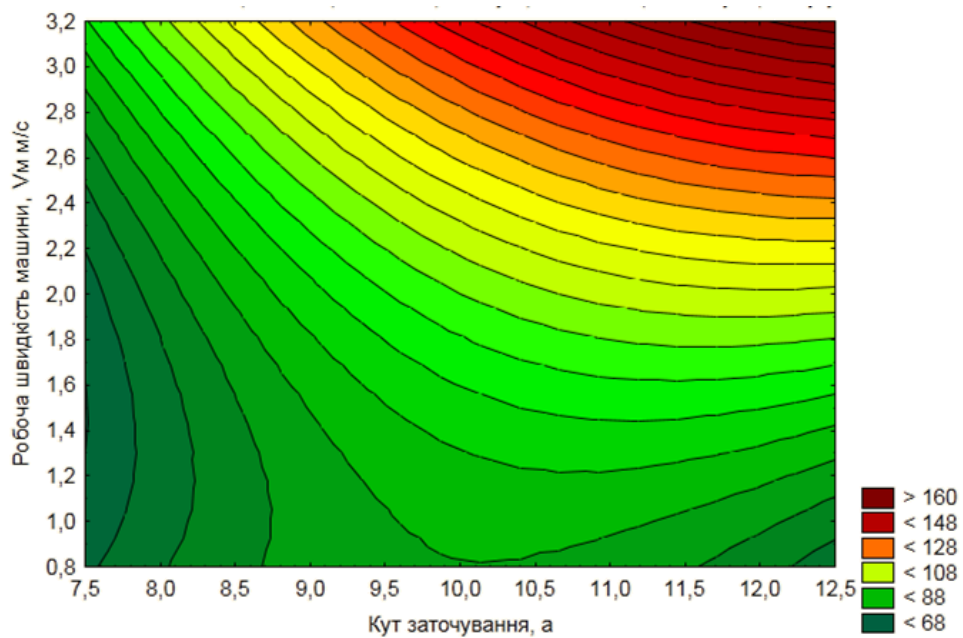
Вплив діаметру коренеплодів та робочої швидкості машини на величину сили різання. Залежність сили різання від діаметру коренеплодів та робочої швидкості машини запишеться

$$P_{риз} = 173,59 - 2,13d_k - 44V_m + 0,01d_k^2 + 0,32d_k V_m + 10,38V_m^2. \quad (4.13)$$

Поверхня відгуку сили різання та її двомірний перетин зображені на рис. 4.6. Аналіз рівняння регресійної залежності сили різання від діаметрів коренеплодів та робочої швидкості машини (4.13) вказує на те, що ступінь впливу робочої швидкості машини V_m порівно із впливом діаметру буряків d_k на величину сили різання $P_{риз}$, є значно вищою.

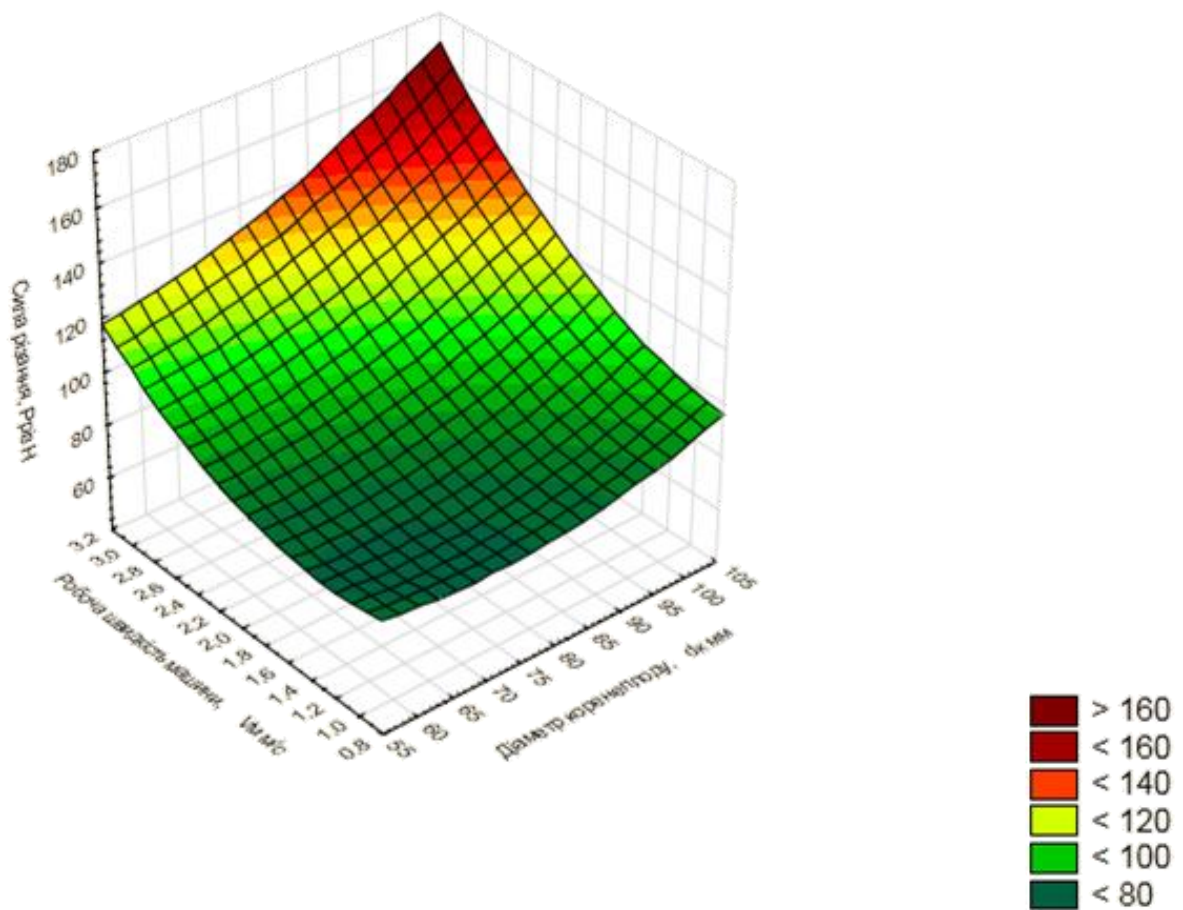


а)

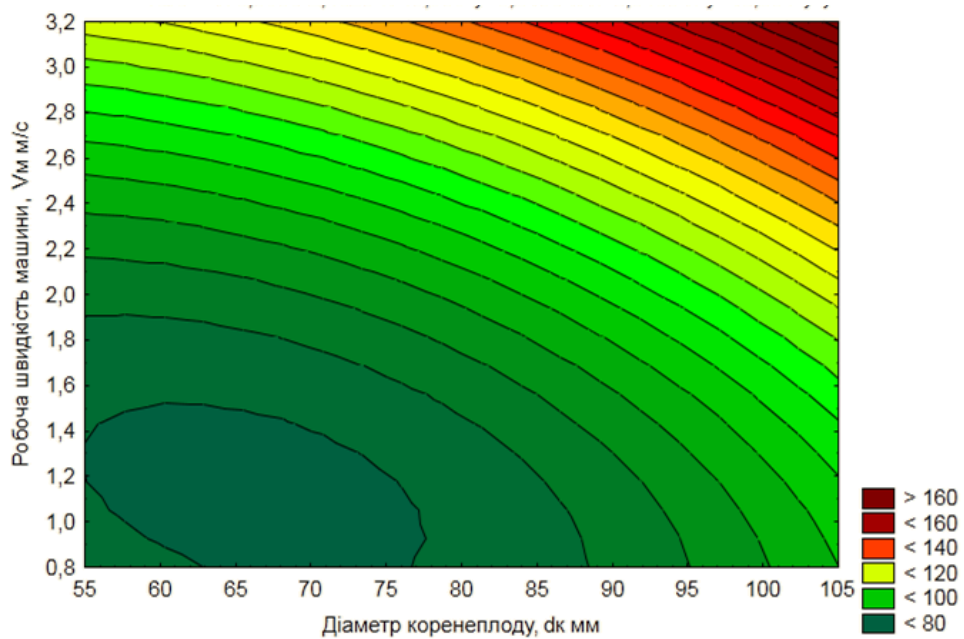


б)

Рис. 4.5. Поверхня відгуку (а) та її двомірний перетин (б) залежності сили різання $P_{риз}$ головок коренеплодів від кута заточування плоского ножа α та робочої швидкості машини V_m



а)



б)

Рис. 4.6. Поверхня відгуку (а) та її двомірний перетин (б) залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від діаметрів коренеплодів d_k та робочої швидкості машини V_m

Проаналізувавши поверхню відгуку та її двомірний перетин залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від діаметра коренеплодів d_k та робочої швидкості машини V_m (див. рис. 4.6), встановлено, що зі збільшенням робочої швидкості бурякозбирального агрегату V_m та діаметру коренеплодів d_k збільшується результуюча сила різання $P_{різ}$.

Мінімальне значення сили різання $P_{різ}$ не залежно від діаметра коренеплодів забезпечується при робочій швидкості бурякозбирального агрегату $V_m = 0,8 - 1,9$ м/с.

4.4. Результати лабораторних досліджень корозійної стійкості сталей у розчині соку цукрових буряків

Корозійні випробування матеріалів Сталь 25 та Ст. 3 в розчині соку цукрових буряків проводили згідно з методикою наведеною в розділі 3. У результаті даних експериментальних досліджень отримано значення глибинного показника корозії I , які представлено в табл. 4.3 [82].

Таблиця 4.3

Значення глибинного показника швидкості корозії сталей в розчині соку цукрових буряків

Матеріал \ Час	I , mm/year			
	1 доба	7 діб	12 діб	24 доби
Ст. 3	0,117	0,078	0,09	0,088
Сталь 25	0,125	0,072	0,074	0,068

Сталь звичайної якості Ст. 3 кородує швидше ніж вуглецева якісна конструкційна Сталь 25. Під час першої доби дослідження спостерігається незначне збільшення глибинного показника Π у якісній сталі порівняно зі сталлю звичайної якості. Збільшення часу експозиції веде до суттєвого зменшення швидкості корозії і через 7 діб швидкості корозії Сталь 25 і Ст. 3 в середовищі соку цукрових буряків практично зрівнюються. Після 24 діб експозиції спостерігається зниження глибинного показника швидкості корозії у порівнянні з 12 добами в обох групах сталей.

Поодинокі локальні корозійні пошкодження, які спостерігались на сталях є результатом утворення гальванічних пар внаслідок налипання на поверхню твердих залишків цукрових буряків.

За результатами проведених досліджень побудовані графічні залежності кінетики встановлення стаціонарного потенціалу для матеріалів (рис. 4.7).

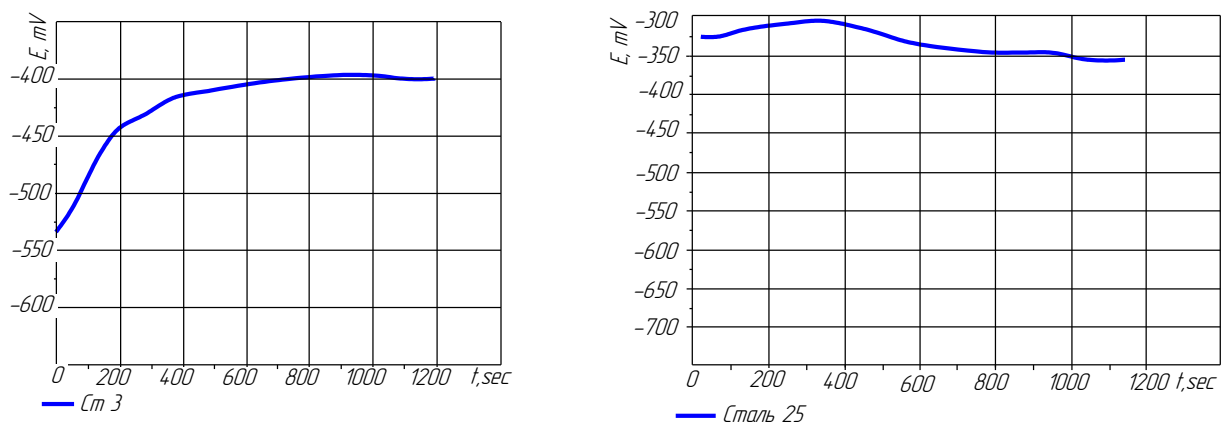


Рис. 4.7. Кінетика встановлення стаціонарного потенціалу Ст. 3 та Сталі 25

У середовищі соку цукрових буряків потенціал корозії встановлюється протягом 15–20 min і для Сталь 25 зсунутий в бік менш від'ємних значень порівняно із Ст. 3 (див. рис. 4.7).

Характер поляризаційних кривих на зразках обох груп сталей є подібним (рис. 4.8). Катодна крива сталі Ст. 3 знаходиться в діапазоні потенціалів $-600 \dots -1200$ mV, а граничний дифузійний струм становить $2 \cdot 10^{-2}$ A/cm². Для Сталь 25 катодна крива розміщується в меншому діапазоні потенціалів ($-1000 \dots -1060$ mV) і дифузійний струм складає $7 \cdot 10^{-2}$ A/cm².

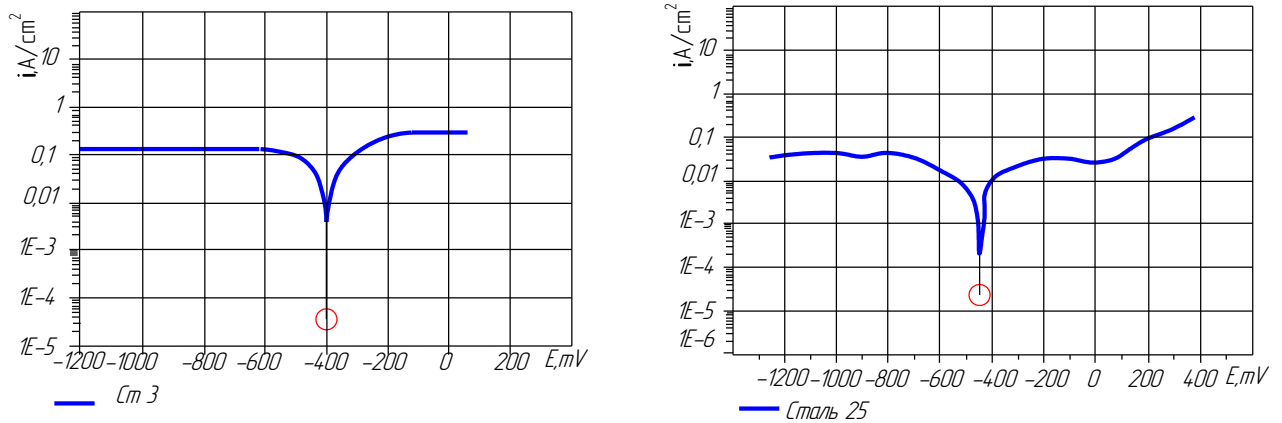


Рис. 4.8. Поляризаційні криві Ст. 3 та Сталі 25

Анодні криві даних сталей знаходяться у діапазонах потенціалів: Ст. 3 – $-300 \dots -380$ mV; Сталь 25 – $-360 \dots -420$ mV.

Миттєві значення струмових показників швидкостей корозії (табл. 4.4) перераховані за формулою 3.20, задовільно корелюють із величинами швидкостей, отриманими масометрично за першу добу експозиції при умові, що ступінь окислення заліза становитиме 3^+ (табл. 4.5).

Таблиця 4.4

Електрохімічні характеристики сталей в розчині соку цукрових буряків

Матеріал	$-E_{st}, \text{mV}$	$i_{cor} \cdot 10^5 \text{ A/cm}^2$	b_c, mV	b_a, mV
Ст. 3	401	4,1	21,3	18,3
Сталь 25	452	2,9	36,2	30

Таблиця 4.5

Співставлення швидкостей корозії сталей, отриманих гравіметрично ($K_m, \text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$), електрохімічно ($i_{cor}, \text{A/cm}^2$) та перерахованих зі струмових показників ($K_i, \text{cm}^2 \cdot \text{s}$) у розчині соку цукрових буряків

Матеріал	$K_m \cdot 10^9$	$i_{cor} \cdot 10^5$	$K_i \cdot 10^9$
Ст. 3	3,50	4,10	7,80
Сталь 25	3,20	2,80	5,76

Проведені дослідження вказують на незначну корозійну агресивність соку цукрових буряків на сталі звичайної якості і якісні сталі. Швидкість корозії сталі звичайної якості Ст. 3 є дещо вищою у порівнянні із Сталлю 25. Значення глибинного показника швидкості корозії Ст. 3 є більшим за величиною ніж у Сталь 25.

4.5. Результати лабораторних досліджень НДС активного плоского ножа дообрізувача гички та порівняння теоретичних і експериментальних даних

Згідно методик до проведення тензонометричних вимірювань, перед початком проведення тензонометрування з використанням аналітичного розрахунку визначаємо ділянки дії максимальних напружень в конструкції та у відповідних перетинах наклеюємо тензодатчики [69].

Значення напружень σ , які виникають на активному плоскому ножі в місцях кріплення його до блоку привода при виконанні технологічного процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень з використанням лабораторного стенду та тензонометричного обладнання подано в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Результати експериментального та теоретичного значення напружень σ

№ датчика	Напруження, σ , МПа		
	Середньомаксимальні	Максимальні	Теоретичні
Датчик 1	42,8	69,3	72,03
Датчик 2	58,2	78,5	

Проаналізувавши значення напружень поданих у табл. 4.6 встановлено, що розбіжності між величинами отриманими з використанням аналітичних залежностей (2.32–2.33) та при проведенні експериментальних досліджень знаходяться в допустимих межах (менше 3%), що дає змогу стверджувати про правильність запису математичних формул для визначення НДС активного плоского ножа при виконанні ним технологічного процесу дообрізування головок.

Для підтвердження відповідності виведених аналітичних залежностей для визначення сили різання $P_{різ}$, яка необхідна для дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків активним плоским ножом, експериментально отриманим значенням, необхідним є порівняння даних отриманих за допомогою аналітичних розрахунків та в результаті проведення стендових випробувань.

Для побудови графічної залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від довжини ходу активного плоского ножа L при фіксованих значеннях швидкості руху бурякозбирального агрегату $v_m = 2$ м/с, діаметру коренеплодів $d_k = 100$ мм, куті заточування плоского ножа $\alpha = 8^\circ$ використовуємо дані з табл. 4.7, які отримані за залежністю (2.17) та в результаті проведення багатofакторного експериментального дослідження.

Таблиця 4.7

Дані аналітичного та експериментального визначення сили різання $P_{різ}$

L , мм	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$P_{різ}$, Н (аналіт.)	87,3	86,1	85,1	84,42	83,95	83,57	83,59	83,81	84,37	85,13	86,04
$P_{різ}$, Н (експ.)	95,16	94,97	94,5	93,78	93,27	92,47	92,67	93,1	93,24	93,76	93,97
Відносна похибка результату, %	8	9	10	10	9	10	10	10	10	9	8

На рис. 4.9 зображена графічна залежність між експериментальними та теоретичними значеннями сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів цукрових буряків від довжини ходу активного плоского ножа L ($v_m = 2$ м/с, $d_k = 100$ мм, $\alpha = 8^\circ$).

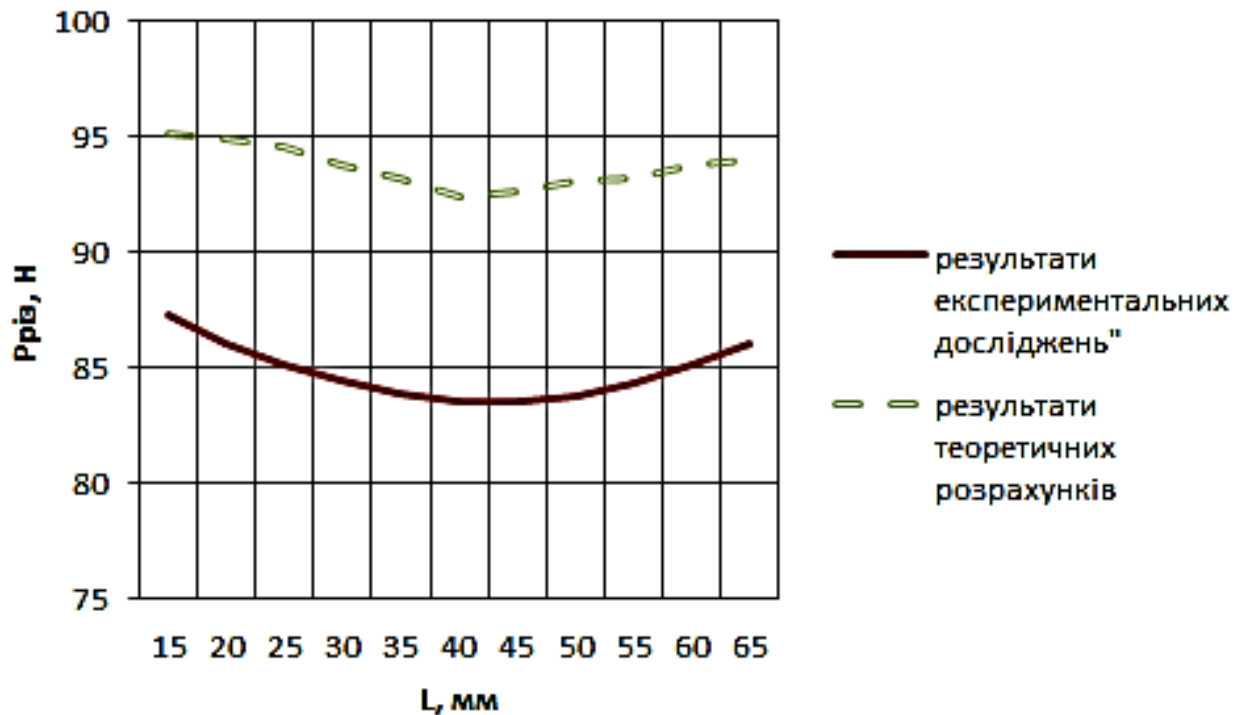


Рис. 4.9. Залежність сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів цукрових буряків від довжини ходу активного плоского ножа L

Розбіжність теоретичних та експериментальних значень сили різання в інтервалі зміни довжини ходу ножа $L = 15 - 65$ мм знаходиться в межах 8–10%, тобто аналітична залежність (2.17) реально описує процес дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків. Отримані результати досліджень можуть бути використані для обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розроблюваного механізму дообрізувача залишків гички цукрових буряків.

4.6. Інженерна методика удосконалення конструкції дообрізувача гички активного типу

Забезпечення інтегральних показників надійності с/г машин досягається застосуванням технологій, які дозволяють підвищити міцнісні характеристики їх робочих поверхонь.

Найбільш поширеними способами підвищення довговічності ріжучих деталей, які використовуються при їх виготовленні, є зміна властивостей і хімічного складу матеріалу, поверхневе хіміко-термічне зміцнення, наплавлення твердими сплавами, термічна обробка та інше [28].

В бурякозбиральних комплексах абразивному зношуванню піддаються робочі органи викопуючих пристроїв та гичкозрізувальних апаратів. Плоскі ножі дообрізувачів, які виконують зрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків за допомогою нормальної сили (чисте рублення) та дією дотичної сили і повздовжніх переміщень (але без ковзання) мають низькі показники якості виконання технологічного процесу, що спричинено швидким затупленням їх ріжучої кромки (рис. 4.10) [111].



Рис. 4.10. Ріжуча кромка плоского ножа дообрізувача гички

В результаті проведення експериментальних досліджень розробленої нами конструкції дообрізувача гички з активним плоским ножем (рис. 4.11) було підтверджено, що зворотно-поступальний рух леза дозволяє зменшити зусилля різання головок коренеплодів та підвищити якісні показники виконання технологічного процесу [70, 89, додаток А].

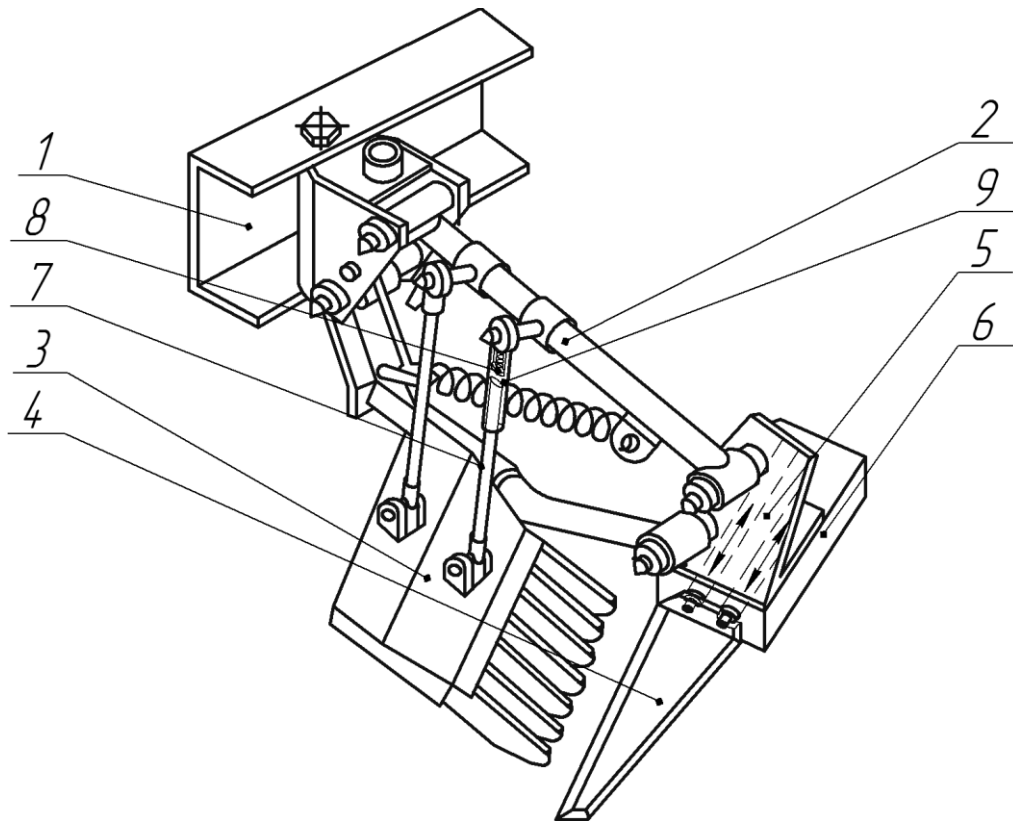


Рис. 4.11. Дообрізувач гички з активним плоским ножем

Розроблений механізм працює наступним чином. При русі машини з пристроєм для дообрізування гички з активним плоским ножем по рядках цукрових буряків з попередньо високо видаленою гичкою гребінчастий копір 3 копіює головки коренеплодів та за допомогою паралелограмної підвіски 2, прикріпленої до рами 1, встановлює на необхідну висоту ніж 4. При копіюванні головок коренеплодів цукрових буряків тяга датчика 7, на якій встановлено підпружинений електричний датчик 8, переміщається у вертикальній площині. При замиканні датчика 8 на блок привода 6 ножа 4 подається електричний сигнал, який приводить у рух ніж 4, що рухається паралельно до своєї ріжучої

кромки. Обрізавши головку коренеплоду, ніж 4 здійснює зворотній рух у вихідне положення за допомогою блоку привода 6 ножа 4. Захисний кожух 9 підпружиненого електричного датчика 8 захищає контакти електричного датчика 8 від попадання бруду та вологи [70].

Зменшення нормальної сили, що є складовою рівнодіючої сили різання, забезпечує суттєве зниження інтенсивності зношування ріжучої кромки активного ножа за рахунок перенесення частково сили тертя з нормального на тангенційний напрямок, що дозволяє підвищити довговічність його леза. Крім того, для підвищення показників надійності плоских ножів існує потреба у дослідженні можливих методів підвищення зносостійкості їх ріжучої кромки [111].

При вивченні процесів зношування деталей с/г машин визначальним параметром є не величина зносу, а його характер [111, 114]. Щоб встановити вид зношування плоских ножів гичкозрізуючого механізму та їх інтенсивність, необхідним є проведення дослідження при реальних або максимально наближених до реальних умовах експлуатації. Перед встановленням ножів на гичкозрізуючий апарат проводимо вимірювання лінійних розмірів в місцях найбільш інтенсивного їх зношування від кромки леза до спеціально утвореного невеликого заглиблення на ножі. Після зниження показників якості виконання технологічного процесу дообрізування головок коренеплодів від залишків гички у місцях заміру шляхом вирізування зразків розміром 25x25 мм визначаємо характер зношування.

Гострота леза ножа значно впливає на опір різанню, оскільки при його затупленні площа, що ним зминається, збільшується.

Ефективним методом, що забезпечить підвищення зносостійкості ріжучої кромки ножа дообрізувача гички є проектування самозаточуваних лез з послідовним дотриманням наступних рекомендацій [114]:

- оцінювання умови роботи ножа, при якому визначають агресивність абразивної маси, динамічні навантаження на лезі та його допустимий радіус затуплення;

- визначення товщини зміцненого шару леза;
- визначення оптимальних властивостей твердого шару (твердість та міцність при згині з визначеною динамічністю навантажень);
- вибір методу зміцнення;
- визначення характеру розміщення зміцненого шару;
- визначення товщини і твердості підтримуючого шару.

Проведені дослідження корозійного впливу на функціональну здатність сталей Сталь 25 і Ст. 3 в розчині соку цукрових буряків показали, що швидкості корозій в них практично рівні. З врахуванням того, що максимальні напруження, які виникають у місцях кріплення ножа до блоку привода під час виконання технологічного процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків становлять $\sigma_{\max} = 72,03$ МПа, що значно нижче допустимих напруження як для якісних так і сталей звичайної якості, та з метою підвищення показників раціональності пропонується використовувати при виготовленні плоских ножів матеріал – Ст. 3.

Для забезпечення самозаточування лез активних плоских ножів дообрізувачів гички виготовлених зі сталі Ст. 3 пропонується наплавляти на нижню грань леза тонкий зносостійкий шар сплаву сормаїту товщиною 1,5мм. Після наплавлення твердість зміцненого шару буде дорівнювати 50 HRC. В процесі роботи верхній шар леза, що м'якший порівняно з нижнім (наплавлений сормаїтом) піддається інтенсивнішому зношуванню. Послідовне відкриття нижнього шару спричиняє утворення нової форми леза, що забезпечує процес самозаточування та збереження його гостроти.

Використовуючи дані, отримані в результаті проведення багатофакторного експерименту з визначення сили різання головок коренеплодів активним плоским ножом та результати лабораторних досліджень корозійної стійкості матеріалів ножів, при проектуванні дообрізувача гички активного типу для підвищення показників якості та надійності виконання технологічного процесу пропонується дотримуватись наступних рекомендацій:

1. Матеріал плоского ножа – сталь звичайної якості Ст. 3, нижня грань леза якого наплавлена тонким зносостійким сплавом сормаїту товщиною 1,5 мм;
2. Кут заточування леза плоского ножа – $\alpha = 8^\circ$;
3. Діапазон довжин ходу плоского ножа при виконання ним технологічного процесу дообрізування залишків гички з головок коренеплодів $L = 40 - 50$ мм, який забезпечується за допомогою блоку привода з використанням електромагніту;
4. Поступальна швидкість бурякозбирального агрегату 1,9 м/с.

4.7. Попередні висновки до розділу

На основі проведеного аналізу отриманих результатів при експериментальних та теоретичних дослідженнях можна зробити наступні висновки:

1. Для використання результатів багатофакторного експерименту з визначення сили різання головок коренеплодів активним плоским ножом проведено перевірку експериментальних даних на відсутність грубих похибок, на виконання умови про однорідність дисперсій на проведені досліди, встановлено статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії математичної моделі за допомогою критерію Ст'юдента та перевірено адекватності вибраної математичної моделі експериментально отриманим даним за критерієм Фішера.

2. За результатами експериментальних досліджень було визначено ступені впливу та ефект взаємовпливу факторів на критерій оптимізації (силу різання), проведено графічний аналіз експериментально отриманих даних (побудовано поверхні відгуків та їх двомірні перетини) та визначено оптимальні значення вхідних факторів, які становлять:

- довжина ходу ножа $L = 40 - 50$ мм;

- кут заточування $\alpha = 8^\circ$;
- поступальна швидкість бурякозбирального агрегату $V_m = 0,8 - 1,9$ м/с.

3. В результаті проведених лабораторних досліджень корозійної стійкості сталей в розчині соку цукрових буряків встановлено незначну корозійну агресивність модельного розчину на сталі звичайної якості і якісні сталі. Досліджено, що поодинокі локальні корозійні пошкодження, які спостерігались на матеріалах є результатом утворення гальванічних пар внаслідок налипання на поверхню твердих залишків цукрових буряків.

4. При порівнянні теоретичних та експериментальних даних встановлено, що при визначенні сили різання головок коренеплодів в інтервалі зміни довжини ходу активного ножа $L = 15 - 65$ мм, розбіжність між ними складає 8–10%. Визначивши НДС активного плоского ножа дообрізувача гички експериментальним шляхом та порівнявши результати з отриманими при аналітичних дослідженнях можна стверджувати, що відхилення між значеннями напружень становлять менше 3%.

5. Розроблено інженерну методику удосконалення конструкції дообрізувача гички шляхом виконання ножа із сталі звичайної якості Ст. 3 з подальшим наплавленням на нижню грань леза тонкого зносостійкого шару сплаву сормаїту товщиною 1,5мм для забезпечення його самозаточування. На основі результатів експериментальних досліджень запропоновано рекомендації з вибору конструктивно-технологічних параметрів механізму при проектуванні дообрізувача гички активного типу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вперше вирішено науково-технічну задачу підвищення показників якості очищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички та збільшення довговічності елементів робочого органу доочисника. Розроблено і обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри механізму дообрізувача гички з активним плоским ножом. Основні наукові результати й рекомендації полягають у наступному:

1. Проведений порівняльний аналіз існуючих бурякозбиральних машин та механізмів для обрізування гички встановив, що двофазний процес її видалення з коренеплодів забезпечує підвищення якісних показників, які ставляться до цукрових буряків при їх подальшому переробленні та зберіганні. Неякісне обрізування головок від залишків гички, травмування та вибивання високо розміщених коренеплодів з ґрунту, затуплення пасивних плоских ножів – основні недоліки сучасних гичковидаляючих апаратів.

2. Розроблена аналітична модель взаємодії активного плоского ножа з головками коренеплодів забезпечила обґрунтування конструктивних та технологічних параметрів механізму дообрізувача, а також систематизувала залежності для визначення коефіцієнта ковзання ε із урахуванням кута тертя φ матеріалу з лезом ножа.

3. Отримано теоретичні залежності, які описують напружено-деформований стан активного плоского ножа при взаємодії з коренеплодом. Встановлено, що максимальні нормальні напруження, які виникають у перетині кріплення ножа до блоку привода при виконанні технологічного процесу дообрізування залишків гички, досягають $\sigma_{\max} = 72,03$ МПа.

4. Обґрунтовано основні фактори, які впливають на якість та надійність процесу обрізування гички цукрових буряків, а саме: довжина ходу активного плоского ножа; кут заточування ножа; діаметр коренеплоду; робоча швидкість машини.

5. Розроблено програму та методику експериментальних досліджень робочого органу дообрізувача, яка дозволяє визначити вплив конструктивно-технологічних параметрів механізму на результуючу силу різання $P_{різ}$. За результатами проведених досліджень отримано регресійну модель доочищення головок коренеплодів від залишків гички активним плоским ножом у вигляді полінома другого степеня, який при 5% -му рівні значущості адекватно відображає реальний технологічний процес.

6. На основі проведеного багатofакторного експерименту з використанням трьохрівневого плану другого порядку Бокса – Бенкіна, побудовано поверхні відгуків та їх двомірні перетини від впливу та ефекту взаємовпливу незалежних факторів на критерій оптимізації. Встановлено, що значення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів запропонованого пристрою дообрізувача залишків гички активного типу складають: довжина ходу ножа $L=40-50$ мм; кут заточування леза $\alpha=8^\circ$; поступальна швидкість бурякозбирального агрегату $V_M=1,9$ м/с.

7. За результатами досліджень корозійної стійкості матеріалів плоских ножів у розчині соку цукрових буряків встановлено, що швидкість корозії Ст. 3 вища у порівнянні зі Сталлю 25. Збільшення тривалості експозиції призводить до суттєвого зменшення швидкості корозії: через 7 діб значення швидкостей зрівнюються. Доведено незначну корозійну агресивність робочого середовища на досліджувані матеріали.

8. Проведено порівняння теоретичних та експериментальних даних дослідження, згідно з якими розбіжність між ними при визначенні сили різання в інтервалі зміни довжини ходу ножа $L=15-65$ мм знаходиться в межах 8–10%. При визначенні НДС активного плоского ножа відхилення між величинами напружень, отриманих з використанням аналітичних залежностей та при проведенні експериментальних досліджень, знаходяться в допустимих межах (менше 3%).

9. Запропоновано інженерну методику удосконалення конструкції дообрізувача залишків гички, яка включає рекомендації щодо проектування самозаточувальних лез плоских ножів шляхом виготовлення їх зі сталі звичайної якості Ст. 3 з наплавленням нижньої грані леза сплавом сормаїту та вибору значень конструктивно-технологічних параметрів механізму при його проектуванні, які отримані в результаті проведення аналітичних та експериментальних досліджень.

10. Результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи передані в ПАТ “Рівнесільмаш” для використання при проектуванні нового та удосконаленні існуючого обладнання дообрізувачів гички.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочные машины / Ю.Б. Аванесов, В.И. Бессарабов, И.И. Русанов. – М.: Колос, 1979. – 351 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В.Марков, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Андрейкив А.Е. Усталостное разрушение и долговечность конструкций / А.Е. Андрейкив, А.И. Дарчук. – К.: Наукова думка, 1992. – 184 с.
4. Анилович В.Я. Исследование влияния профиля лезвия дискового ножа на эффективность процесса обрезки свеклы / В.Я. Анилович, И.П. Сычов, Л.А. Уксюзов // Повышение износостойкости и долговечности режущих элементов сельскохозяйственных машин. Материалы Второй научно – технической конференции. ВИСХОМ. – М.: 1971. – С. 15–23.
5. Барабаш Г. Особливості обґрунтування режимів роботи машинних агрегатів з використанням сучасних енергетичних засобів / Г. Барабаш, В. Зубко, О. Барабаш, Т. Щур // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛНАУ, 2013. № 17. – С. 110 – 116.
6. Баранов А.М. Основи наукових досліджень. Частина II "Статистична обробка даних і планування експерименту": Методичні вказівки по виконанню самостійної роботи студентами денної форми навчання / А.М. Баранов. – Х.: УПА., 2003. – 44 с.
7. Белянин Е.Г. Пути повышения прочности сельскохозяйственных машин / Е.Г. Белянин, Н.И. Дроздов, И.М. Зельцерман. – В 2-х ч. – М.: ЦИНТИАМ, 1963. – 141 с.
8. Беркович И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения. Учебник для вузов / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; Под ред. Д.Г. Громаковского // Самар. гос. техн. ун-т. – Самара, 2000. – 268 с.

9. Бойко Д.І. Шляхи інтенсифікації процесів приготування комбікормів / Д.І. Бойко, О.О. Науменко, Т.Г. Щур // Технічні системи і технології тваринництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 144. – С. 3 – 7.
10. Борис А.М. Визначення втрат цукроносної маси та залишків гички цукрового буряку при її безкопірному зрізі / А.М. Борис // Праці ТДАТУ. Том 1. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 12. – С. 191 – 201.
11. Босой Е.С. Теория, конструирование и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой. – М.: Машиностроение, 1978. – 567 с.
12. Бохан В.И. Контрольно-измерительные приборы в сельском хозяйстве / В.И. Бохан, В.А. Дайнеко, С.Н. Фурсенко. – Мн.: Урожай, 1989. – 160 с.
13. Брей В.В. Исследование и разработка механизированного процесса извлечения из почвы корней сахарной свеклы / В.В. Брей // Автореф. дис. канд. техн. наук. – К., 1972. – 32 с.
14. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. Монографія / В.М. Булгаков. – К.: Видавничий центр НАН, 2005. – 245 с.
15. Булгаков В.М. Теорія очистки головок коренеплодів очисником з вертикальною віссю обертання / В.М. Булгаков, І.В. Головач // Сб. науч. тр. Керченского морского технологического института «Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий». – Керчь, 2002. – Вып. 4 – С. 209 – 226.
16. Булгаков В.М. Основи теорії та розрахунку процесу очистки головок коренеплодів на корені гнучкою лопаттю / В.М. Булгаков, І.В. Головач // Зб. наук. пр. НАУ «Механізація сільськогосподарського виробництва». Т. VII. – К.: НАУ., 2005. – С. 12 – 14.
17. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики / Н.Н. Бухгольц. Ч. I. Изд. 6. – М.: Наука, 1965.
18. Василенко П.М. О методике механико-математических изысканий при разработке проблем сельскохозяйственной техники / П.М. Василенко. – М.: из-во ГОСНИТИ., 1962. – 230 с.

19. Василенко П.М. Основы научных исследований. Механизация сельского хозяйства / П.М. Василенко, Л.В. Погорелый. – К.: Вища школа, 1985. – 266 с.
20. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 195 с.
21. Винорский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винорский, М.В. Лурье. – К.: Техніка, 1975.
22. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилук. – К.: Урожай, 1994. – 446 с.
23. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
24. Гайдар С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий / Диссерт. докт. техн. наук. – Москва: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2011. – 416 с.
25. Гевко Р.Б. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, С.В. Синій та інш. – Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.
26. Горбуз В.Н. Математические модели ускоренных испытаний изделий на надежность и долговечность / В.Н. Горбуз // Стандарты и качество.- №3, 1967. – С. 7 – 11.
27. Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин. Изд. 2-е. Т.1. М.: Колос, 1968. – 720 с.
28. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малахов, М.І. Черновол та інш.; За ред. В.Ю. Черкуна. – К.: Урожай, 1998. – 208 с.
29. Дайчик М.Л. Методы и средства натурной тензометрии. Справочник / М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Х. Хуршудов. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

30. Доманьков В.М. Возделывание корнеплодов по интенсивной технологии / В.М. Доманьков, В.П. Мармалюков, В.С. Семерной. – Минск: Урожай, 1990. – 88 с.
31. Дутка А. Обґрунтування необхідності експериментальних досліджень характеристик втомного руйнування вузлів с/г машин / А. Дутка, О. Цьонь, П.Попович // Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій”. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2010. – С. 13.
32. Езекиел М. Методы анализа корреляций и регрессий / М. Езекиел, К. Фокс. – М.: Статистика, 1966. – 485 с.
33. Желиговский В.А. Экспериментальная теория резания и основы резания лезвием / В.А. Желиговский // Труды МИМЭСХ. – М., 1940. – Вып. 9. – 27 с.
34. Зубков В. Обґрунтування технологічної доцільності сепарації коренебульбоплодів у блоковому псевдозрідженому шарі / В. Зубков, Є. Ріпецький // Вісник ТНТУ. Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки. – 2012. – Т. 67, № 3. – С. 255 – 260.
35. Зуев Н.М. Бескопирный срез головок корнеплодов / Н.М. Зуев, С.А. Топоровский // Сахарная свекла. 1988. – №6. – С. 42 – 45.
36. Иванов А.И. Контрольно – измерительные приборы в сельском хозяйстве / А.И. Иванов, А.А. Куликов, Б.С. Третьяков. – М.: Колос, 1984. – 352 с.
37. Иванов И.П. Испытание зубчатых передач ускоренным методом / И.П. Иванов // Известия вузов. 1963. – №8. – С. 11 – 15.
38. Импортная сельскохозяйственная техника / Под ред. Б.М. Пожарского. – Минск: Урожай, 1983. – 143 с.
39. Испытательная техника: справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1982. – Кн.2. – 560 с.
40. Іллевич С.В. Унікальний коренеплід / С.В. Іллевич. – К.: Урожай, 1991. – 176 с.

41. Кардашевский С.В. Испытания сельскохозяйственной техники / С.В. Кардашевский, Л.В. Погорельый, Г.М. Фудиман и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 288 с.
42. Кильчевський Н.А. Курс теоретической механики. Том. 1 (кинематика, статика, динамика точки) / Н.А. Кильчевський // Главная редакция физико-математической литературы издательства “Наука”, М., 1977. – 480 с.
43. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакур. – М.: Колос, 1980. – 670 с.
44. Клепко В. Ю. Вища математика в прикладах і задачах: Навчальний посібник 2-ге видання / В.Ю. Клепко, В.Л. Голець. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 594 с.
45. Клокова Н.П. Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки / Н.П. Клокова. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
46. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента / В.Н. Ковшов. – Киев-Донецк: Вища школа, 1982. – 120 с.
47. Кордонский Х.Б. Форсированные испытания надежности машин и приборов / Х.Б. Кордонский // Стандартизация. 1964. – №7. – С. 5 – 7.
48. Крутов В.И. Основы научных исследований / В.И. Крутов, В.В. Попов; под ред. В.И. Крутова. – М.: Высшая школа, 1989. – 363 с.
49. Кудрявцев Л. Д. Курс математического анализа. Т. 3. / Л.Д. Кудрявцев. – М.: Высшая школа, 1989. – 352 с.
50. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
51. Макаренко М. Пітинг та інші загрози міжсезоння / М. Макаренко // Агробізнес сьогодні, 2012. – № 22.
52. Мартиненко В.Я. Визначення деяких кінематичних параметрів апаратів для зрізування гички цукрових буряків / В.Я. Мартиненко, С.І. Головка // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2002. – Вип. 7. – С. 97 – 100.

53. Мартиненко В.Я. Гичкозбиральні машини / В.Я. Мартиненко. – Тернопіль: ТОВ «Поліграфіст», 1997. – 108 с.
54. Мартиненко В.Я. Експериментальне дослідження роботи плоских ножів з коливним рухом при збиранні цукрових буряків / В.Я. Мартиненко, С.І. Головка // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодержавний міжвідомчий наук.–техн. зб. – Кіровоград, 2005. – Вип. 35. – С. 78–81.
55. Мартиненко В.Я. Експериментальні дослідження роботи плоского ножа з зворотно – поступальним рухом / В.Я. Мартиненко, С.І. Головка // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. «Механізація с/г виробництва», Т.2. – Харків, 2006. – Вип. 44. – С. 304 – 308.
56. Мартиненко В.Я. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин. Дис. докт. техн. наук: 05.05.11. – Тернопіль, 2000. – 374 с.
57. Мартиненко В.Я. Обґрунтування конструкції копіюючого механізму з коливним плоским ножом при зрізуванні гички / В.Я. Мартиненко, С.І. Головка // 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.
58. Машина для уборки ботвы кормовой свеклы МБП-6. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Днепропетровск. – 1998.
59. Машини бурякозбиральні ДСТУ 2258-93. – К.: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
60. Машини для збирання зернових та технічних культур / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. – 296 с.
61. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

62. Михайлович Я. Проблема зберігання сільськогосподарської техніки / Я. Михайлович, А. Рубець // Пропозиція, 2008. – № 12. – С. 90 – 104.
63. Мичурин А.И. Ускоренные испытания на надежность технических систем и изделий / А.И. Мичурин. – М.: Знание, 1965. – 31 с.
64. Мишин М.А. Анализ конструкций режущих аппаратов к свеклоуборочным машинам / М.А. Мишин, И.П. Бабко, Э.Б. Борщевская // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1992. – №4. – С. 21 – 24.
65. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
66. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.
67. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин на прочность и надежность / Под. ред. П.М. Волкова, М.М. Тененбаума. – М.: Машиностроение, 1977. – 310 с.
68. Паламарчук М.М. Свеклосахарное производство Украинской ССР / М.М. Паламарчук. – К., 1964. – 215 с.
69. Паламарчук П.В. Оцінка процесів навантаженості та роботоздатності елементів металоконструкцій вентиляторних обприскувачів класу ОВП-2000: дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Паламарчук Петро Васильович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2010. – 225 с.
70. Патент № 86895, Україна, МПК А01D 23/02. Дообрізувач гички з активним ножом / Рибак Т.І., Цьонь О.П., Сташків М.Я., Попович П.В., Цьонь Г.Б.; заявник та патентовласник Терноп. нац. техн. ун-т. – № u201309816; заявл. 07.08.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1. – 4 с.
71. Патент №19426 Україна, МПК G01M 19/00. Стенд для випробовувань ножів коренезбиральних комбайнів / В.Я. Мартиненко, С.І. Головка (Україна). - №U200606884; Заявлено 19.06.06: Опубл. 15.12.06., Бюл. №12.
72. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления: Учеб. пособие для вузов. Т. 1. / Н. С. Пискунов. – М.: Наука, 1985. – 429 с.

73. Плескунин В.И. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте / В.И. Плескунин, Е.Д. Воронина; Под ред. А.В. Балюрина. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979. – 232 с.
74. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытания сельскохозйственных машин/ Л.В. Погорелый. – К.: Техника, 1981. – 176 с.
75. Погорелый Л.В. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет / Л.В.Погорелый, Н.В. Татьянако, В.В. Брей и др. – К.:Техніка, 1983. – 168 с.
76. Погорелый Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорелый, Н.В. Татьянако. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
77. Погорілий Л.В. Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки механізованого процесу збирання / Л.В. Погорілий, М.С. Волянський, А.М. Фомічов // Вісник сільськогосподарської науки, 1988. – №1. – С. 64 – 70.
78. Погорілий М.Л. Перспективна бурякозбиральна техніка і шляхи її розвитку / М.Л. Погорілий // Техніка АПК, 1998. – №4. – С. 21 – 23.
79. Погорілий М.Л. Технологічні і технічні аспекти вдосконалення бурякозбиральної техніки / М.Л. Погорілий // Техніка АПК, 2000. – №9. – С. 14 – 18.
80. Попович П. Визначення характеристик довговічності мобільних с/г машин / П.Попович, О.Цьонь, А.Дутка // XIV наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя „Матеріалознавство та машинобудування”. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2010. – С. 38.
81. Попович П. Вплив експлуатаційних середовищ на поширення поверхневих корозійно-втомних тріщин в елементах конструкцій сільськогосподарських машин / П. Попович, О. Цьонь, Т. Довбуш // Вісник ТНТУ. Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки. – 2014. – Т. 75, № 3. – С. 157 – 166.
82. Попович П. Коррозия машиностроительных сталей в средах органических удобрений / П. Попович, О. Цень, Т. Довбуш и др. // Motrol. Commission of Motorization and energetics in agriculture.– 2014.– Vol. 16, No 4. – P. 219–225.

83. Попович П.В. Експериментальні дослідження металоконструкцій бітерів розкидачів органічних добрив в корозійних середовищах / П.В. Попович, О.П. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2011. – Вип. 109. – С. 127 – 132.
84. Попович П.В. Обґрунтування параметрів обладнання для випробувань багатоступінчастих редукторів розкидачів твердих органічних добрив / П.В. Попович, О.П. Цьонь, Т.А. Довбуш // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. – Кіровоград, 2011. – Вип. №41, част.1. – С. 321 – 326.
85. Попович П.В. Оцінка залишкової довговічності с/г машин / П.В. Попович, С.П. Сікорський, О.П. Цьонь // Перша науково-технічна конференція ФХВ ТНТУ ім. Івана Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2011. – С. 15.
86. Попович П.В. Разработка оборудования для испытаний многоступенчатых редукторов / П.В. Попович, С.П. Сикорский, О.П. Цень // Современные проблемы машиностроения: труды VI Международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 705 с.
87. РД10.86-90. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки сахарной свеклы. Программа и методы испытаний.
88. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 305 с.
89. Рибак Т. Обґрунтування схеми зрізування гички цукрових буряків плоским ножом / Т. Рибак, О. Цьонь // XVI наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя „Матеріалознавство та машинобудування”. Том II. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. – С. 128.
90. Рибак Т. Огляд конструкцій бурякозбиральних комбайнів / Т. Рибак, О. Цьонь // XVI наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя „Матеріалознавство та машинобудування”. Том II. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. – С. 134.

91. Рибак Т.І. Випадкові величини та їх систематизація в аналітичних та експериментальних дослідженнях / Т.І. Рибак, Н.І. Хомик // Методичний посібник. ТДТУ ім. Івана Пулюя. – Тернопіль-Львів, 1998. – 52 с.
92. Рибак Т.І. Вплив перерозподілу зусилля різання активного ножа дообрізувача гички буряків на його довговічність / Т.І. Рибак, О.П. Цьонь, М.Я. Сташків // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. – Харків, 2014. – Вип. № 151. – С. 222 – 227.
93. Рибак Т.І. Моделювання міцності елементів металоконструкцій с/г машин при стендових випробуваннях / Т.І. Рибак, П.В. Попович, Н.І. Хомик, О.П. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2012. – Вип. №122. – С. 198 – 203.
94. Рибак Т.І. Огляд гичковидаляючих апаратів бурякозбиральних машин та шляхи їх вдосконалення / Т.І. Рибак, О.П. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Технічний сервіс машин для рослинництва”. – Харків, 2013. – Вип. № 134. – С. 203 – 207.
95. Рибак Т.І. Оцінка фактичної міцності та ресурсу критичних елементів основних несучих конструкцій с/г машин / Т.І. Рибак, П.В. Попович, А.Б. Дутка, О.П. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Міжнародна науково – практична конференція “Проблеми надійності машин і засобів механізації с/г виробництва.” – Харків, 2012. – Вип. № 128. – С. 24 – 28.
96. Рибак Т.І. Підвищення надійності сільськогосподарських машин. Том 4. / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ТНТУ, 2012. – 279 с.
97. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. Навчальний посібник / Т.І. Рибак. – Тернопіль, 2002. – 332 с.

98. Рибак Т.І. Універсальна вимірювальна система для дослідження динаміки сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак, М.І. Підгурський, В.І. Костюк та інш. // Надійність і довговічність машин і споруд, 2005. – Вип. 25. – С. 112 – 119.
99. Рибак Т.І. Універсальна вимірювальна система для дослідження реальної динаміки навантаження мобільних сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак, М.І. Підгурський, В.І. Костюк та інш. // Праці I Міжнар. н.-т. конф. „Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин DSR AM-I”. Під ред. В.Т. Троценка. 2004. – С. 198 – 201.
100. Рибак Я.Т. Стохастичні процеси і їх систематизація в аналітичних та експериментальних дослідженнях / Я.Т. Рибак, Т.І. Рибак, В.А. Парацій. – Тернопіль: «Збруч», 2004. – 232 с.
101. Ріпецький Є.Й. Визначення оптимального кінематичного співвідношення ланок маніпулятора грейферного навантажувача з урахуванням режимів роботи / Є.Й. Ріпецький // Вісник ХНТУ “Технічні системи і технології тваринництва”. – Харків. – 2012. – Вип. 120. – С. 410 – 417.
102. Ріпецький Є.Й. Особливості силового навантаження маніпулятора за взаємодії грейфера з матеріалом / Є.Й. Ріпецький // Вісник Львівського національного університету. Львів: Агро. – 2012. – С.119 – 126.
103. Ріпецький Є.Й. Отримання статистичної моделі експлуатаційного навантаження мобільних машин з використанням інформаційних технологій збору та оброблення даних / Є.Й. Ріпецький // Зб. наук. праць за матеріалами Третьої міжнар. наук.-техн. конф. “Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій”, 7–9 листопада 2012р. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД. –2012. – С. 96 – 97.
104. Роїк М.В. Перспективи удосконалення засобів механізації збирання цукрових буряків / М.В. Роїк, А.М. Мазуренко, О.С. Калайджан // Техніка АПК, 1999. – №3. – С. 16 – 17.

105. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшицкий. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
106. Рыбак Т.И. Оценка долговечности несущих рамных металлоконструкций по их трещиностойкости / Т.И. Рыбак, О.П. Цень, Я.Я. Господарский // Материалы I Всероссийской научно-технической конференции “Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы”. – Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2011. – С. 479 – 482.
107. Свеклоуборочная машина КР – 6 – П // Проспект фирмы Franz Kleine. - Maschinenfabrik GmbH & Co, Postf. 1250.
108. Севернев М.М. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Н.Н. Подлекарев, В.Ш. Сохадзе. – Минск: Беларуская Навука, 2011. – 334 с.
109. Седякин К.М. Об одном физическом принципе теории надежности / К.М. Седякин // Известия АН. СССР. Техническая кибернетика, 1966. – №3. – С. 13 – 19.
110. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – 364 с.
111. Сташків М.Я. Підвищення довговічності активного плоского ножа дообрізувача гички цукрових буряків / М.Я. Сташків, О.П. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. – Харків, 2013. – Вип. № 139. – С. 226 – 230.
112. Сычев И.П. Основы повышения надежности рабочих органов свекловичных машин: Дис. канд. техн. наук: 05.20.04; 05.20.03 / ВИСХОМ. – М.: 1955. – 253 с.
113. Тензорезисторы. Техническое описание и инструкция по наклейке. – К.: ООО “Веда”, 2005. – 21 с.

114. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В.Н. Ткачев. – М. «Машиностроение», 1971. – 264 с.
115. Толстов Г.П. Ряды Фурье. 3-е изд., испр. / Г.П. Толстов. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
116. Томашов Н.Д. Лабораторные работы по коррозии и защите металлов / Н.Д. Томашов, П.Н. Жук, В.А. Титов. – М.: Металлургия, 1971. – 280 с.
117. Трубилин Е.И. Машины для уборки сельскохозяйственных культур (конструкции, теория и расчет): Учеб.пос. - 2 изд. перераб. и дополн. / Е.И. Трубилин, В.А. Абликов. – КГАУ.: Краснодар, 2010. – 325 с.
118. Улучшение технологических качеств сахарной свеклы / Под. ред. В.Ф. Зубенко.– К.: Урожай, 1989. – 204 с.
119. Фабричнікова І.А. Теоретичне визначення впливу сил тертя на миттєві сили різання, які викликають зношення бурякорізальних ножів / І. А. Фабричнікова // Проблеми трибології, 2012. –№3. – С. 94 – 100.
120. Финни Д. Введение в теорию планирование экспериментов / Д. Финни. – М.: Наука, 1970. – 288 с.
121. Хайлис Г.А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: Колос, 1994. – 169 с.
122. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – К.: УААН, 1994. – 322 с.
123. Хомик Н.І. Дослідження конструктивних елементів пруткового транспортера / Н.І. Хомик // Вісник Тернопільського державного технічного університету. Т.5, 2000. – №4.– С. 89 – 94.
124. Цень О.П. Результаты экспериментальных исследований активных плоских ножей свеклоуборочных машин / О.П. Цень, П.В. Попович, А.Б. Цень // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции “Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы”. – Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2013. – С. 135 – 138.

125. Цьонь О. Взаємодія робочого органу з коренеплодами при видаленні гички кормових буряків / О. Цьонь // III Всеукраїнська студентська науково – технічна конференція “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2010. – С. 183.
126. Цьонь О. Обґрунтування складу коренезбирального агрегату на базі інтегрального трактора / О. Цьонь // III Всеукраїнська студентська науково – технічна конференція “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2010. – С. 184.
127. Цьонь О. Про стенд для випробування редукторів коренезбиральних машин / О. Цьонь // IV Всеукраїнська студентська науково – технічна конференція “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”, Том 1. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2011. – С. 158.
128. Цьонь О. Програма експериментальних досліджень активних плоских ножів / О. Цьонь, П. Попович, Г.Цьонь // Природничі науки та інформаційні технології: Зб. тез доповідей XVII наук. конф. Том 1. – Тернопіль: ТНТУ, 2013. – С. 32.
129. Цьонь О. Стенд для лабораторних випробувань активних дообрізувачів гички / О. Цьонь, М. Сташків, Н. Хомик // Природничі науки та інформаційні технології: Зб. тез доповідей XVII наук. конф. Том 1. – Тернопіль: ТНТУ, 2013. – С. 33.
130. Цьонь О.П. Обґрунтування вибору обладнання для проведення експериментальних досліджень активних плоских ножів / О.П. Цьонь, М.Я. Сташків, Г.Б. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Технічний сервіс машин для рослинництва”. – Харків, 2014. – Вип. № 145. – С. 100 – 104.
131. Цьонь О.П. Планування багатofакторного експерименту з дослідження активних дообрізувачів гички / О.П. Цьонь, Г.Б. Цьонь // Актуальні задачі сучасних технологій: Зб. тез доповідей міжнар. наук. – техн. конф. Молодих учених та студентів – Тернопіль: ТНТУ, 2013. – С. 165.

132. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 374 с.
133. Эдвардс Р. Ряды Фурье в современном изложении. В 2-х томах: Пер. с англ. / Р. Эдвардс. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
134. Экспериментальная механика / Под ред. А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – Т.1. – 1168 с.
135. Arracheuse – chargeuse type 402. Проспект фирмы Matrot (Франция).
136. Galik R. Effect of ambient temperature on the tensile strength of teat cup liners / R. Galik, S. Bodo, M. Dubenonova, T. Shchur // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛНАУ, 2013. № 17. – С. 356 – 361.
137. T. Rybak, O. Tsion / Equipment for simulate torsional loads // “Metalurgija”, 2012. – Vol. 51, br./No 3.– P. 430.
138. Zuckerriiben - Erntemaschine SF10 II. Проспект фирмы Franz Kleine. – Maschinenfabrik GmbH & Co, Postf. 1250.

ДОДАТКИ





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **86895** (13) **U**
 (51) МПК
A01D 23/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

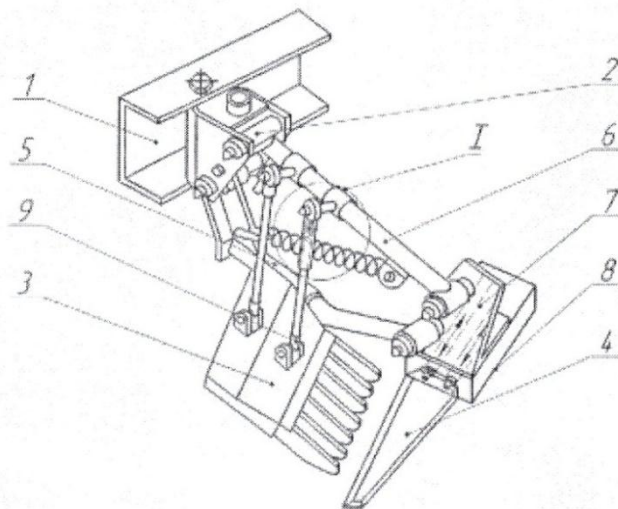
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2013 09816	(72) Винахідник(и): Рибак Тимофій Іванович (UA), Цьонь Олег Петрович (UA), Сташків Микола Ярославович (UA), Попович Павло Васильович (UA), Цьонь Ганна Богданівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 07.08.2013	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.01.2014	(73) Власник(и): ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.01.2014, Бюл.№ 1	

(54) ДООБРИЗУВАЧ ГИЧКИ З АКТИВНИМ НОЖЕМ

(57) Реферат:

Дообрізувач гички з активним ножом складається з рами, на якій за допомогою паралелограмної підвіски змонтовані гребінчастий копір і ніж. Він оснащений блоком приводу ножа, який жорстко прикріплений до опорної пластини та додатковою тягою, яка виконана у вигляді стержня, який одним кінцем шарнірно прикріплений до копіра, а іншим кінцем встановлений з можливістю вертикального переміщення у трубці в якій розміщений електричний датчик, що жорстко приєднаний до вільного кінця пружини стиску. Іншим кінцем пружина стиску жорстко прикріплена до трубки, що шарнірно з'єднана з верхньою тягою паралелограмної підвіски.



Фіг. 1

UA 86895 U

Корисна модель належить до сільськогосподарського машинобудування і може бути використана до машин для збирання цукрових буряків.

Відомий пристрій для дообрізання гички (деклараційний патент на винахід України №36873А, кл. А01D 23/02, опубл. Бюл. №3, 2001р.), що складається з рами, на якій за допомогою паралелограмної підвіски змонтовані гребінчастий копір і ніж, причому ніж має ромбоподібну форму за рахунок двостороннього заточування.

Недоліком даного пристрою є відсутність можливості регулювання сили різання ножем головок коренеплодів цукрових буряків.

Відомий також пристрій для видалення гички коренеплодів на корені (ах. СРСР №1748708А1, кл. А01D23/02, опубл. Бюл. №27, 23.07.1992р), що складається з рами, на яку за допомогою паралелограмної підвіски змонтовані гребінчастий копір і ніж.

Недоліком відомого пристрою для видалення гички на корені є відносно невисока якість зрізування головок коренеплодів цукрових буряків на корені завдяки їх різанню рубанням.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення конструкції дообрізувача гички, а саме зменшення сили різання ножем головок коренеплодів, зменшення інерційних сил, що виникають в процесі зворотно-поступального руху ножа, підвищення якісних показників виконання технологічного процесу, шляхом виконання дообрізувача гички з активним ножем з рами, на якій за допомогою паралелограмної підвіски змонтовані гребінчастий копір і ніж, причому він оснащений блоком приводу ножа, який жорстко прикріплений до опорної пластини та додатковою тягою, крім того, додаткова тяга виконана у вигляді стержня, який одним кінцем шарнірно прикріплений до копіра, а іншим кінцем встановлений з можливістю вертикального переміщення у трубці в якій розміщений електричний датчик, що жорстко приєднаний до вільного кінця пружини стиску, яка іншим кінцем жорстко прикріплена до трубки, що шарнірно з'єднана з верхньою тягою паралелограмної підвіски.

Суть корисної моделі пояснюється графічним зображенням, де на фіг. 1 представлена конструкція пристрою для дообрізування пички з активним ножем, на фіг. 2 - додаткова тяга.

Пристроєм для дообрізування гички з активним ножем складається з рами 1, на якій за допомогою паралелограмної підвіски 2 змонтовані гребінчастий копір 3 і ніж 4. Нижня тяга 5 і верхня тяга 6 паралелограмної підвіски 2 шарнірно з'єднані з опорною пластиною 7, на якій жорстко прикріплено блок приводу 8 ножа 4. На додатковій тязі 9, що виконана у вигляді стержня 10, який одним кінцем шарнірно прикріплений до копіра 3, а іншим кінцем вертикально рухається у трубці 11 в якій розміщено електричний датчик 12, який жорстко приєднаний до вільного кінця пружини стиску 13. Іншим кінцем пружина стиску 13 жорстко прикріплена до трубки 11, яка шарнірно з'єднана з верхньою тягою 6.

Дообрізувач гички працює наступним чином.

При руху машини з пристроєм для дообрізування гички з активним ножем по рядках цукрових буряків з попередньо високовидаленою гичкою гребінчастий копір 3 копіює головки коренеплодів та за допомогою нижньої тяги 5 і верхньої тяги 6 паралелограмної підвіски 2 встановлює на необхідну висоту ніж 4. При копіюванні головок коренеплодів цукрових буряків стержень 10 переміщується у трубці 11. 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 зворотний рух у вихідне положення за допомогою блока приводу 8 ножа 4.

Параметри приводу ножа задаються таким чином, щоб забезпечити узгодження поступального руху машини і зворотно-поступального руху ножа.

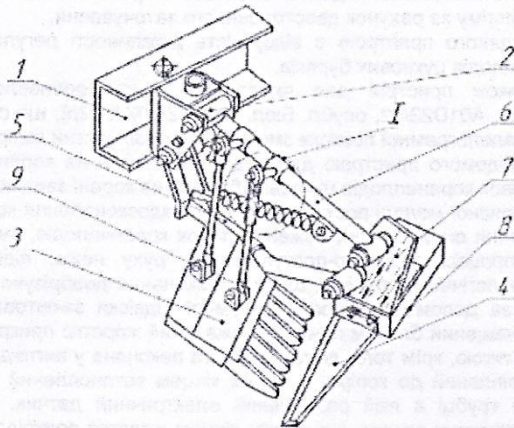
Таким чином, запропонований дообрізувач гички з активним ножем забезпечує зменшення сили різання ножем головок коренеплодів за рахунок зміни схеми різання рубанням та різання з ковзанням, зменшення інерційних сил, що виникають в процесі зворотно-поступального руху ножа, підвищення якісних показників виконання технологічного процесу дообрізки за допомогою додаткової тяги та блока приводу ножа, що дозволяють синхронізувати час копіювання головок коренеплодів та зворотно-поступального руху ножа.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

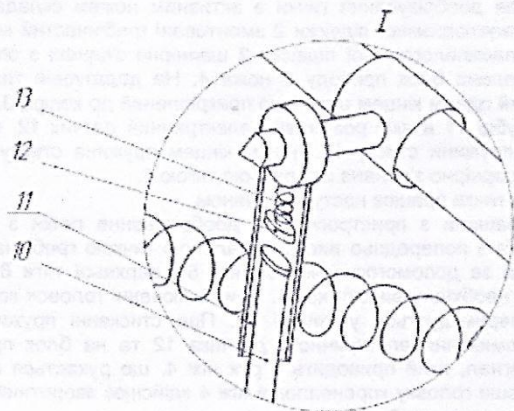
Дообрізувач гички з активним ножем, що складається з рами, на якій за допомогою паралелограмної підвіски змонтовані гребінчастий копір і ніж, який відрізняється тим, що він оснащений блоком приводу ножа, який жорстко прикріплений до опорної пластини та додатковою тягою, яка виконана у вигляді стержня, який одним кінцем шарнірно прикріплений до копіра, а іншим кінцем встановлений з можливістю вертикального переміщення у трубці, в

UA 86895 U

якій розміщений електричний датчик, що жорстко приєднаний до вільного кінця пружини стиску, яка іншим кінцем жорстко прикріплена до трубки, що шарнірно з'єднана з верхньою тягою паралелограмної підвіски.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Д. Шверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Визначення коефіцієнта тарування тензорезисторів

Розмір балки: $b := 8\text{mm}$ $h := 19\text{mm}$

Момент опору перетину балки $W := \frac{b \cdot h^2}{6}$ $W = 4.813 \times 10^{-7} \cdot \text{m}^3$

Коефіцієнт підсилення тарувального столу $K := 50$

Відстань між опорами $L_{\text{op}} := 160\text{mm}$

Відстань між прикладеними силами $L_{\text{sil}} := 70\text{mm}$

$\text{ORIGIN} := 1$ $n := 7$ $i := 1..n$

Acceleration $m := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix} \text{kg}$

Момент з одного боку балки $M := K \cdot m \cdot g \cdot \left(\frac{L_{\text{op}} - L_{\text{sil}}}{2} \right)$ $M = \begin{pmatrix} 0 \\ 22.065 \\ 44.13 \\ 66.195 \\ 88.26 \\ 110.325 \\ 132.39 \end{pmatrix} \text{m} \cdot \text{N}$

$\text{MPa} := 10^6 \text{Pa}$

Напруження $\sigma := \frac{M}{W}$ $\sigma = \begin{pmatrix} 0 \\ 45.841 \\ 91.683 \\ 137.524 \\ 183.365 \\ 229.207 \\ 275.048 \end{pmatrix} \cdot \text{MPa}$

точ := 1

Ряд1 := $\begin{pmatrix} 2040 \\ 2106 \\ 2179 \\ 2254 \\ 2312 \\ 2372 \\ 2419 \end{pmatrix} \text{точ}$

Ряд2 := $\begin{pmatrix} 1982 \\ 1962 \\ 1895.5 \\ 1811.5 \\ 1777 \\ 1676 \\ 1589.5 \end{pmatrix} \text{точ}$

Коефіцієнт підсилення по апаратурі при таруванні

$$k_{PA} := 1 \frac{64}{4}$$

Коефіцієнт тарування

$$k_{T1_i} := \frac{\sigma_i \cdot k_{PA}}{Ряд1_i}$$

$$k_{T1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.348 \\ 0.673 \\ 0.976 \\ 1.269 \\ 1.546 \\ 1.819 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{МПа}}{\text{точ}}$$

$$k_{T2_i} := \frac{\sigma_i \cdot k_{PA}}{Ряд2_i}$$

$$k_{T2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.374 \\ 0.774 \\ 1.215 \\ 1.651 \\ 2.188 \\ 2.769 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{МПа}}{\text{точ}}$$

$$R1_i := \frac{Ряд1_i}{k_{PA}} \cdot k_{T1_i}$$

$$R1_i =$$

0
45.841
91.683
137.524
183.365
229.207
275.048

·МПа

$$\sigma = \begin{pmatrix} 0 \\ 45.841 \\ 91.683 \\ 137.524 \\ 183.365 \\ 229.207 \\ 275.048 \end{pmatrix} \cdot \text{МПа}$$

$$R2_i := \frac{Ряд2_i}{k_{PA}} \cdot k_{T2_i}$$

$$R2_i =$$

$i := 1..n - 1$

0
45.841
91.683
137.524
183.365
229.207
275.048

·МПа

$$\sigma = \begin{pmatrix} 0 \\ 45.841 \\ 91.683 \\ 137.524 \\ 183.365 \\ 229.207 \\ 275.048 \end{pmatrix} \cdot \text{МПа}$$

Продовження додатку Б

$$\text{Ряд}1_{i+1} - \text{Ряд}1_i =$$

66
73
75
58
60
47

$$\text{Ряд}2_{i+1} - \text{Ряд}2_i =$$

-20
-66.5
-84
-34.5
-101
-86.5

$$\frac{\sum_i (\text{Ряд}1_{i+1} - \text{Ряд}1_i)}{n-1} = 63.167$$

$$\frac{-\left[\sum_i (\text{Ряд}2_{i+1} - \text{Ряд}2_i)\right]}{n-1} = 65.417$$

$$\text{Prurist} := \frac{\frac{\sum_i (\text{Ряд}1_{i+1} - \text{Ряд}1_i)}{n-1} + \frac{-\left[\sum_i (\text{Ряд}2_{i+1} - \text{Ряд}2_i)\right]}{n-1}}{2} \cdot \text{точ} \quad \text{Prurist} = 64.292 \cdot \text{точ}$$

$$\text{Ряд}_i := 2048 + (i-1) \cdot \text{Prurist}$$

$$\text{Ряд}_i =$$

$2.048 \cdot 10^3$
$2.112 \cdot 10^3$
$2.177 \cdot 10^3$
$2.241 \cdot 10^3$
$2.305 \cdot 10^3$
$2.369 \cdot 10^3$

$$\text{Ряд}_i - \text{Ряд}1_i =$$

8
6.292
-2.417
-13.125
-6.833
-2.542

$$\text{Ряд}1 = \begin{pmatrix} 2.04 \times 10^3 \\ 2.106 \times 10^3 \\ 2.179 \times 10^3 \\ 2.254 \times 10^3 \\ 2.312 \times 10^3 \\ 2.372 \times 10^3 \\ 2.419 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$\text{Ряд}2 = \begin{pmatrix} 1.982 \times 10^3 \\ 1.962 \times 10^3 \\ 1.896 \times 10^3 \\ 1.812 \times 10^3 \\ 1.777 \times 10^3 \\ 1.676 \times 10^3 \\ 1.589 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$k_T := \frac{\sigma_2}{Pr_{rust}} \cdot k_{PA}$$

$$k_T = 11.408 \cdot \frac{\text{МПа}}{\text{точ}}$$

$$\frac{Ряд_i - 2048}{k_{PA}} \cdot k_T =$$

0	·МПа
45.841	
91.683	
137.524	
183.365	
229.207	

$$\sigma_i =$$

0	·МПа
45.841	
91.683	
137.524	
183.365	
229.207	

$$\frac{Ряд_i - 2048}{k_{PA}} \cdot k_T - \sigma_i =$$

0	·МПа
-1.118·10 ⁻¹³	
8.941·10 ⁻¹⁴	
-2.98·10 ⁻¹⁴	
-1.192·10 ⁻¹³	
8.941·10 ⁻¹⁴	

$$i := 1..n - 2$$

Коефіцієнт тарування

$$k_{T_i} := \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{Ряд_{i+1} - Ряд_i} \cdot k_{PA}$$

$$k_{T_i} =$$

11.408	·	$\frac{\text{МПа}}{\text{точ}}$
11.408		
11.408		
11.408		
11.408		

Матриця плану проведення експерименту та результати лабораторних досліджень

Рівні та інтервал варіювання вхідних факторів	Вхідні фактори				Критерій оптимізації					
	Довжина ходу ножа, L , мм	Кут заточування, α°	Діаметр коренеплоду, d , мм	Робоча швидкість машини, V_m , м/с	Сила різання, Н					
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y					
Нижній рівень (-1)	20	8	60	1	–					
Основний рівень (0)	40	10	80	2	–					
Верхній рівень (+1)	60	12	100	3	–					
Інтервал варіювання	20	2	20	1	Повторюваність					
План дослідів					1	2	3	4	5	Середнє значення
1	+1	+1	0	0	118,25	110,57	111,54	112,22	115,32	113,58
2	-1	-1	0	0	80,01	72,39	75,14	73,58	83,28	76,88
3	+1	-1	0	0	81,25	75,14	79,58	77,98	78,7	78,53
4	-1	+1	0	0	116,49	110,57	115,91	116,38	111,75	114,22
5	0	0	+1	+1	151,36	144,55	144,36	149,81	152,82	148,58
6	0	0	-1	-1	92,16	95,46	93,28	91,02	87,13	91,81
7	0	0	+1	-1	100,89	98,27	99,41	96,57	101,01	99,23
8	0	0	-1	+1	119,33	115,69	116,39	117,81	110,33	115,91

Продовження додатку В

9	0	0	0	0	100	98,23	94,29	97,58	96,80	97,38
10	+1	0	+1	0	119,87	124,01	112,83	116,86	107,63	116,24
11	-1	0	-1	0	96,12	93,52	94,53	91,87	91,56	93,52
12	+1	0	-1	0	94,81	96,36	95,83	97,14	91,76	95,18
13	-1	0	+1	0	123,54	115,71	115,93	117,98	112,39	117,11
14	0	+1	0	+1	157,14	150,28	153,86	152,44	145,88	151,92
15	0	-1	0	-1	80,00	75,36	78,12	76,54	77,68	77,54
16	0	+1	0	-1	84,25	81,81	80,39	81,83	83,97	82,45
17	0	-1	0	+1	103,56	100,87	103,25	98,23	99,99	101,18
18	0	0	0	0	96,25	94,53	95,20	97,43	94,79	95,64
19	+1	0	0	+1	129,37	124,53	125,60	124,64	125,21	125,87
20	-1	0	0	-1	73,91	70,69	72,95	71,63	68,52	71,54
21	+1	0	0	-1	73,61	74,03	73	74,32	67,94	72,58
22	-1	0	0	+1	130,67	120,63	124,97	123,47	125,46	125,04
23	0	+1	+1	0	118,26	115,91	116,38	114,93	116,22	116,34
24	0	-1	-1	0	60	56,28	57,33	57,39	50,15	56,23
25	0	+1	-1	0	80,64	80,09	82,64	81,55	80,23	81,03
26	0	-1	+1	0	93,76	91,49	90,36	93,83	92,91	92,47
27	0	0	0	0	96,28	94,69	95,37	94,91	96,95	95,64

Показники статистичної обробки експериментальних даних
сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів плоским активним ножем

N	Корре- пем. пен.	Корре- ляции У с X	Кoeffициент регрессии линеаризов.	Статистич. ошибка коэф.регр.	t- альфа	Кoeff. эласти- чности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная							
У			+63.235019683838				
Независимые переменные							
1	+0.009		-0.090611599386	+1.83519	-0.05	-0.04	значим
2	+0.435		+23.622600555420	+24.15599	+0.98	+2.36	значим
3	+0.385		-1.788095355034	+2.18581	-0.82	-1.43	значим
4	+0.673		-98.941871643066	+36.70376	-2.70	-1.98	значим
1*1	+0.009		+0.004756124225	+0.01049	+0.45	+0.08	незначим
1*2	+0.168		-0.014288628474	+0.12118	-0.12	-0.06	незначим
1*3	+0.177		-0.001580791199	+0.01212	-0.13	-0.05	незначим
1*4	+0.473		-0.002616668586	+0.24237	-0.01	-0.00	незначим
2*2	+0.420		-1.334287524223	+1.04949	-1.27	-1.36	значим
2*3	+0.570		-0.005750196055	+0.12118	-0.05	-0.05	незначим
2*4	+0.803		+5.728793621063	+2.42369	+2.36	+1.15	значим
3*3	+0.391		+0.212055316940	+0.01049	+1.15	+0.79	значим
3*4	+0.782		+0.315607160330	+0.24237	+1.30	+0.50	значим
4*4	+0.701		+9.822390556335	+4.19795	+2.34	+0.44	значим

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	12600.4833984375	14	900.035
Остаток	1127.8584 0	### 12	93.988
Итого	13728.341796875	26	

Кoeffициент множественной детерминации $D = 0.918$
Кoeffициент множественной корреляции $R = 0.958$
Стандартное отклонение оценки $s = 9.695$
F критерий Фишера $= 1.576$
Кoeffициент D значим с вероятностью $P = 0.99943$



« РІВНЕСІЛЬМАШ »
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО

35350 УКРАЇНА Рівненська область,
 Рівненський район, смт Квасилів, бул.Індустріальна,6
 Адреса телеграфна: Квасилів, ВАТ «Рівнесільмаш»
 Телефони: (0362) 69-35-41
 № 514
 від «01» липня 2014 р.

Факс: (0362)69-35-41
 Розрахунковий рахунок 26004054705772
 в РФ „Приватбанк” м. Рівне
 код ЗКПО 00728380
 МФО 333391

«Затверджую»

Голова правління ПАТ «Рівнесільмаш»



Басараб Р.І.

«01» липня 2014 р.

Акт

**про впровадження у виробництво результатів дослідження дисертаційної
 роботи Цьоня Олега Петровича**

Ми, нижчепідписані, комісія у складі:

Голова – Заступник Голови правління Целюк Г.Я.;

Члени комісії:

головний інженер – Сауляк С.О.

головний конструктор – Орлов В.Ф.

начальник технічного відділу – Дунаєв С.А.;

Склали даний акт у тому, що за результатами теоретичних та експериментальних досліджень в рамках дисертаційної роботи виконаної Цьонем О. П. відносно розробки конструктивної схеми та досліджень процесів взаємодії дообрізувача гички з головками коренеплодів, до складу якого входить гребінчастий копір та плоский активний ніж, з метою підвищення якісних показників процесу механізованого збирання коренеплодів цукрових буряків та збільшення надійності гичковидаляючого апарату, передані у ПАТ “Рівнесільмаш” для використання при проектуванні нового та вдосконаленні існуючого обладнання.

Голова комісії

Целюк Г.Я.

Члени комісії

Сауляк С.О.

Орлов В.Ф.

Дунаєв С.А.