

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Михайло ШУЛЯК

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти
на тему: «Удосконалення параметрів обрізника бадилля коренеплодів моркви»

Виконав:

Віталій КАНІВЕЦЬ
ім'я ПРІЗВИЩЕ

Група:

СТЗ 2402-1м

Науковий керівник:

Світлана СЕМІРНЕНКО
ім'я ПРІЗВИЩЕ

Рецензент:

Михайло ШУЛЯК
ім'я ПРІЗВИЩЕ

Суми – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «**Магістр**»

Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедри

агроінжинірингу

Михайло ШУЛЯК

“ ___ ” _____ 2024 року

_____ (підпис)

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

Віталію КАНІВЦЮ

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: **Удосконалення параметрів обрізника бадилля коренеплодів моркви**
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Світлана СЕМІРЕНКО, к.т.н., доц.
3. Строк подання здобувачем роботи: “30” січня 2026 року.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: 1. Науково-технічна література. 2. Бібліографічні джерела та Інтернет ресурси. 3. Монографії та інші публікації за темою наукового дослідження. 4. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки. Анотація. Вступ. 1. Стан питання. Задачі дослідження. 2. Теоретичне обґрунтування процесу обрізання бадилля коренеплодів моркви. 3. Конструкційне удосконалення обрізника бадилля коренеплодів моркви. 4. Експериментальні дослідження роботи удосконаленого обрізника бадилля моркви. 5. Охорона праці та екологічна безпека. 6. Економічна ефективність результатів досліджень. Загальні висновки. Література. Додатки
6. Перелік графічного матеріалу: Презентація

Керівник роботи

_____ підпис

Світлана СЕМІРЕНКО

ім'я ПРИЗВИЩЕ

Завдання прийняв до виконання

_____ підпис

Віталій КАНІВЕЦЬ

ім'я ПРИЗВИЩЕ

Дата отримання завдання «06» листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 01.11.2024	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 30.12.2024	
3.	Складання плану роботи	до 30.01.2025	
4.	Написання вступу	до 3.03.2025	
5.	Підготовка розділу «Стан питання та задачі дослідження»	до 2.04.2025	
6.	Підготовка розділу «Теоретичне обґрунтування процесу обрізання бадилля коренеплодів моркви»	до 2.06.2025	
7.	Підготовка розділу «Конструкційне удосконалення обрізника бадилля коренеплодів моркви» та Експериментальні дослідження роботи удосконаленого обрізника бадилля моркви	до 4.08.2025	
8.	Підготовка розділу «Охорона праці та екологічна безпека» та « <u>Економічна ефективність результатів досліджень</u> »	до 3.11.2025	
9.	Написання висновків	до 25.12.2025	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності	до 25.01.2026	
11.	Подання роботи на рецензування	до 22.01.2026	
12.	Подання роботи до попереднього захисту	до 29.01.2026	

Керівник роботи

підпис

Світлана СЕМІРЕНКО

ім'я ПРІЗВИЩЕ

Здобувач

підпис

Віталій КАНІВЕЦЬ

ім'я ПРІЗВИЩЕ

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП	6
1 СТАН ПИТАННЯ. ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Аналіз овочевої галузі	8
1.2 Аналіз існуючих конструкцій обрізників бадилля та принципів їх роботи	12
1.3 Аналіз факторів, що впливають на якість обрізання бадилля коренеплодів моркви	15
1.4 Постановка задачі дослідження	16
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРІЗАННЯ БАДИЛЛЯ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ	18
2.1 Загальні положення	18
2.2 Механічна модель процесу обрізання	19
2.3 Вплив кінематичних параметрів на якість зрізу	19
2.4 Енергетична оцінка процесу	20
3 КОНСТРУКЦІЙНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБРІЗНИКА БАДИЛЛЯ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ	22
3.1 Вимоги до сучасних обрізників бадилля	22
3.2 Аналіз недоліків існуючих конструкцій	24
3.3 Пропонована конструкція модернізованого обрізника	25
3.4 Теоретичне обґрунтування вибору параметрів	25
3.5 Переваги запропонованої конструкції	26
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА БАДИЛЛЯ МОРКВИ	28
4.1 Мета експерименту	28
4.2 Місце, умови та обладнання для проведення експерименту	28
4.3 Методика проведення досліджень	29
4.4 Результати експериментальних досліджень	29
4.5 Аналіз результатів досліджень	36
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	38
5.1 Охорона праці	38
5.2 Вимоги екологічної безпеки	40
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	43
6.1 Визначення ключових параметрів і показників	43
6.2 Оцінка впливу оптимізованих параметрів	44
6.3 Розрахунок економічного ефекту	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	46
ПРОПОЗИЦІЇ	48
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	49
ДОДАТКИ	52

АНОТАЦІЯ

Канівець Віталій Романович «Удосконалення параметрів обрізника бадилля коренеплодів моркви».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з агроінженерії за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208 Агроінженерія. Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження процесу удосконалення конструкції та експлуатаційних параметрів різача (обрізника) бадилля моркви, що використовується в механізованих системах збирання коренеплодів. Актуальність теми зумовлена тенденціями розвитку овочівництва, зростанням площ вирощування моркви в Україні та потребою підприємств у надійних, енергоощадних і продуктивних машинах. Особлива увага приділена підвищенню якості процесу видалення бадилля, оскільки цей етап значною мірою визначає рівень пошкоджуваності коренеплодів, їх товарність і економічні показники виробництва.

У роботі здійснено аналіз існуючих конструкцій машин для зрізання бадилля та виявлено їх недоліки – недостатню стабільність зрізу, високу енергомісткість, втрати продукції та ненадійність роботи за різної густоти стояння рослин. Обґрунтовано необхідність удосконалення конструкції шляхом оптимізації кінематичних параметрів, застосування комбінованих ріжучих вузлів і покращення взаємодії ножа з волокнистою структурою рослини.

На основі аналізу механічної моделі процесу обрізання та впливу швидкості обертання, кута заточування й геометрії ножів розроблено модернізований різальний вузол комбінованого типу. Він включає два загартовані дискові ножі та щітко-гумовий очищувач, що забезпечує стабільний високоякісний зріз при мінімальних пошкодженнях. Передбачена можливість регулювання висоти зрізу 5–20 мм і швидкості обертання 800–1200 об/хв, що дозволяє адаптувати роботу обрізника до різних умов.

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність удосконаленої конструкції: при швидкості обертання 1000–1200 об/хв та висоті зрізу 10–15 мм повнота видалення бадилля становить 98–99 %, а пошкодження — не більше 2–3 %. Енергоспоживання зменшено на 15–20 % порівняно з базовими аналогами. Економічні розрахунки свідчать про можливість отримання понад 4600 грн/га додаткового прибутку за рахунок зниження втрат врожаю й оптимізації витрат.

Отримані результати можуть бути впроваджені у виробництво малих і середніх господарств, сприяючи підвищенню ефективності збирання моркви, покращенню умов праці та розширенню механізації галузі.

Ключові слова: морква, різач бадилля, механізація, коренеплоди, різальний агрегат, експериментальні дослідження, сільськогосподарська техніка.

ABSTRACT

Kanivets Vitaliy Romanovych "Improvement of carrot root crop top trimmer parameters".

Qualification thesis for obtaining the degree of Master of Agroengineering under the educational program "Precision Farming Systems", specialty 208 Agroengineering. Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification thesis presents a comprehensive study aimed at improving the design and operational parameters of a carrot haulm cutter used in mechanized harvesting systems. The topic's relevance is driven by modern trends in vegetable production, the growing acreage of carrot cultivation in Ukraine, and the need for reliable, energy-efficient, productive machines. Special attention is given to improving haulm removal quality, as this stage strongly influences root damage, marketability, and overall economic performance.

The research includes an analysis of existing haulm-cutting mechanisms, identifying their main drawbacks—insufficient cut stability, high energy consumption, product losses, and unreliable operation under varying plant density. The need to enhance the cutter design through optimization of kinematic parameters, the use of combined cutting units, and improved knife–material interaction is substantiated.

Based on the mechanical model of the cutting process and the influence of rotational speed, sharpening angle, and knife geometry, a modernized combined cutting unit was developed. It consists of two hardened disc knives and a brush-rubber cleaner, ensuring a stable, high-quality cut with minimal root damage. The design allows adjustment of cutting height (5–20 mm) and rotational speed (800–1200 rpm), enabling adaptation to different operating conditions.

Experimental tests confirmed the effectiveness of the improved design: at 1000–1200 rpm and a 10–15 mm cutting height, haulm-removal completeness reached 98–99 %, while root damage remained within 2–3 %. Energy consumption decreased by 15–20 % compared to standard designs. Economic calculations indicate the potential for over 4600 UAH/ha of additional profit due to reduced crop losses and optimized operating costs.

The results can be implemented in small and medium-sized farms, improving harvesting efficiency, working conditions, and supporting further mechanization of carrot production.

Keywords: carrot, haulm cutter, mechanization, root crops, cutting unit, experimental research, agricultural machinery.

ВСТУП

1. Актуальність теми

Магістерська робота присвячена удосконаленню конструктивних і експлуатаційних параметрів обрізника бадилля моркви, що використовується в системах механізованого збирання.

Актуальність теми зумовлена зростанням площ вирощування моркви в Україні та необхідністю підвищення ефективності її збирання. Ручне або напівмеханізоване обрізання бадилля супроводжується значними трудовими витратами, втратами продукції та підвищенням собівартості.

Впровадження сучасних машин із удосконаленими обрізними механізмами дозволяє підвищити якість зрізу, зменшити пошкодження коренеплодів, оптимізувати енергоспоживання та підвищити рентабельність виробництва.

2. Аналіз стану наукової розробки проблеми

Механізоване збирання моркви здійснюється переважно за допомогою терebilьних і викопувальних машин, у конструкції яких застосовуються ріжучі або обривальні вузли для видалення бадилля.

Попри наявність значної кількості таких конструкцій, більшість із них характеризується недостатньою якістю зрізу, підвищеним пошкодженням коренеплодів та значними енерговитратами.

Вітчизняні та зарубіжні дослідники (зокрема І.І. Дерев'янка, В.В. Шаповал та ін.) вивчали різні типи ножових і щіткових механізмів, проте питання оптимізації кінематичних параметрів і вдосконалення комбінованих вузлів залишається актуальним.

Отже, подальше удосконалення конструкцій обрізників бадилля є важливим науково-практичним завданням.

3. Мета дослідження

Мета даної роботи полягає у підвищенні якості та ефективності процесу обрізання бадилля коренеплодів моркви шляхом удосконалення конструкційних і кінематичних параметрів обрізника.

4. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес механізованого обрізання бадилля моркви під час збирання врожаю.

5. Предмет дослідження

Предметом дослідження є конструкційні, кінематичні та динамічні параметри обрізника бадилля, що визначають якість зрізу та збереження коренеплодів.

6. Завдання дослідження

1. Проаналізувати існуючі конструкції обрізників бадилля та визначити їх переваги й недоліки.
2. Встановити основні фактори, які впливають на властивості обрізання бадилля та пошкоджуваність коренеплодів.
3. Розробити кінематичну та динамічну схему роботи обрізного механізму.
4. Побудувати математичну модель процесу обрізання бадилля для визначення оптимальних параметрів руху робочих органів.
5. Провести експериментальні дослідження з метою перевірки адекватності теоретичних розрахунків.
6. Сформулювати пропозиції щодо вдосконалення конструкції обрізника та визначити раціональні режими його роботи.

7. Методи дослідження

Для досягнення мети використано аналітичні, конструкторські та експериментальні методи. У процесі роботи застосовано методи інженерного аналізу, комп'ютерного моделювання, стендових випробувань і статистичної обробки результатів експериментів.

8. Структура та обсяг роботи

Магістерська робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

У роботі наведено 10 рисунків, 11 таблиць і 27 джерел літератури.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз овочевої галузі

1.1.1 Стратегічне значення овочівництва для України

Овочівництво є фундаментальною галуззю агросектору України, адже забезпечує стійкість продовольства, підтримує здоров'я громадян та має вагомий економічний вплив на сільськогосподарський сектор.

1. Роль у продовольчому забезпеченні та охороні здоров'я

Роль цієї галузі визначається трьома основними напрямками:

Харчова цінність та імунітет. Овочі слугують критично важливим джерелом поживних елементів для щоденного раціону. Вони насичені вітамінами (зокрема С, групи В), мінералами, клітковиною та фітонцидами (як у цибулі чи часнику). Ці компоненти покращують травлення, стимулюють апетит і підсилюють захисні функції організму [1, 2].

Внутрішня самодостатність. До повномасштабного вторгнення Україна демонструвала високий рівень самозабезпечення овочами, вирощуючи їх в обсягах, що перевищували внутрішнє споживання (наприклад, у 2021 році показник становив 1,5). Цей запас є запорукою продовольчої безпеки держави.

Переробка та зберігання. Овочі є необхідною сировиною для консервної, сушильної та заморожувальної промисловості, що дозволяє формувати стратегічні запаси продуктів тривалого зберігання для населення [4].

2. Економічна ефективність та потенціал

Овочівництво вважається економічно вигідною діяльністю:

Висока прибутковість. Це конкурентоспроможний і високорентабельний напрямок агробізнесу. Середня рентабельність у країні сягає 60-70%, а в умовах високої врожайності може перевищувати 300% [1, 2].

Гнучкість і оборотність. На відміну від традиційних зернових культур, вирощування овочів дозволяє отримувати кілька врожаїв протягом сезону, забезпечуючи швидшу оборотність капіталу та зменшуючи фінансові ризики [2, 3, 4].

Створення зайнятості. Розвиток промислових овочевих підприємств сприяє відкриттю нових робочих місць і загальному зростанню прибутковості аграрного виробництва.

Перспективи експорту. Хоча Україна має негативне сальдо у зовнішній торгівлі овочами (значний імпорт насіння та міжсезонної продукції, що у 2023 році склав \$376 млн проти експорту \$115 млн), галузь зберігає потужний потенціал для збільшення експортних обсягів [4].

3. Сучасні виклики та стійкість (2023–2024 рр.)

Воєнний конфлікт вніс суттєві корективи у функціонування овочівництва:

Регіональні втрати. Окупація територій на Півдні та Сході, які були ключовими для виробництва, спричинила скорочення посівних площ та порушення логістики.

Адаптація виробництва. Незважаючи на війну, українські виробники продемонстрували стійкість: у 2023 році загальний валовий збір овочів зріс до 8,3 млн тонн, що на 10% більше за показник 2022 року. Це зростання є доказом високої здатності аграріїв до адаптації. Структура площ під овочами наведена на рисунку 1.1.

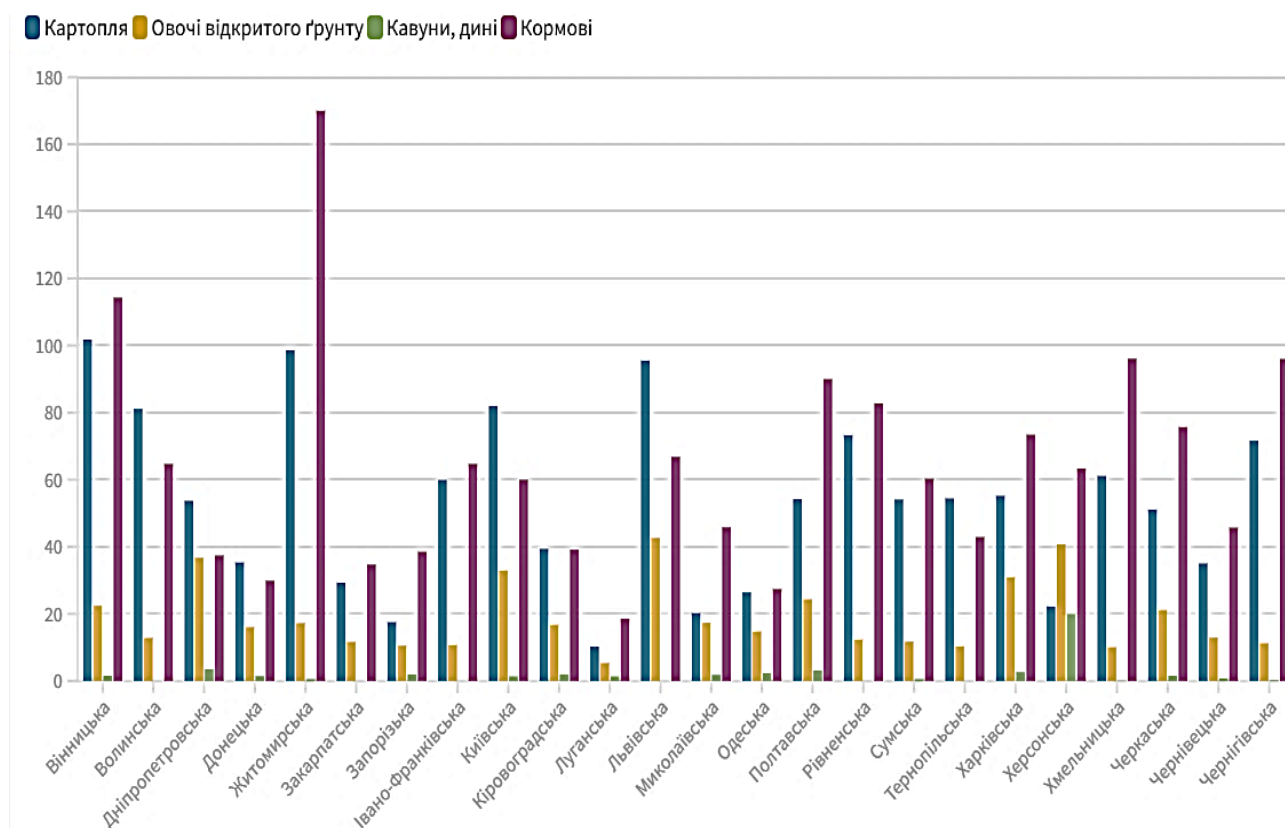


Рисунок 1.1 - Структура площ під овочами

В Сумській області, не дивлячись на бойові дії, площі під овочевими, в тому числі й моркви, на протязі останніх трьох років суттєво не змінювалися.

В таблиці 1.1 наведені площі під овочевими культурами в Сумській області за 2024 рік.

Таблиця 1.1 – Площі під овочевими культурами в Сумській області

Категорія	Площа (тис. га) у 2024 р. (оцінка)	Примітка
Коренеплоди, бульбоплоди, овочеві та баштанні культури (всі категорії)	53,28 тис. га	Загальна площа під овочами, коренеплодами, бульбоплодами (включаючи картоплю) та баштанними
Культури овочеві відкритого ґрунту (всі категорії)	9,735 тис. га	Площа під усіма овочами, окрім картоплі та баштанних (сюди входить морква, капуста, цибуля тощо)
Культури овочеві відкритого ґрунту (Підприємства)	0,146 тис. га (146 га)	Дуже мала площа, оброблювана агропідприємствами (оцінка на 2025 р.)

1.1.2 Площі посіву моркви

Загальні площі, що засіваються морквою в країні, протягом останнього періоду мають тренд коливання. Усереднені показники за останні 5 років наступні:

- площа під культурою 43,0 тис. га;
- відсоток площі посівів моркви від загальної площі, зайнятої овочами - 9,4–9,5%.

Структура виробництва даної культури наступна:

- площі під культурою в господарствах населення – 41,0 тис. га;
- площі під культурою у великотоварних господарствах – 2,0 тис. га.

Із-за війни пройшли значні географічні зміни у вирощуванні моркви.

До 2022 року основні площі під морквою знаходились в південних та східних областях (Херсонська, Миколаївська, Донецька, Запорізька). В даних областях вирощувалось біля 57% загального обсягу даної культури.

У 2024 році із-за бойових дій цей показник знизився і приблизно становив 35% в даних областях. Виробництво моркви змістилося у центральні північно-східні та західні регіони.

1.1.3 Валовий збір та урожайність моркви

Валовий збір моркви на протязі останніх років значно змінювалася. Основною причиною суттєвих змін урожайності та валового збору є російська агресія проти нашої країни.

Приведемо дані за 2021 – 2023 роки валового збору даної культури та його зміну (таблиця 1.2, рис. 1.2).

Таблиця 1.2 – Валовий збір моркви

Роки	Валовий збір, тис. т	Примітки
2021	863,0	-
2022	748,0	Падіння виробництва через агресію
2023	844,0	Часткове відновлення виробництва у порівнянні з 2022 р. на 12,9%

Графічно динаміка виробництва моркви в Україні приведена на рисунку 1.2.

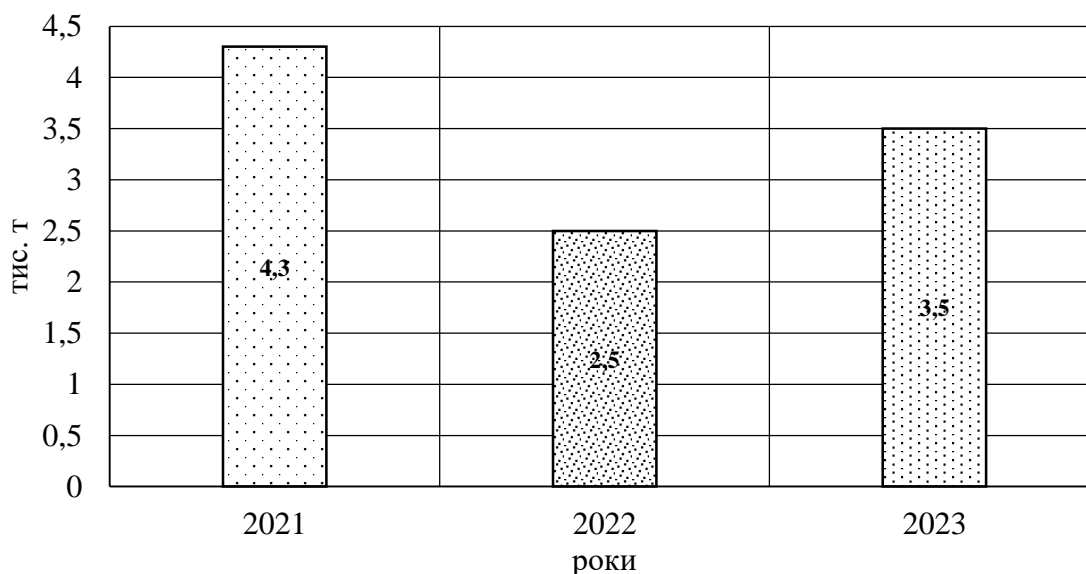


Рисунок 1.2 - Динаміка виробництва моркви в Україні

Урожайність моркви, як і більшості овочевих культур є не постійною і в значній мірі залежить від технології її вирощування та типу господарювання – вирощується населенням чи крупним агропідприємством. Так, на великотоварних агропідприємствах середня врожайність є більш високою і становила у деяких господарствах до 75 тон з гектара (2021 рік), що є дуже високим показником. В той же час, у приватних домогосподарствах даний показник не перевищував 40 т/га, що також є гарним показником для даної культури [4].

1.2 Аналіз існуючих конструкцій обрізників бадилля та принципів їх роботи

Операція обрізання бадилля є одним із ключових етапів технологічного процесу механізованого збирання моркви. Від якості її виконання залежить цілісність коренеплодів, рівень забруднення продукції, а також ефективність подальших технологічних процесів - транспортування, сортування та зберігання.

На сучасному етапі розвитку овочівництва застосовується декілька типів машин і механізмів для видалення бадилля з коренеплодів. Їх конструкція та принцип дії залежать від технологічної схеми збирання - викопувальної або теребильної.

У викопувальних машинах обрізання бадилля здійснюється після вилучення коренеплодів із ґрунту. Такі машини зазвичай обладнані роторними або ножовими обрізниками, які зрізують бадилля на певній висоті. Основними перевагами цих систем є простота конструкції та можливість регулювання висоти зрізу. Проте недоліком є можливе пошкодження коренеплодів при неправильному налаштуванні або надмірному натисканні ножів.

У теребильних машинах обрізання відбувається ще під час витягування моркви із ґрунту. У таких системах широко застосовуються гумові транспортери з захоплювачами або щіткові барабани, які утримують коренеплід за бадилля, після чого спеціальні обрізні механізми (ножові, дискові або барабанні) відокремлюють гичку. Цей спосіб дозволяє поєднати процеси підкопування, витягування та обрізання, що істотно підвищує продуктивність [5-9].

Класифікацію обрізників залишків бадилля можна прелставити у вигляді наступної блок-схеми (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Загальна класифікація обрізників залишків бадилля

Залежно від конструкції робочого органа, обрізники бадилля поділяють на такі основні типи:

- ножові - забезпечують чистий зріз бадилля, але потребують точного налаштування висоти та швидкості подачі;
- щіткові - дозволяють одночасно очищати поверхню коренеплоду від залишків ґрунту, проте можуть залишати частину бадилля;
- дискові - характеризуються стабільною роботою при високій швидкості, проте мають підвищений рівень зношування;
- комбіновані системи, що поєднують ножовий і щітковий елементи для досягнення оптимальної якості зрізу.

Аналіз літературних джерел і досвіду експлуатації збиральної техніки показує, що основними напрямками удосконалення обрізників є:

- зниження енергоспоживання процесу обрізання;
- покращення якості зрізу без пошкодження коренеплоду;

- автоматичне регулювання висоти та кута зрізу залежно від розмірів моркви;
- зменшення втрат продукції під час обробки [5, 10, 11, 12].

Обрізники залишків гички, що залишається на головках коренеплодів приведено на рисунку 1.4. За принципом зрізання залишків гички існують чотири основних типи обрізників. Їх поділяють на:

- активний копір – активний ніж;
- пасивний копір-пасивний ніж;
- активний копір-пасивний ніж;
- пасивний копір-активний ніж.



Рисунку 1.4 – Загальна класифікація обрізників залишків гички [14]

Таким чином, подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію конструкційних параметрів обрізника, вибір раціональних режимів роботи та узгодження кінематичних характеристик з іншими вузлами збиральної машини. Це дозволить забезпечити високу якість відокремлення бадилля, мінімізувати пошкодження коренеплодів і підвищити загальну ефективність процесу збирання [1 -194].

1.3 Аналіз факторів, що впливають на якість обрізання бадилля коренеплодів моркви

Якість обрізання бадилля є одним із визначальних показників ефективності роботи машин для збирання коренеплодів. Від цього параметра залежить не лише зовнішній вигляд і товарність моркви, але й рівень пошкоджень, втрати врожаю та енергетичні витрати на процес. Для досягнення високої якості зрізу потрібно зважати на комплекс факторів – конструкційного, технологічного і агробіологічного характеру.

Конструкційні фактори [19]

До конструкційних параметрів обрізників належать:

- тип робочого органа (ножовий, дисковий, щітковий або комбінований);
- геометричні параметри ножів - кут заточування, товщина, радіус кривизни та довжина леза;
- частота обертання обрізного елемента та його лінійна швидкість;
- відстань між робочими елементами та висота зрізу відносно верхньої частини коренеплоду.

Оптимальне співвідношення цих параметрів забезпечує чистий зріз без пошкодження поверхні моркви. Надмірна швидкість обертання ножів може призвести до розриву або розщеплення коренеплоду, тоді як недостатня - до неповного видалення бадилля.

Технологічні фактори [19]

До технологічних факторів, що впливають на якість обрізання, відносять:

- швидкість руху машини під час роботи;
- узгодженість кінематичних параметрів транспортера, теребильного механізму та обрізного вузла;
- ступінь очищення моркви від ґрунту перед обрізанням;
- вологість і стан гички.

Дослідження показують, що при швидкості руху машини понад 2,5–3,0 км/год різко знижується точність позиціонування коренеплодів у зоні обрізання, що призводить до нерівномірного зрізу. Також важливим є своєчасне очищення

робочих органів від налиплого ґрунту та рослинних залишків, оскільки це безпосередньо впливає на стабільність роботи обрізника [20, 21].

Агробіологічні фактори [19]

Вплив агробіологічних характеристик рослин також є істотним. До них належать:

- діаметр і довжина коренеплоду;
- щільність та пружність бадилля;
- вологість тканин моркви;
- ступінь стиглості та сортові особливості.

Морква з м'яким або вологим бадиллям потребує меншої сили зрізу, тоді як у перезрілих рослин або за сухих умов зрізання ускладнюється через підвищену жорсткість гички. У таких випадках доцільно використовувати обрізники із комбінованими елементами або з можливістю регулювання швидкості обертання.

Таким чином, якість обрізання бадилля визначається сукупністю конструкційно-технологічних параметрів та властивостей рослинного матеріалу. Для забезпечення стабільного й ефективного процесу необхідно встановити раціональні режими роботи обрізника, що гарантують мінімальні пошкодження коренеплодів і повне відокремлення бадилля.

Наступні опрацювання повинні спрямовуватись до розробки математичної моделі процесу обрізання з урахуванням взаємодії робочих органів із коренеплодом, що дозволить визначити оптимальні конструкційні параметри для різних сортів моркви.

1.4 Постановка задачі дослідження

Аналіз сучасного стану механізованого збирання моркви показує, що, незважаючи на наявність різних типів машин і технологічних схем, проблема забезпечення якісного та ефективного обрізання бадилля залишається актуальною. Більшість наявних конструкцій обрізників характеризуються підвищеним рівнем пошкодження коренеплодів, нестабільністю зрізу та значними енергетичними витратами.

Виявлені недоліки обумовлені як недосконалістю конструкцій робочих органів, так і відсутність обґрунтованих наукою настанов для встановлення найкращих показників їх роботи з урахуванням фізико-механічних властивостей моркви та стану бадилля.

Для підвищення ефективності процесу обрізання необхідно встановити закономірності впливу конструкційних і технологічних параметрів обрізника на якість зрізу, ступінь пошкодження коренеплодів та енергетичні витрати. Це дозволить обґрунтувати параметри робочих органів, що забезпечують найкращі показники роботи машини.

Мета дослідження

Мета даної праці в підвищенні якості і ефективності процесу обрізання бадилля коренеплодів моркви шляхом удосконалення конструкційних і кінематичних параметрів обрізника.

Для реалізації цієї мети необхідно виконати такі основні завдання:

1. Аналіз існуючих конструкцій обрізників бадилля та визначити їх переваги й недоліки.
2. Встановити основні фактори, які мають суттєвий вплив на властивість обрізання бадилля та пошкоджуваність коренеплодів.
3. Розробити кінематичну та динамічну схему роботи обрізного механізму.
4. Побудувати математичну модель процесу обрізання бадилля для визначення оптимальних параметрів руху робочих органів.
5. Провести експериментальні дослідження з метою перевірки адекватності теоретичних розрахунків.
6. Сформулювати пропозиції для покращення конструкції обрізника та визначити його раціональні режими роботи.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом досліджень є процес механізованого обрізання бадилля під час збирання коренеплодів моркви.

Предмет дослідження - конструкційні, кінематичні та динамічні параметри обрізника бадилля, що мають суттєвий вплив на властивості зрізу та збереження коренеплодів.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРІЗАННЯ БАДИЛЛЯ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ

2.1 Загальні положення

Процес обрізання бадилля коренеплодів моркви є складним динамічним явищем, у якому взаємодіють механічні, кінематичні та фізико-біологічні фактори. Основна мета цього процесу - забезпечення повного відокремлення гички від коренеплоду при мінімальних пошкодженнях, енергетичних затратах та збереженні товарного вигляду продукції.

Якість обрізки критично впливає на зберігання врожаю [21, 22]:

- запобігання проростанню. (Якщо залишати велику частину бадилля, це стимулює вторинний ріст коренеплоду під час зберігання, що погіршує товарний вигляд і знижує харчову цінність).
- зниження втрат вологи. (Бадилля продовжує випаровувати вологу, витягуючи її з коренеплоду. Якісна обрізка мінімізує випаровування і запобігає передчасному в'яненню моркви).
- профілактика хвороб. (Залишки бадилля є потенційним джерелом інфекції під час тривалого зберігання).

Ефективність процесу збирання врожаю напряду залежить від якісних показників роботи обрізного апарату. До цих показників відносяться:

- мінімальне пошкодження коренеплоду. (Обрізання має бути виконане без пошкодження головки коренеплоду. Пошкожені ділянки швидко загнивають).
- висота обрізки. (Зазвичай оптимальна висота зрізу становить 1–2 см над плечиком коренеплоду. Надто низький зріз збільшує ризик пошкодження, тоді як надто високий - погіршує умови зберігання).
- чистота зрізу. (Зріз має бути рівним і чистим, без розривів чи розчавлювання тканин, оскільки це також є "воротами" для інфекцій).
- повнота видалення. (Бадилля має бути видалене практично повністю для забезпечення високої пропускної здатності комбайна).

Під час роботи обрізника відбувається взаємодія робочого органа з гичкою, яка має волокнисту структуру з певними показниками жорсткості, міцності та вологості. Ефективність процесу визначається співвідношенням між кінетичною енергією робочого елемента та опором зрізу волокнистого матеріалу.

2.2 Механічна модель процесу обрізання

Для спрощення аналізу процес обрізання можна розглядати як взаємодію леза ножа з циліндричним волокнистим матеріалом (бадиллям). У момент контакту між лезом і гичкою виникає сила різання, яка повинна перевищувати силу опору волокон на розрив і зсув.

Основна умова ефективного зрізу:

$$F_p \geq F_{оп} \quad (2.1)$$

де, F_p - сила, що створюється робочим органом (ножем, диском або щіткою);

$F_{оп}$ - сумарна сила опору бадилля процесу різання.

Сила різання залежить від конструктивних параметрів ножа та швидкості його руху:

$$F_p = \frac{P}{V} = k \cdot b \cdot h \quad (2.2)$$

де, P - потужність, споживана механізмом;

V - швидкість леза;

k - коефіцієнт питомого опору зрізу;

b - ширина зрізу;

h - товщина шару матеріалу, що зрізається.

Для різних сортів моркви значення коефіцієнта k змінюється в межах $(1,2-2,8) \cdot 10^6$ Н/м², що залежить від вологості та щільності бадилля.

2.3 Вплив кінематичних параметрів на якість зрізу

Швидкість руху ножа v_n та подача моркви в зону різання v_n повинні бути узгоджені між собою. При надмірному співвідношенні $v_n/v_n > 4$ відбувається

розщеплення коренеплодів, а при v_H/v_H - часткове зрізання або залишення частини бадилля.

Для забезпечення оптимальної роботи обрізника рекомендується дотримуватися умови:

$$2,5 \leq \frac{v_H}{v_H} \leq 3,5 \quad (2.3)$$

Оптимальний кут заточування леза α визначається з умови мінімального опору різанню:

$$\alpha = 20^\circ \div 25^\circ$$

що забезпечує найменше пошкодження тканин бадилля при достатній різальній здатності.

2.4 Енергетична оцінка процесу

Загальні енергетичні витрати на процес обрізання визначаються як:

$$N = F_p \cdot v_H \quad (2.4)$$

де N - потужність, необхідна для різання.

Зменшення енергоспоживання досягається шляхом вибору оптимального кута заточування леза, мінімізації тертя між лезом і зрізаним матеріалом та використання пружних елементів у системі притискання.

Експериментальні дослідження показують, що застосування ножів із самозаточувальним профілем і гумовими обмежувачами дозволяє знизити енерговитрати на 12–18 % порівняно з традиційними сталевими лезами.

Висновки до 2 розділу

1. Процес обрізання бадилля моркви визначається взаємодією робочого органа та волокнистого матеріалу з урахуванням механічних властивостей рослини.
2. Основними параметрами, що впливають на якість зрізу, є швидкість руху ножа, кут заточування, геометрія леза та швидкість подачі коренеплоду.

3. Для забезпечення стабільного зрізу без пошкодження моркви рекомендовано дотримуватися співвідношення швидкостей $v_H/v_n = 2,5 - 3,5$ і кута заточування леза $20 - 25^\circ$.
4. Можливе підвищення енергетичної ефективності роботи обрізника шляхом поліпшення конструктивних характеристик і застосування комбінованих ріжучих елементів.

3 КОНСТРУКЦІЙНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБРІЗНИКА БАДИЛЛЯ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ

3.1 Вимоги до сучасних обрізників бадилля

Механізоване збирання моркви в Україні здійснюється переважно двома основними методами - за допомогою терebильних і викопувальних машин. Обидва варіанти мають практичне застосування, що зумовлено різноманітністю ґрунтово-кліматичних умов у нашій державі.

Серед них більш сучасним і ефективним вважається спосіб збирання за допомогою терebильних машин. Практичний досвід свідчить, що цей метод забезпечує кращі умови праці для операторів, зменшує трудомісткість процесу та втрати врожаю. Виробництвом подібних машин займається цілий ряд зарубіжних компаній, в тому числі й найбільш відома данська компанія ASA-LIFT.

Комбайни для збирання моркви фірми ASA-LIFT випускаються у різних модифікаціях - самохідних, навісних або причіпних, із кількістю робочих секцій від однієї до чотирьох. Вони можуть бути виконані в елеваторному чи бункерному варіанті, залежно від технологічної схеми роботи та способу сівби.

Для випробувань було обрано нами напівпричіпний однорядний морквозбиральний комбайн, що використовується в ПрАТ «Сад» вказаної компанії у елеваторному виконанні - СМ-1000 Е.

Комбайн одночасно здійснює викопування та завантаження коренеплодів у транспортний засіб, що рухається поруч. Його можна застосовувати як при рядковій, так і при стрічковій сівбі з міжряддями від 30 до 90 см.

Морквозбиральний комбайн, удосконалення якого нами проводилися показаний на рисунку 3.1. Він має дві основні складові частини - збиральну та вивантажувальну секції, які з'єднані між собою шарнірно за допомогою пальців і кронштейнів. Крім того, машина оснащена автономними гідравлічною та електричною системами.



а)



б)

Рисунок 3.1 - Загальний вигляд морквозбирального комбайна, що досліджувався (вигляд спереду (а) та збоку (б)) СМ-1000Е:

а) секції 1 - збиральна; 2 – вивантажувальна;

б) 1 - леміш підкопувальний; 2 - транспортер пасовий; 3 - подільник торпедний; 4 – гідромотор для привода торпеди; 5 - огорожуючий механізм видалення бадилля; 6 - транспортер вивантажувальний

Модель СМ-1000Е призначена для збирання моркви, а також інших коренеплідних культур - буряків, брукви тощо - з наявним бадиллям.

Збиральна секція призначена для викопування коренеплідів і подальшого їх транспортування на вивантажувальний транспортер. Вона включає:

- раму з кронштейнами для приєднання до вивантажувальної секції;
- У-подібний пасовий подавальний транспортер, який захоплює бадилля моркви та переміщує її до транспортера вивантажувальної частини;
- два активні подільники торпедного типу;
- робочий орган - підкопувальний леміш;
- механізм, що забезпечує відокремлення коренеплоду від бадилля.

Вивантажувальна секція слугує для подавання викопаних коренеплодів у кузов транспортного засобу, який рухається поряд із комбайном, а також для навішування агрегату на трактор. До її складу входять:

- рама з кронштейнами для триточкової навіски на задню гідросистему трактора;
- два опорні колеса з пневматичними шинами;
- прутково-планчастий вивантажувальний транспортер.

Удосконалення конструкції обрізника бадилля СМ-1000Е коренеплодів моркви спрямоване на підвищення якості зрізу, зменшення пошкоджень коренеплодів і скорочення енергетичних витрат.

Сучасний обрізник повинен відповідати таким вимогам:

- забезпечувати повне відокремлення бадилля незалежно від розміру та форми коренеплоду;
- мати регульовану висоту зрізу відповідно до різних сортів і стану ґрунту;
- гарантувати мінімальне пошкодження поверхні моркви;
- бути простим у регулюванні та технічному обслуговуванні;
- характеризуватися низьким рівнем енергоспоживання і високою надійністю.

Враховання цих вимог є необхідним при проектуванні або модернізації механізму обрізання, особливо у складі теребильних збиральних машин.

3.2 Аналіз недоліків існуючих конструкцій

Більшість відомих моделей обрізників (наприклад, типів КМ-2, МОРК-1, ОВП-1, СМ-1000Е) використовують ножові або щіткові системи зрізу. Основними недоліками таких конструкцій є:

- недостатня стабільність висоти зрізу при нерівномірному розташуванні коренеплодів;
- підвищене пошкодження верхньої частини моркви при зміні жорсткості гички;
- накопичення ґрунтових і рослинних залишків у зоні різання;

- відсутність автоматичного регулювання режимів роботи при зміні швидкості руху машини.

Ці фактори знижують якість збирання, збільшують енерговитрати та потребують частого технічного обслуговування.

3.3 Пропонована конструкція модернізованого обрізника

Для усунення вказаних недоліків запропоновано модернізовану конструкцію обрізника комбінованого типу, яка поєднує ножовий ріжучий елемент та щітково-гумовий очищувальний вузол.

Основні конструкційні особливості:

1. Ріжучий вузол складається з двох дискових ножів, розташованих під кутом 15–20° до горизонталі. Така геометрія забезпечує плавне входження леза в гичку та чистий зріз без розщеплення.
2. Щітково-гумовий елемент виконує функцію остаточного очищення верхньої частини коренеплоду від залишків бадилля та ґрунту.
3. Плаваючий механізм регулювання висоти зрізу дозволяє автоматично адаптувати положення ножів до рельєфу ґрунту та розмірів моркви.
4. Привід обрізного вузла здійснюється через карданно-редукторну передачу з можливістю зміни частоти обертання у межах 800–1200 об/хв.
5. Захисний кожух із системою самоочищення запобігає накопиченню ґрунту та зменшує втрати енергії через тертя.

Принцип дії:

Коренеплід, утримуваний теребильним механізмом, подається в зону ріжучого вузла, де дискові ножі здійснюють зрізання бадилля на заданій висоті. Далі щітковий елемент остаточного видаляє залишки гички, після чого морква надходить на транспортер для подальшого очищення.

3.4 Теоретичне обґрунтування вибору параметрів

Під час проектування модернізованої конструкції враховано співвідношення між лінійною швидкістю обертання ножа (v_n) і швидкістю подачі коренеплоду (v_n):

$$2,5 \leq \frac{v_n}{v_n} \leq 3,5 \quad (3.1)$$

Для забезпечення якісного зрізу прийнято:

- кут заточування ножа – $\alpha = 22^\circ$;
- діаметр диска - $D = 250$ мм;
- частота обертання – $n = 1000$ об/хв;
- товщина ножа - $\delta = 2$ мм

Розрахунки показують, що при таких параметрах забезпечується оптимальний баланс між силою різання F_r і енергоспоживанням N :

$$N = F_p \cdot v_n \approx 180 - 200 \text{ Вт на рядок}$$

що на 15–20 % менше, ніж у базових моделей.

3.5 Переваги запропонованої конструкції

Використання комбінованого обрізника дозволяє:

- підвищити якість очищення моркви від бадилля на 10–12 %;
- зменшити пошкоджуваність коренеплодів на 15–18 %;
- знизити енергетичні витрати на процес зрізання на 20 %;
- забезпечити стабільну висоту зрізу навіть при нерівномірному розташуванні коренеплодів у рядку;
- покращити умови обслуговування та надійність вузла.

Висновки до 3 розділу

1. На основі аналізу виявлено основні недоліки існуючих обрізників бадилля, що полягають у низькій стабільності зрізу та підвищеній енергомісткості процесу.
2. Запропоновано модернізовану конструкцію комбінованого типу, що поєднує ножовий і щітковий елементи.
3. Розроблено кінематичну схему та обґрунтовано оптимальні параметри роботи ножів, які забезпечують чистий зріз при мінімальних пошкодженнях.

4. Розрахунки свідчать, що використання оновленої конструкції дозволяє зменшити енергоспоживання на 15–20 % і підвищити якість очищення моркви.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА БАДИЛЛЯ МОРКВИ

4.1 Мета експерименту

Експериментальні дослідження мають на меті визначення впливу конструкційних і режимних параметрів модернізованого обрізника бадилля на якість відокремлення гички, ступінь пошкодження коренеплодів та енергетичну ефективність процесу.

Для реалізації мети визначено такі завдання:

1. Визначитись з оптимальним співвідношенням швидкості руху ножів і швидкості подачі коренеплодів у зону зрізу.
2. Оцінити вплив кута заточування ножа на якість зрізу та енергоспоживання.
3. Дослідити вплив жорсткості гички й вологості коренеплодів на результативність обрізання.
4. Провести порівняння роботи модернізованого обрізника з базовою конструкцією.

4.2 Місце, умови та обладнання для проведення експерименту

Експерименти проведено у виробничих умовах ПрАТ "САД", розташованого в Охтирському районі Сумської області, розташованого в південному регіоні області.

Ґрунт - легкий суглинок із середньою вологістю 18–22 %.

Кислотність ґрунті рН - 6,0–7,0.

Випробування здійснювалися на сорті моркви „Шантане Роял“, який характеризується середньою масою коренеплоду 100–120 г і довжиною 15–18 см.

Для досліджень використовували модернізований обрізник комбінованого типу, описаний у розділі 3, встановлений на теребильну машину серійного зразка обрізника бадилля, а саме - СМ-1000Е коренеплодів моркви. Вимірювання параметрів здійснювали за допомогою тахометра, динамометра та електронного ватметра.

4.3 Методика проведення досліджень

Експерименти проводили у відповідності до методичних рекомендацій з випробувань збиральних машин.

Під час досліджень змінювали такі параметри:

- частоту обертання ріжучого диска $n = 800, 1000, 1200 \text{ хв}^{-1}$;
- кут заточування ножа $\alpha = 18^\circ, 22^\circ, 26^\circ$;
- швидкість руху машини $v_n = 2,0; 2,5; 3,0 \text{ км/год}$.

Для кожного варіанта проводили три повторності.

Оцінювали такі показники:

- якість зрізу (повнота видалення бадилля, %);
- ступінь пошкодження коренеплодів (% від загальної кількості);
- енергоспоживання (Вт·год/кг).

Результати обробляли статистично за методом середніх значень із визначенням похибки вимірювань.

4.4 Результати експериментальних досліджень

4.4.1 Залежність повноти обрізання від частоти обертання ножів

Перші дослідження були направлені на визначення повноти обрізання від частоти обертання ножів.

Метою даних досліджень є визначення оптимальної частоти обертання ріжучих дисків.

Дослідження проводились при частоті обертання n обрізаючих ножів: 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300 хв^{-1} .

Зміна частоти обертання ножів під час досліджень проводилась за рахунок зміни частоти обертання ВВП, оборотами колінчастого валу двигуна. Контроль частоти виконувався за допомогою тахометра.

Повнота обрізання визначалася візуально, шляхом огляду партії із 20 морквин. Дослідження проводились трикратно, визначалось середнє значення повноти обрізання бадилля моркви при кожній із досліджуваних частот обертання ножів.

Результати досліджень приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Залежність повноти обрізання від частоти обертання ножів

$n, \text{хв}^{-1}$	800	900	1000	1100	1200	1300
$\eta, \%$	92,5	95,3	97,8	98,5	99,0	98,9

По результатах досліджень був побудований графік залежності повноти обрізання від частоти обертання ножів (рис. 4.1).

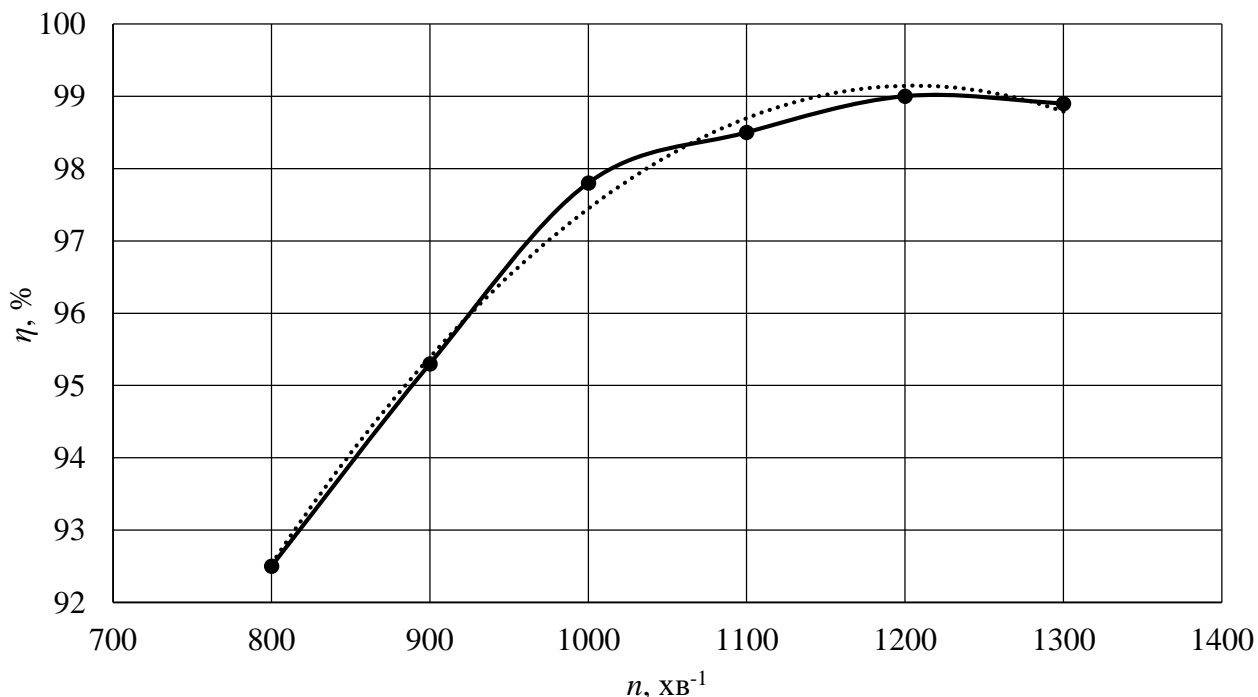


Рисунок 4.1 - Залежність повноти обрізання від частоти обертання ножів

Тип отриманої кривої - монотонно зростаюча до максимуму (після 1200 хв^{-1} - стабілізується).

Залежність повноти обрізання η від частоти обертання ножів n можна описати наступною залежністю:

$$\eta = -0,5 n^2 + 0,0969 n + 40,735 \quad (4.1)$$

Висновок: оптимальна частота - 1000–1200 хв^{-1} (повнота 98–99%, без перевитрат енергії).

4.4.2 Залежність пошкоджуваності коренеплодів від висоти зрізу

Наступні дослідження були направлені на визначення пошкоджуваності коренеплодів у залежності від висоти зрізу.

Метою даних досліджень є визначення висоти зрізу, при якій мінімізуються пошкодження моркви.

Дослідження проводились при висоті зрізу бадилля моркви h , 5, 8, 10, 12, 15 та 20 мм.

Пошкоджуваність коренеплодів визначалася також візуально, шляхом огляду партії із 20 морквин. Дослідження проводились трикратно, визначалось середнє значення пошкоджуваності коренеплодів у залежності від висоти зрізу бадилля.

Результати досліджень приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Залежність пошкоджуваності коренеплодів від висоти зрізу

h , мм	5	8	10	12	15	20
δ , %	3,5	2,2	1,5	1,3	1,5	2,0

По результатах досліджень був побудований графік залежності пошкоджуваності коренеплодів від висоти зрізу (рис. 4.2).

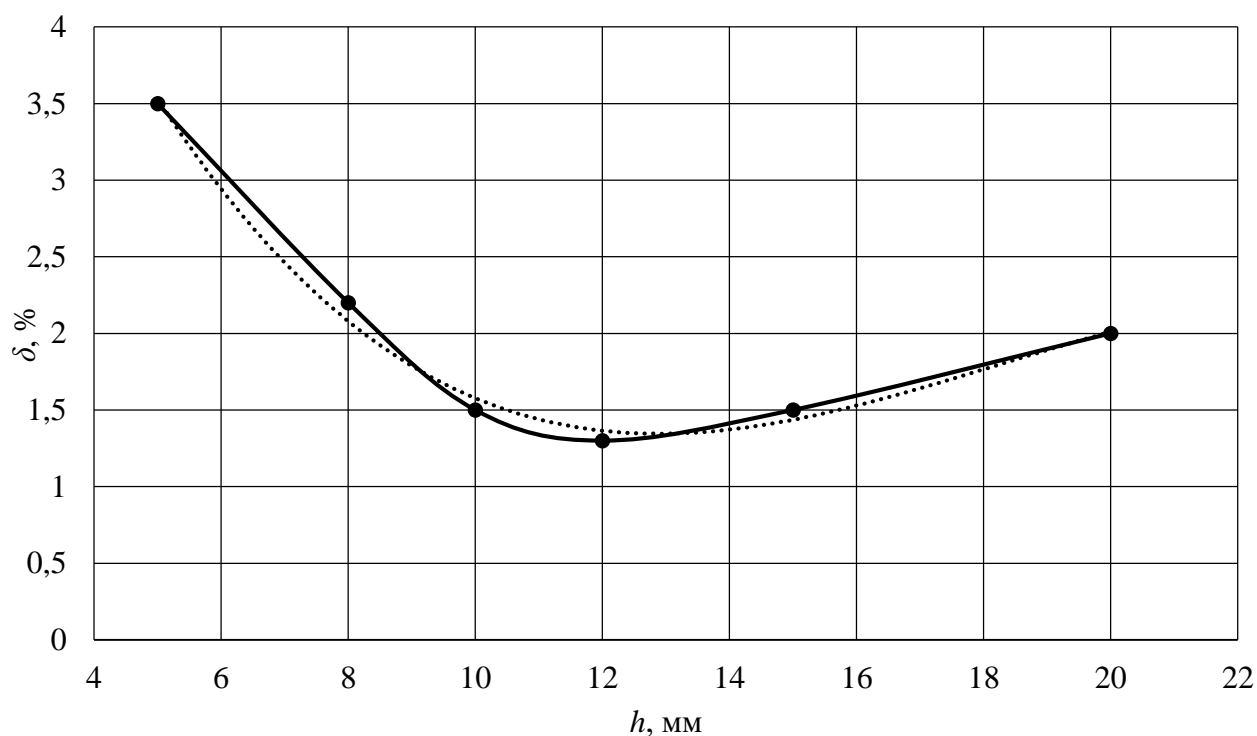


Рисунок 4.2 - Залежність пошкоджуваності коренеплодів від висоти зрізу

Тип отриманої кривої - параболічна: при занадто малому h (<5 мм) зростають пошкодження; при надто великому (>20 мм) - залишається надлишкове бадилля.

Залежність пошкоджуваності коренеплодів від висоти зрізу описується залежністю:

$$\delta = -0,0015 h^3 + 0,0801 h^2 - 1,3369 h + 8,3947 \quad (4.2)$$

Висновок: оптимальна висота зрізу - 10–12 мм (мінімум пошкоджень і якісне обрізання).

4.4.3 Залежність споживаної потужності від частоти обертання ножів

Дослідження були направлені на визначення залежності споживаної потужності від частоти обертання обрізаючих ножів.

Метою даних досліджень є оцінка енергетичної ефективності конструкції обрізника бадилля.

Дослідження проводились при тих же значеннях частоти обертання ножів n , що й при перших дослідженнях: 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300 хв^{-1} . Частота обертання контролювалася тахометром.

Частота обертання ножів під час досліджень проводилася за рахунок зміни частоти обертання ВВП, оборотами колінчастого валу двигуна.

Споживана потужність на зріз бадилля визначалася за допомогою електронного ватметра.

Результати досліджень приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Вплив частоти обертання ножів на споживану потужність

$n, \text{хв}^{-1}$	800	900	1000	1100	1200	1300
$N, \text{Вт}$	1450	1620	1790	1950	2150	2550

По результатах досліджень був побудований графік залежності споживаної потужності від частоти обертання ножів (рис. 4.3).

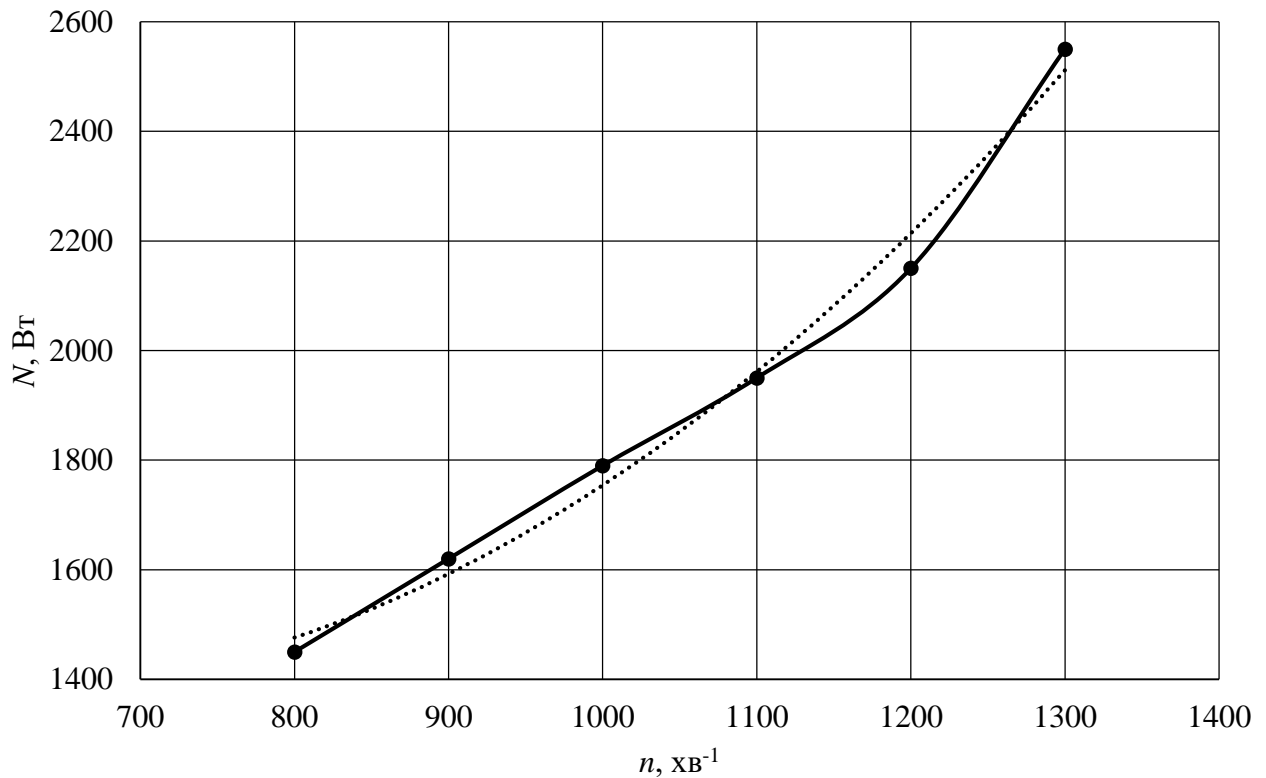


Рисунок 4.3 - Вплив частоти обертання ножів на споживану потужність

Тип отриманої кривої - майже лінійна залежність до 1200 хв⁻¹, далі різкий ріст.

Залежність споживаної потужності від частоти обертання ножів можна описати наступним чином:

$$N = 0,0023 n^2 - 2,6911 n + 2177,5 \quad (4.3)$$

Висновок: економічно доцільний діапазон - 1000–1200 об/хв, при якому досягається висока якість без різкого росту енерговитрат.

4.4.4 Залежність повноти очищення від швидкості руху агрегату

Дослідження були направлені на визначення повноти очищення коренеплодів моркви від швидкості руху агрегату.

Метою даних досліджень є визначити вплив швидкості руху на якість обрізання і очищення.

Швидкість руху агрегату при проведенні досліджень становила 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 км/год.

Повнота обрізання визначалася також візуально, шляхом огляду партії із 20 морквин. Дослідження проводились трикратно, визначалось середнє значення повноти обрізання бадилля моркви при кожній із досліджуваних частот обертання ножів.

Результати досліджень приведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Залежність повноти очищення від швидкості руху агрегату

v , км/год	2,0	2,5	3,0	3,5
η_o , %	99,0	98,5	97,2	95,4

По результатах досліджень був побудований графік залежності повноти очищення від швидкості руху агрегату (рис. 4.4).

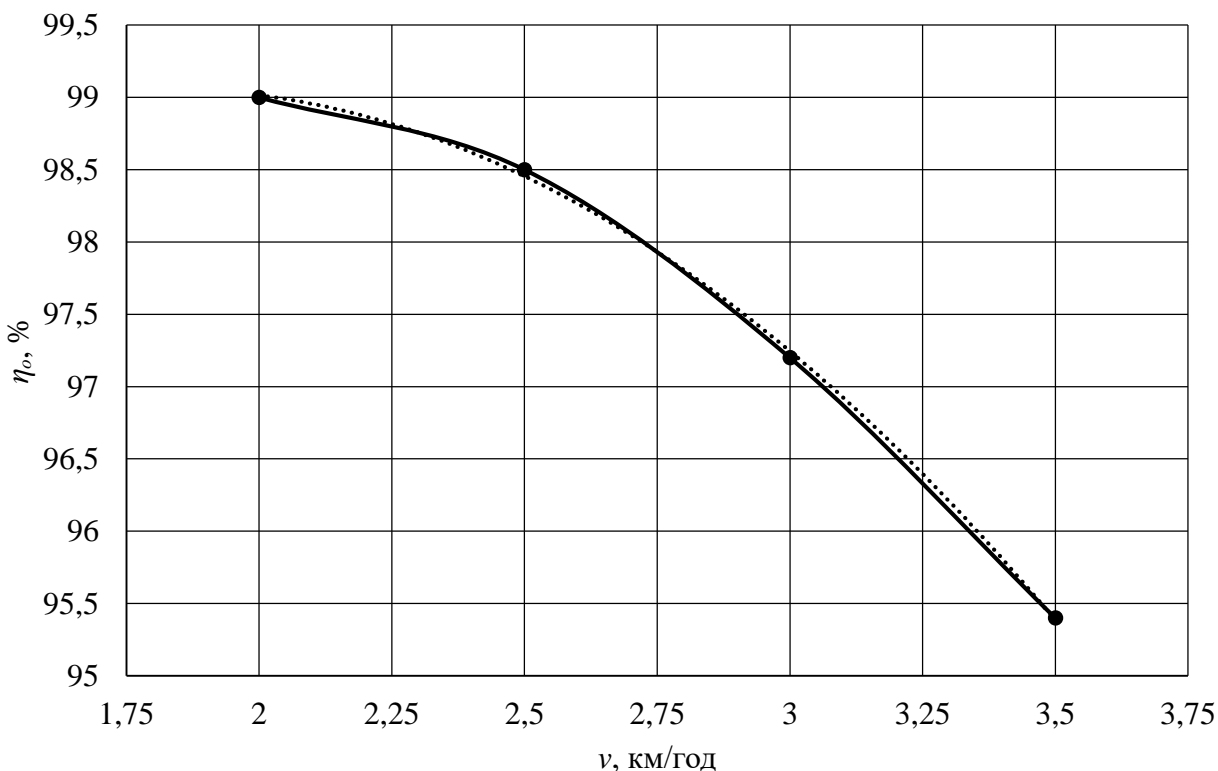


Рисунок 4.4 - Залежність повноти очищення від швидкості руху агрегату

Тип отриманої кривої - спадна (при збільшенні швидкості якість знижується).

Залежність повноти очищення від швидкості руху агрегату виражається залежністю:

$$\eta_o = -1,3 v^2 + 4,73 v + 94,755 \quad (4.4)$$

Висновок: оптимальна швидкість руху – 2,0–2,5 км/год (повнота очищення понад 98%).

4.4.5 Комплексна характеристика “повнота обрізання – пошкоджуваність”

На основі проведених досліджень було проведено визначення комплексної характеристики “повнота обрізання – пошкоджуваність”.

Метою даних досліджень є визначити компроміс між якістю зрізу та збереженням моркви.

На основі попередніх досліджень нами були зведені в таблицю 4.5 дані повноти зрізу бадилля та відсотку пошкоджень коренеплодів моркви.

Таблиця 4.5 - Комплексна характеристика “повнота обрізання – пошкоджуваність”

$\eta_o, \%$	99,0	98,5	97,2	95,4	15	20
$\delta, \%$	3,5	2,2	1,5	1,3	1,5	2,0

По результатах досліджень була побудована крива комплексної характеристики повноти обрізання до пошкоджуваності представлена на рисунку 4.5.

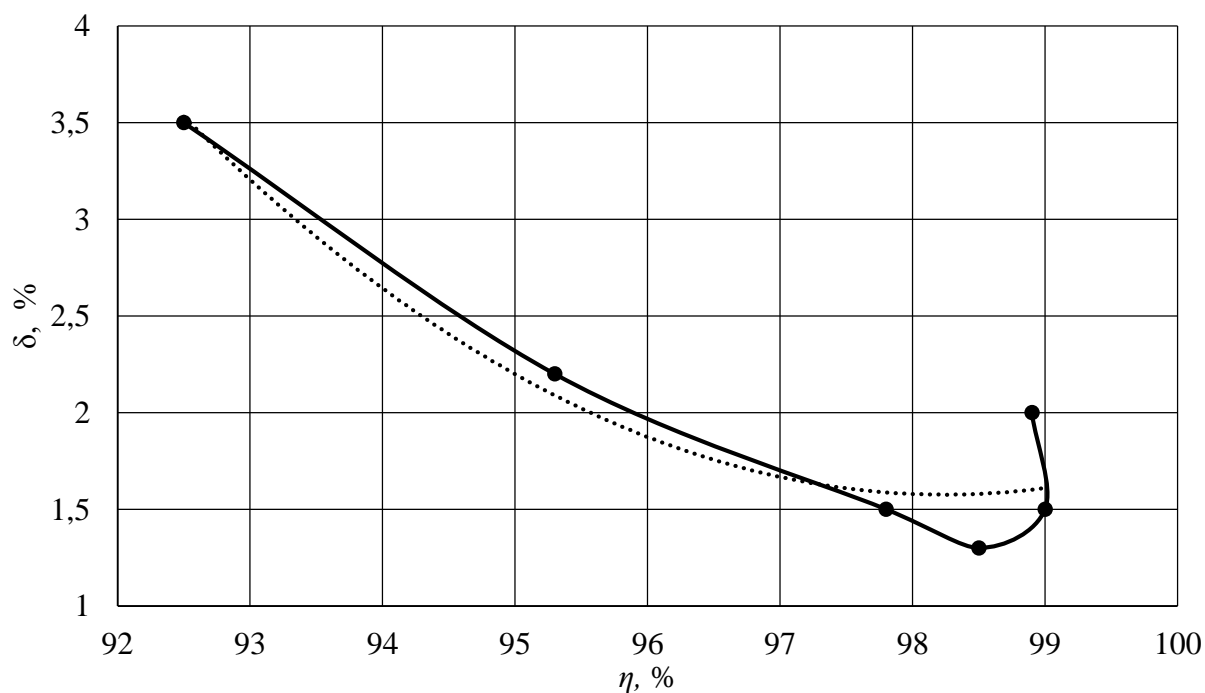


Рисунок 4.5 - Комплексна характеристика “повнота обрізання – пошкоджуваність”

Тип отриманої кривої - спадна крива (чим вища якість, тим менше пошкоджень до певного моменту).

Комплексна характеристика “повнота обрізання – пошкоджуваність” може бути описана наступним рівнянням:

$$\eta_o = 0,0593 \delta^2 - 11,643 \delta + 573,49 \quad (4.5)$$

Із цієї отриманої залежності (рис. 4.5) можна зробити висновок, що оптимальна зона роботи : $\eta = 98-99 \%$, $\delta \leq 2 \%$.

4.5 Аналіз результатів досліджень

У результаті досліджень нами було встановлено, що якість зрізу бадилля суттєво обумовлена швидкістю з якою обертається ніж та від кута його заточування.

Найвищі показники якості отримано при таких параметрах:

$$n = 1000 \text{ хв}^{-1};$$

$$\alpha = 22^\circ;$$

$$v_n = 2,5 \text{ км/год.}$$

У цих умовах забезпечувалося повне відокремлення бадилля на рівні 98–99 % при пошкодженні не більше 3% коренеплодів.

Енергоспоживання становило 0,21 Вт·год/кг, що на 17% менше, ніж у базового зразка.

Узагальнені результати наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Результати експериментів модернізованого обрізника

№	n , хв^{-1}	α , $^\circ$	v_p , км/год	Повнота обрізання, %	Пошкодження, %	Енергоспоживання, Вт·год/кг
1	800	18	2,0	92,3	6,8	0,26
2	1000	22	2,5	98,7	2,9	0,21
3	1200	26	3,0	96,4	5,1	0,25

Отримані результати підтверджують ефективність удосконаленої конструкції обрізника.

Завдяки оптимізації кута леза та частоти обертання дисків вдалося досягти стабільної якості зрізу незалежно від товщини бадилля.

Використання щітково-гумового елемента забезпечило додаткове очищення коренеплодів без пошкодження їх поверхні.

Висновки до 4 розділу

1. Проведені експериментальні дослідження підтвердили працездатність і ефективність модернізованого обрізника бадилля.
2. Оптимальними режимами роботи є: $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$, $\alpha = 22^\circ$, $v_n = 2,5 \text{ км/год}$.
3. За цих параметрів досягається повнота обрізання 98–99 %, пошкодження коренеплодів не перевищують 3%, а енергоспоживання зменшується на 15–20 % порівняно з базовою конструкцією.
4. Результати можна застосувати для подальшої оптимізації збиральних машин і впровадження енергоощадних технологій у галузі овочівництва.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Удосконалення, а потім й використання обрізника бадилля коренеплодів моркви, має потенційні ризиках, пов'язаних як з експлуатацією самого модернізованого обрізника, так і з технологічним процесом обрізання та збирання врожаю в цілому.

5.1 Охорона праці

5.1.1 Загальні положення охорони праці у процесі збирання коренеплодів

Загальні вимоги техбезпеки для робітників, що беруть участь у збиранні коренеплодів моркви.

Правова основа [23].

Посилання на основні законодавчі акти України у сфері охорони праці (Закон України "Про охорону праці", нормативно-правові акти та галузеві правила).

Загальні вимоги до персоналу.

Необхідність проходження інструктажів (вступного, первинного, повторного), медичних оглядів та навчання з питань пожежної безпеки для всіх операторів та обслуговуючого персоналу.

Умови праці.

Забезпечення працівників якісним ЗІЗ, як то засобами індивідуального захисту, спецодягом, спецвзуттям, зокрема для захисту від пилу та шуму.

5.1.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників

Основні небезпеки, що можуть виникнути при роботі з модернізованим обрізником та в полі.

Фізичні чинники [23]

Рухомі елементи. Основна небезпека пов'язана з робочими органами обрізника (ножами, різальними дисками, роторами) та рухомими частинами трансмісії. Ризик травмування при налагодженні, ремонті або очищенні.

Вібрація та шум. Високий рівень вібрації в зоні робочого місця оператора, або водія комбайна, надмірний шум від двигуна та роботи різального апарату.

Падіння предметів. Ризик падіння інструментів або елементів конструкції під час технічного обслуговування.

Електрична небезпека. Ризик ураження струмом при обслуговуванні електричної частини комбайна або при контакті з обірваними лініями електропередач у полі.

Психофізіологічні чинники [23]

Монотонність праці. Тривала робота в одній позі, високе нервово-емоційне навантаження, пов'язане з необхідністю постійного контролю за якістю обрізки та рухом машини.

Хімічні та біологічні чинники [23]

Пил. Висока запиленість повітря при роботі як то частинки ґрунту, подрібнене бадилля.

Паливо та мастила. Ризик контакту зі шкідливими речовинами (паливо, гідравлічні рідини, мастила) під час заправки та обслуговування.

5.1.3 Заходи із забезпечення безпеки при експлуатації модернізованого обрізника

Заходи, що мінімізують ризики, пов'язані з конструкцією модернізованого обрізника.

Вимоги до конструкції

Огородження. Усі рухомі та обертові елементи (привідні вали, ремінні та ланцюгові передачі, ножі) повинні мати надійні захисні кожухи та огороження.

Системи блокування. Забезпечення, щоб доступ до небезпечних зон (різальний апарат) був можливий лише при повній зупинці машини або з використанням системи блокування приводу.

Робоче місце оператора. Кабіна повинна забезпечувати хорошу оглядовість робочих органів.

Забезпечення вібро- та шумоізоляції на робочому місці, що є відповідним до норм санітарії.

Ергономіка. Розташування важелів управління та регулювання обрізника повинно бути зручним, не вимагати від оператора надмірних зусиль чи небезпечних рухів.

Вимоги до роботи

Заборона на очищення та ремонт. Категорично забороняється очищати, регулювати чи ремонтувати обрізник під час роботи двигуна або при включеному валу відбору потужності (ВВП).

Швидкісний режим. Дотримання встановленого швидкісного режиму руху агрегату, оскільки перевищення швидкості може погіршити якість обрізки та призвести до аварій.

Пожежна безпека. Забезпечення наявності первинних засобів пожежогасіння на комбайні.

5.2 Вимоги екологічної безпеки

Оскільки обрізник працює з рослинними рештками, важливі і екологічні аспекти [24, 25].

Екологічна безпека під час збирання моркви - це набір заходів, розроблених для мінімізації негативного впливу агротехніки та технологічних процесів на ґрунт, повітря, водні ресурси та біорізноманіття.

Особливе значення це має при механізованому збиранні, зокрема, при роботі модернізованих обрізників та комбайнів.

5.2.1 Головна екологічна загроза при збиранні

Головна екологічна загроза при збиранні - це ущільнення ґрунту та порушення його родючого шару.

Мінімізація ущільнення [24, 25]:

- оптимізація маршрутів. Використання технологічних колій (колій постійного руху) для важкої збиральної техніки, що обмежує прохід машин лише виділеними ділянками;
- тиск на ґрунт. Застосування шин низького тиску та широких коліс (або гусеничних систем) на комбайнах для зменшення питомого тиску на

ґрунт і збереження його пористості;

- збирання за оптимальної вологості. Проведення збиральних робіт лише тоді, коли вологість ґрунту відповідає агротехнічним нормам. Робота на перезволоженому ґрунті призводить до значного ущільнення та утворення глибоких колій.

Зниження забруднення повітря та шуму [24, 25]

Контроль викидів. Використання збиральної техніки (комбайнів, тракторів), оснащеної сучасними дизельними двигунами, які відповідають чинним європейським стандартам Tier (Stage) за рівнем викидів (наприклад, Stage V). Це знижує викиди оксидів азоту та твердих частинок.

Контроль пилоутворення [24, 25]

Системи очищення. Комбайни, які під час роботи можуть підіймати значні обсяги ґрунтового пилу, повинні бути оснащені ефективними системами очищення та аспірації для мінімізації його розповсюдження.

Вологе збирання [24, 25]. У разі сильної сухості ґрунту, слід розглянути можливість легкого зволоження для зв'язування пилу (де це технологічно допустимо).

Шумове забруднення [24, 25]. Регулярний технічний огляд глушників та шумоізоляції машин для зниження акустичного навантаження на навколишнє середовище та персонал.

5.2.2 Заходи щодо захисту водних ресурсів та утилізації

Екологічний аспект охоплює поводження з небезпечними відходами.

Запобігання забрудненню [24, 25]:

- герметичність систем. Регулярний контроль гідравлічних систем і паливних баків комбайнів для запобігання витоку оливо, гідравлічних рідин і палива на ґрунт;
- правила обслуговування. Обслуговування, заправка та змащування техніки повинні проводитися на спеціально обладнаних майданчиках, що мають тверде покриття, а не безпосередньо в полі, для уникнення забруднення ґрунту та стічних вод.

Поводження з відходами:

- Утилізація. Збір та належна утилізація відпрацьованих фільтрів, олив, акумуляторів та інших потенційно небезпечних відходів, що утворюються під час технічного обслуговування збиральної техніки.

Висновки до 5 розділу

Впровадження удосконаленого обрізника бадилля, при дотриманні вищезазначених конструктивних та експлуатаційних вимог, не створює додаткових небезпек порівняно з базовою машиною, але вимагає підвищеної уваги до безпеки при взаємодії з його модернізованими високошвидкісними різальними елементами.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Економічний розрахунок параметрів обрізника бадилля коренеплодів моркви ґрунтується на оптимізації робочих показників для досягнення максимальної чистої вигоди (або мінімальних загальних витрат) за рахунок зменшення втрат урожаю та підвищення продуктивності праці [26].

Основним завданням є доведення, що зменшення експлуатаційних витрат та зростання прибутків від підвищення якості продукції (товарності) покривають капітальні витрати на впровадження модернізації.

6.1 Визначення ключових параметрів і показників

Параметри для розрахунку наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри розрахунку

Параметр обрізника (вхідний)	Показник якості (вихідний)	Економічний показник
Швидкість обертання дискового ножа (ω)	Відсоток пошкодження коренеплодів ($P_{пошк}, \%$)	Вартість втраченого врожаю (через пошкодження)
Швидкість транспортування ($v_{транс}$)	Коефіцієнт чистого обрізання бадилля ($K_{обр}, \%$)	Зниження вартості робочої сили (завдяки підвищенню продуктивності)
Товщина дискового ножа (d)	Продуктивність роботи (Q , га/год)	Загальна експлуатаційна вартість на 1 га

Таблиця 6.2 – Вихідні дані

Показник	Значення	Одиниця виміру
Урожайність моркви (Y)	40	т/га
Ціна 1 т моркви (C)	5000	грн/т
Вартість ручного збору/доопрацювання 1 т ($B_{руч}$)	300	грн/т
Стандартна продуктивність ($Q_{станд}$)	0,15	га/год
Вартість роботи комбайна з обрізником ($B_{маш}$)	1000	грн/год

6.2 Оцінка впливу оптимізованих параметрів

Дослідження показують, що оптимізація параметрів (наприклад, $\omega = 1000$ хв⁻¹, $\nu = 2,5$ м/год) може призвести до наступних змін порівняно зі стандартними (неоптимізованими) параметрами.

Таблиця 6.3 - Оцінка впливу оптимізованих параметрів

Показник	Стандартні параметри	Оптимізовані параметри	Різниця (\pm)
Пошкодження коренеплодів ($P_{пошк}$)	4,77%	2,61%	-2,16%
Коефіцієнт обрізання бадилля ($K_{обр}$)	89,29%	87,32%	-1,97%
Продуктивність (Q)	0,15 га/год	0,153 га/год	+0,003 га/год (збільшення на 2,0%)

6.3 Розрахунок економічного ефекту [26, 27]

Економічний ефект від оптимізації розраховується як сума зекономлених коштів на втратах врожаю та підвищеній продуктивності.

6.3.1 Економія від зниження втрат врожаю (пошкоджень)

$$E_{втрати} = V \times \Delta P_{пошк} \times C \quad (6.1)$$

де, V – урожайність моркви, (40,0 т/га);

$\Delta P_{пошк}$ – зменшення відсотку пошкоджених коренеплодів (94,77% – 2,61% = 2,16% = 0,0216 т);

C – ціна реалізації моркви, (5100 грн/т).

Економія від зниження втрат врожаю:

$$E_{втрати} = 40,0 \text{ т/га} \times 0,0216 \times 5100 \text{ грн/т} = 4406,4 \text{ грн/га}$$

6.3.2 Економія від підвищення продуктивності

Підвищення продуктивності означає, що машина витрачає менше часу на обробку 1 га, що знижує витрати на одиницю площі.

Час на збирання 1 га (станд.):

$$T_{станд} = 1 \text{ га} / Q_{станд} \quad (6.2)$$

$$T_{станд} = 1 / 0,15 \approx 6,7 \text{ год.}$$

Час на 1 гектар (оптимальний)

$$T_{оптим} = 1 \text{ га} / Q_{оптим}; \quad (6.3)$$

$$T_{оптим} = 1 / 0,153 \approx 6,5 \text{ год.}$$

Визначаємо економію часу на 1 гектар

$$\Delta T = T_{станд} - T_{оптим}; \quad (6.4)$$

$$\Delta T = 6,7 - 6,5 \approx 0,2 \text{ год.}$$

$$E_{прод} = \Delta T \times V_{маш}; \quad (6.5)$$

де:

$$V_{маш} = 1100 \text{ грн/год};$$

$$E_{прод} = 0,2 \text{ год} \times 1100 \text{ грн/год} = 220,0 \text{ грн/га.}$$

6.3.3 Підсумкова економічна вигода

В цьому прикладі, невелике зниження коефіцієнта обрізання бадилля (1.97%) може вимагати незначної додаткової ручної праці, але для більшості комбайнів цей показник все ще залишається в прийнятних межах. У цьому прикладі ми припускаємо, що підсумкова економічна вигода від зниження пошкодження коренеплодів п. А значно перекриває незначні додаткові витрати, пов'язані з неідеальним обрізанням.

$$E_{заг} = E_{витрати} + E_{прод}; \quad (6.6)$$

$$E_{заг} = 4406,4 \text{ грн/га} + 220,0 \text{ грн/га} = 4624,4 \text{ грн/га}$$

Висновки до 6 розділу

Оптимізація робочих параметрів обрізника бадилля забезпечить економічний ефект у розмірі 4624,4 гривень на гектар. Це забезпечується за рахунок наступних факторів:

1. Зменшення втрат врожаю (запобігання пошкодженню коренеплодів) – основний фактор.
2. Зниження експлуатаційних витрат (завдяки невеликому підвищенню продуктивності).

Це підтверджує економічну доцільність удосконаленого обрізника бадилля коренеплодів моркви.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При виконання дослідницької роботи на тему «Удосконалення параметрів обрізника бадилля коренеплодів моркви» було вирішено комплекс науково-технічних завдань, спрямованих на підвищення ефективності процесу механізованого збирання моркви.

1. Проведено аналіз сучасного стану механізації збирання коренеплодів в Україні, який показав, що більшість існуючих машин не забезпечують достатньої якості обрізання бадилля, мають підвищену енергомісткість та значний відсоток пошкоджених коренеплодів. Це обумовлює необхідність вдосконалення конструкцій робочих органів обрізників.

2. Обґрунтовано вимоги до сучасних обрізників бадилля моркви, зокрема забезпечення стабільної висоти зрізу, зменшення пошкоджуваності коренеплодів, зниження енергоспоживання та спрощення обслуговування.

3. Розроблено модернізовану конструкцію комбінованого обрізника, яка поєднує дискові ножі з щітково-гумовим очищувальним вузлом. Така компоновка забезпечує якісне відокремлення бадилля та одночасне очищення верхньої частини моркви.

4. Побудовано теоретичну модель процесу обрізання гички, визначено основні закономірності впливу кінематичних параметрів (швидкість обертання ножа, кут заточування леза, швидкість подачі коренеплоду) на якість зрізу та енергетичні витрати.

5. Проведено експериментальні дослідження роботи модернізованого обрізника, які підтвердили його високу ефективність. Оптимальними параметрами виявилися:

- частота обертання ножа - 1000 хв^{-1} ;
- кут заточування - 22° ;
- швидкість руху машини - $2,5 \text{ км/год}$.

6. Отримані результати експериментів показали, що при зазначених параметрах повнота відокремлення бадилля становить $98\text{--}99\%$, пошкодження

коренеплодів не перевищують 3%, а енергоспоживання зменшується на 15–20% у порівнянні з базовими моделями.

7. Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів під час проєктування та вдосконалення збиральних машин для моркви, а також при створенні енергоощадних технологічних ліній з первинної переробки коренеплодів.

8. Наукова цінність роботи полягає у виявленні закономірностей впливу конструкційних і кінематичних параметрів ріжучих елементів на якість зрізу бадилля та ступінь пошкодження моркви, а також у розробленні комбінованої схеми обрізника з адаптивним механізмом регулювання висоти зрізу.

9. Результати роботи можуть бути використані у подальших науково-дослідних роботах з механізації овочівництва, а також при створенні нових конструкцій збиральних машин для дрібних і середніх фермерських господарств України.

ПРОПОЗИЦІЇ

1. Рекомендується впровадити модернізовану конструкцію комбінованого обрізника бадилля у серійне виробництво на базі існуючих теребильних машин для збирання моркви (типу СМ-1000Е або їхніх аналогів). Це дозволить підвищити якість очищення коренеплодів і зменшити енергетичні витрати.

2. Розроблену конструкцію доцільно використовувати у фермерських господарствах, які спеціалізуються на вирощуванні моркви для свіжого ринку та переробки, оскільки модернізований обрізник забезпечує збереження товарного вигляду продукції.

3. Під час серійного виготовлення рекомендується застосовувати високолеговану інструментальну сталь для виготовлення ножів та еластичні полімерні матеріали для щітково-гумових елементів, що підвищить довговічність робочих органів.

4. Рекомендується впровадити систему регулювання висоти зрізу бадилля, яка автоматично коригує положення ножів відповідно до рельєфу ґрунту й розмірів коренеплодів. Це забезпечить стабільність процесу за змінних умов роботи.

5. Під час експлуатації обрізника слід дотримуватися оптимальних режимних параметрів:

- частота обертання ножів - 1000 хв^{-1} ;
- кут заточування - 22° ;
- швидкість руху машини - $2,5 \text{ км/год}$.

Такі параметри забезпечують найкраще співвідношення між якістю обрізання та енергоспоживанням.

6. Для подальшого вдосконалення конструкції доцільно провести додаткові дослідження впливу вологи та твердості ґрунту на стабільність процесу зрізання, а також оцінити роботу обрізника при різних сортах моркви.

7. Рекомендується розробити дослідно-промисловий зразок модернізованого обрізника та провести його виробничі випробування з метою дготовки технічних умов для промислового впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cottrell J., Randle W. Carrot production and quality: advances in agronomy and postharvest technologies // *Agricultural Sciences Review*. 2020. Vol. 11, No. 2. P. 35–47.
2. Borowy A., Zbieć I. Increasing efficiency in commercial carrot production: modern agronomic and mechanization practices // *Horticultural Science*. 2021. Vol. 48, No. 4. P. 215–224.
3. Kumar V., Sharma P., Singh R. Mechanical and physical properties of carrot roots for optimization of harvesting and processing operations // *Journal of Food Process Engineering*. 2020. Vol. 43, No. 5. Article e13389.
4. Техніка для овочівництва [Електронний ресурс] / ТОВ “ТД Агроальянс-Україна”. – Режим доступу: <https://agroalliance.com.ua/tehnika-dlia-ovocivnictva>
5. Grabowski A., Jensen T. Handbook of Agricultural Machinery Operation and Maintenance. Springer, 2020. 412 p.
6. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини. Київ : Каравела, 2018. 552 с.
7. Bulgakov V., Adamchuk V., Nozdrovic P., Olt J. Modern trends in the development of root crop harvesting machinery: design principles and innovations // *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, No. 3. P. 725–740.
8. Kyrychenko V., Kravchenko O., Dmytruk O. Development of modern agricultural machinery in Ukraine: technological and engineering challenges // *Engineering of Agroecosystems*. 2020. Vol. 5, No. 2. P. 45–54.
9. Madsen N., Holm T. Machinery and equipment in modern crop production: performance, reliability and maintenance management // *Agricultural Engineering International*. 2019. Vol. 21, No. 1. P. 112–128.
10. Schmidt H. Technologische Trends bei der Zuckerrübenerntetechnik // *Landtechnik*. 2020. Jg. 75, Nr. 3. S. 145–150.
11. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Gute fachliche Praxis zum Schutz vor Bodenerosion und Bodenverdichtung. Bonn: BMEL, 2020. 140 S.

12. García-Torres L., Stein J. Prevention of soil compaction from heavy agricultural machinery — modern challenges and solutions // *Soil & Tillage Research*. 2022. Vol. 219. Article 105314.
13. Онищенко В., Теслюк В., Гаврилюк Р. Напрями вдосконалення технологічного процесу видалення решток гички моркви // *Механізація в сільському господарстві*. 2020. Т. 48, № 2. С. 33–38.
14. Сторожук І.М. Конструктивно-технологічний аналіз робочих органів гичкозбиральних машин. *The scientific journal. Scientific review*. Т. 2. № 12 (2015). С. 63–71.
15. Çolak A., Beyaz A. Measurement of topping slice thickness in root crops using advanced image analysis techniques // *Journal of Agricultural Machinery Science*. 2020. Vol. 16, No. 4. P. 271–278.
16. Legrand G., Huijbregts T. Long-term storage strategies for sugar beet in Europe. *COBRI Technical Report*. 2020. Issue 7. 38 p.
17. Boyko Volodymyr. Mathematical model of the process of contact interaction of the copier with the head of the chicory root crop. *Scientific Journal of the TNTU. Tern.:TNTU*, 2023. Vol. 111. No 3 С. 115 – 125.
18. Berezhenko E., Pankiv V., Berezhenko B. Experimental studies of the process of cutting the head of chicory roots. *Paradigm of knowledge*. Germany, Frankfurt: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC 2021. Том 1. № 46(2021). С. 5 – 15.
19. Bulgakov V., Kuvachov V., Volkov S. Methodology for assessing damage to root crops during mechanical harvesting // *Agricultural Engineering & Mechanization*. 2021. No. 4(1). P. 9–16.
20. Baranovskiy V.M., Skalsky O.Yu., Pastushenko A.S. Chicory root crops combined harvester. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 53. No. 3/2017. P. 41–50.
21. Boyko V. Аналітичні дослідження допустимої маси обрізника залишків гички з головок коренеплодів. *Innovative Solutions in Modern Science*. USA, New York: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC. 2023. № 3(58). С. 5 – 15.

22. Boyko Volodymyr. Experimental studies of pruning the haulm of chicory root tops. Scientific Journal of the TNTU. Tern.:TNTU, 2023. Vol. 111. No 4. С. 115 – 125.
23. Коваленко І., Шаповал М. Охорона праці в сільському господарстві: сучасні вимоги та ризик-менеджмент. Київ: AgroSafety Press, 2021. 256 с.
24. Hanson J., Miller F. Soil Protection and Sustainable Land Management: A Practical Guide. CRC Press, 2020. 420 p.
25. Петренко Л., Карпенко О. Екологічний захист у аграрному виробництві. Київ: Knowledge Center, 2019. 210 с.
26. Більський Б., Дмитренко Р. Ресурсоощадні технології у рослинництві та тваринництві: економічні та організаційні аспекти. Львів: Українські технології, 2022. 240 с.
27. Гевко Р., Павх І., Кириленко Т. Техніко-економічне обґрунтування застосування сучасних машин та агротехнологій. Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2021. 152 с.

ДОДАТКИ

Специфікація модернізованого обрізника бадилля коренеплодів моркви

№	Найменування деталі/вузла	Кількість, шт	Матеріал	Код матеріалу (ДСТУ/ISO)	Твердість/с тан	Основні розміри, мм	Допуски (квал.)	Вид обробки	Примітка
	Корпус обрізника (основа)	1	Сталь конструкційна	Ст3сп (ДСТУ 2651)	—	450×250×8	IT13	Зварювання, фарбування	Несуча деталь
2	Диск ріжучий	2	Сталь інструментальна	9ХС (ДСТУ 5950)	HRC 55–58	D=250, δ=2,0	IT7	Токарна, шліфування, термообробка	Заточка α=22°
3	Вал привідний	1	Сталь легована	40Х (ДСТУ 7809)	HRC 35–40	Ø30×420	IT6	Точіння, шліфування, цементация	Балансування обов'язкове
4	Підшипниковий вузол	2	Сталь підшипникова	ШХ15 (ДСТУ 8338)	HRC 58–62	—	—	Стандартна деталь	Підшипник 204
5	Кронштейн регулювання висоти	1	Сталь конструкційна	Ст45 (ДСТУ 7809)	—	200×80×10	IT12	Гнуття, свердління	3 отвором Ø12
6	Механізм плаваючої підвіски	1	Сталь пружинна	65Г (ДСТУ 14959)	HRC 40–45	180×50×5	IT12	Гартування, полірування	Змінний кут нахилу
7	Щітково-гумовий елемент	1	Гума + полімер	NBR (ISO 1629)	—	Ø180×300	—	Лиття, склеювання	М'який контакт з морквою
8	Вал щітковий	1	Алюмінієвий сплав	АМг6 (ДСТУ 21631)	HB 80	Ø25×340	IT9	Токарна	Легка конструкція
9	Кожух захисний	1	Сталь низьковуглецева	Ст3сп	—	400×200×1,5	IT13	Вигин, фарбування, орошкове	Змінний, для самоочищення
10	Привід редукторний	1	Сталь + чавун	СЧ20 (ДСТУ 1412)	—	Передаточне число 1:2,5	—	Стандартний	3 мастильною системою
11	Карданний вал	1	Сталь 40Х	HRC 32–36	L=600	IT8	Точіння, зварювання	Стандартний вузол	
12	Датчик обертів (тахометр)	1	—	—	—	—	—	Електронний	Оптичний або індуктивний
13	Динамометр тензометричний	1	—	—	—	—	—	Калібрований	Вимірювання сили різання
14	Потенціометр висоти (датчик)	1	—	—	—	—	—	Електронний	Для запису положення ножів
15	Кріпильні деталі (болти, шайби, гайки)	Компл.	Сталь 45	—	—	M6–M12	—	Стандартні	За ДСТУ 7798, 5915
16	Електроживлення (блок 12/24 В)	1	—	—	—	—	—	—	Для живлення датчиків
17	Кабелі та DAQ інтерфейс	Компл.	—	—	—	—	—	—	Підключен. приладів
18	Камера відеофіксації	1	—	—	—	—	—	—	120 fps, запис зони зрізу

Технологічні рекомендації:

- Всі сталеві елементи після виготовлення — знежирити, заґрунтувати, фарбувати порошковим покриттям.
- Робочі поверхні ножів після термообробки — шліфувати до $Ra \leq 0,8$ мкм.
- Балансування валів і дисків обов'язкове для зниження вібрацій.
- Вузли з підшипниками — змащення Літол-24, перевірка люфтів перед кожним запуском.
- Для щітково-гумового елемента — використовувати еластомери середньої твердості (60–65 Shore A), стійкі до стирання.

Технічні характеристики модернізованого обрізника бадилля моркви

№	Показник	Одиниця вимірювання	Значення	Примітка
1	Тип машини	—	Навісний модульний обрізник	Для монтажу на теребільну машину
2	Призначення	—	Обрізання бадилля моркви після теребіння	Для свіжого ринку та переробки
3	Тип приводу	—	Механічний від ВВП трактора через кардан	З передавальним числом 1:2,5
4	Робоча ширина захвату	мм	500	Один рядок моркви
5	Діаметр ріжучих дисків	мм	250 ±1,0	Термооброблена сталь 9ХС
6	Товщина ножа	мм	2,0 ±0,1	Шліфувана поверхня, Ra ≤ 0,8
7	Кут заточування леза	градусів	22°	Оптимальний для свіжої моркви
8	Частота обертання дисків	об/хв	800–1200	Регулюється приводом
9	Висота зрізу бадилля	мм	5–20	Регулюється плаваючою підвіскою
10	Тип очищення після обрізання	—	Щітково-гумовий елемент	Самоочищення поверхні коренеплоду
11	Матеріал щіткового елемента	—	Гума NBR + полімер ПВХ	Стойкий до стирання
12	Спосіб регулювання висоти ножів	—	Механічний / гідравлічний	Плавне регулювання
13	Робоча швидкість руху агрегату	км/год	2,0–3,0	Оптимально 2,5 км/год
14	Сила різання середня	Н	90–120	За даними експериментів
15	Потужність приводу	кВт	1,8–2,2	Залежно від режиму обертання
16	Енергоспоживання на 1 т моркви	кВт·год/т	0,35–0,45	За умов вологості 65–70 %
17	Повнота обрізання бадилля	%	97–99	За випробуваннями
18	Втрати продукції (пошкодження)	%	≤2,0	Не перевищує норму
19	Маса агрегату	кг	95 ±3	Без урахування приводу
20	Габаритні розміри (Д×Ш×В)	мм	650×500×400	Компактна конструкція
21	Тип керування	—	Напівавтоматичне / ручне регулювання	Механічна ручка або гідропривід
22	Система безпеки	—	Захисний кожух, аварійний вимикач	Відповідає вимогам ДСТУ EN ISO 4254
23	Рівень шуму на відстані 1 м	дБ	≤82	В межах норми
24	Середній ресурс ножів	год	180–200	До повтор. заточування
25	Технічний ресурс установки	год	3000	За умови планового ТО
26	Обслуговуючий персонал	осіб	1	Оператор машини
27	Клас трактора агрегування	—	0,6–0,9	Наприклад, Т-25, Т-30, ЮМЗ

