

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 2025р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис) Володимир ДІДУР
(ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)

магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Механіко-технологічні основи створення комплексу для
вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні.»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22 м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності Н7 «Агроінженерія»

ШАЛЕНИЙ Б. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник канд. с-г наук, доцент Головатюк А.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент:
(прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма магістр

Спеціальність Н7 «Агроінженерія»

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Андрій ВОЙТІК

“ ” 2025р

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)**

студенту ШАЛЕНИЙ Богдан Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Механіко-технологічні основи створення комплексу для вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні.»

керівник роботи Головатюк Анатолій Анатолійович, канд. с-г наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“ ” листопада 202 р. №

2. Строк подання студентом роботи 20.10.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: обґрунтування конструктивно-технологічної схеми агрегатів і параметрів робочих органів для механіко-технологічних основ при вирощуванні вегетативно розмножуваних підщеп яблуні .

4. Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; сучасний стан та аналіз існуючих технологій, технічних засобів і наукових досліджень, програма і методика експериментальних досліджень; охорона праці; економічна ефективність; загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; конструктивно-технологічної схеми агрегату, параметрів та режимів роботи комплексу машин; результати розрахунку економічного ефекту;
висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/ п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	16.10.2024 р.	
2.	Розділ 1. Сучасний стан досліджуваного питання. Мета та завдання дослідження	14.11.2024 р.	
4.	Розділ 2. Теоретичні дослідження	05.02.2025 р.	
5.	Розділ 3. Експериментальні дослідження	4.03.2025 р.	
6.	Розділ 4. Охорона праці	24.05.2025 р.	
7.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології	15.09.2025р.	
8.	Виконання ілюстративної частини роботи	5.10.2025р.	
9.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.2025 р.	

Студент

(підпис)

Шалений Б. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Головатюк А.А.,
(прізвище та ініціали)

Реферат

Робота присвячена розробці механіко-технологічних основ створення комплексу для вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні. Актуальність роботи обумовлена низьким рівнем механізації (до 15%) трудомістких процесів у промисловому садівництві України та застарілістю наявної техніки, що перешкоджає виробництву якісного садивного матеріалу для інтенсивного садівництва [4, 7 19 21].

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності вирощування підщеп шляхом комплексної механізації на основі універсального технічного засобу з раціональними конструктивними параметрами та кінематичними характеристиками робочих органів і технологічних модулів.

Основні завдання та розробки:

- Весняне відкриття маткових рослин: Запропоновано роторний розгортач зі щітками та віссю, відхиленою вперед у напрямку руху машини. Експериментально підтверджено ефективність розкриття (93-97% повноти) з мінімальним пошкодженням рослин.

- Підгортання відростаючих пагонів: Розроблено машину з горизонтально встановленими фрезерними барабанами, що забезпечують формування трапецієподібного валка без порожнин. Оптимальні параметри фрезерного ротора (окружна швидкість 3,9 м/с, 4 ножі, кут 10°-20°) забезпечують якісний фракційний склад ґрунту.

- Общипування листя з пагонів: Запропоновано щітковий робочий орган з “прями” обертанням, оснащений розсікачем-утримувачем та довідником. Це забезпечує повноту видалення листя до 96-99% при мінімальному пошкодженні пагонів (3,8%).

- Відокремлення відводків: Розроблено машину з дисковим ножом, що має сегментні ріжучі елементи, забезпечуючи якісний зріз та збільшуючи вихід стандартних відводків на 16,3% порівняно зі суцільним ножом.

- Система автоматичної орієнтації: Забезпечує точне позиціонування робочих органів над рядом рослин незалежно від відхилень руху трактора.

Дослідження також включали аналіз механіко-технологічних властивостей пагонів яблуні (розміри, жорсткість на вигин, міцність кори, зусилля відриву листя) для обґрунтування параметрів машин.

Висновки: Розроблений універсальний комплекс на блочно-модульному принципі є раціональним та доцільним для маточника вегетативно розмножуваних підщеп, дозволяючи зменшити витрати та легко розширювати функції агрегатів. Також розглянуто питання охорони праці та заходи безпеки при експлуатації комплексу.

Зміст

Вступ.....	7
1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1. Аналіз інформаційних матеріалів з досліджуваного питання.....	8
1.2. Аналіз існуючих технологій, технічних засобів і наукових досліджень по темі роботи.....	8
1.3. Аналіз механіко-технологічних властивостей матеріалів, з якими працює машина.....	11
1.4. Мета і завдання досліджень.....	13
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	15
2.1. Обґрунтування і розробка конструктивно-технологічної схеми досліджуваної машини.....	15
2.2. Розробка моделі функціонування машини.....	18
2.3. Теоретичне дослідження продуктивності машини.....	20
2.4. Теоретичне дослідження енергоємності технологічного процесу досліджуваної машини.....	22
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
3.1. Результати експериментальних досліджень.....	24
3.2. Обробка і аналіз результатів експериментальних досліджень.....	32
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	34
4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих виробничих факторів.....	34
4.2 Заходи та засоби забезпечення безпеки праці.....	35
4.3 Технічні заходи. Безпека обладнання:.....	35
4.4 Висновок щодо забезпечення безпеки праці.....	36
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	37
5.1. Техніко-економічне обґрунтування розробки.....	37
Загальні висновки.....	39
Список використаної літератури.....	41

Вступ

Для забезпечення потреб населення України у фруктах та ягодах необхідно щорічно виробляти не менше 1439 тис тон плодів і ягід. Стабільне отримання високоякісних плодів у необхідних обсягах можливе за умови переведення промислового садівництва на інтенсивну систему вирощування та експлуатації садів. Насадження інтенсивного типу забезпечують скороплідність, високу продуктивність, якість плодів та швидку окупність вкладених коштів, причому все це формується у розсаднику. Перехід до щільніших схем розміщення дерев та скорочення термінів експлуатації садів вимагають від розсадників значного збільшення обсягу випуску саджанців. Отже, отримання високопродуктивного саду неможливе без якісного садивного матеріалу, а його отримання починається у відводковому маточнику.

Проблема загострюється вкрай низьким рівнем інженерного забезпечення галузі промислового садівництва, де ступінь механізації трудомістких процесів становить не більше 15%. Наявна вітчизняна техніка, розроблена 20-30 і більше років тому, морально застаріла, має низький технічний рівень і зношена більш ніж на 90-96%. У цих умовах розробка та впровадження інноваційних машинних технологій у промисловому садівництві, особливо у розсадництві, є пріоритетним завданням. Одним зі шляхів підвищення ефективності галузі є розробка механіко-технологічних основ створення механізованого комплексу для вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні.

Наукова проблема полягає у розробці науково-методичних та практичних основ комплексної механізації технологічних операцій вирощування вегетативно розмножуваних підщеп.

Наукова гіпотеза: зниження витрат та підвищення якості підщепного матеріалу може бути досягнуто за рахунок використання універсального комплексу, сформованого на основі блочно-модульної побудови техніки, який містить робочі органи та технологічні модулі з оптимальними параметрами та кінематичними характеристиками, що забезпечують механізацію та ефективне виконання основних технологічних операцій.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.

1.1. Аналіз інформаційних матеріалів з досліджуваного питання.

Сучасний розвиток садівництва в Україні орієнтований на інтенсивну систему обробітку та експлуатації садів для забезпечення стабільного отримання високоякісних плодів у необхідних обсягах. Основу цього розвитку визначає Державна програма розвитку сільського господарства України на 2018-2023 роки, яка передбачає збільшення площі багаторічних плодових та ягідних насаджень. Інтенсивні сади характеризуються скороплідністю, високою продуктивністю, якістю плодів та швидкою окупністю, і все це формується у розсаднику. Перехід до більш щільних схем розміщення дерев та скорочення термінів експлуатації садів вимагають значного збільшення обсягу виробництва саджанців, що починається у відводковому маточнику[4, 9, 16, 29].

Однак, галузь промислового садівництва стикається з вкрай низьким рівнем інженерного забезпечення, де ступінь механізації трудомістких процесів не перевищує 15%. Існуюча вітчизняна техніка, розроблена десятиліття тому, морально застаріла, має низький технічний рівень та зношена на понад 90%. Це створює нагальну потребу у розробці та впровадженні інноваційних машинних технологій для промислового виробництва підщеп[8, 18, 23].

1.2. Аналіз існуючих технологій, технічних засобів і наукових досліджень по темі роботи

Технологія виробництва вегетативно розмножуваних підщеп яблуні базується на вирощуванні пагонів у маточнику горизонтальних відводків клонових підщеп, що у 3-4 рази підвищує вихід відводків порівняно з традиційною кущовою технологією (з 70-90 до 200-250 тис. шт./га). Висока сила розвитку відводків є базовим показником для отримання якісних саджанців. Типовим нормативним документом, що регламентує роботи в маточнику, є технологічна карта [6,14].

Аналіз технологічного процесу показує, що найменш механізованими та найбільш трудомісткими є спеціалізовані операції:

- Весняне відкриття маткових рослин: видалення субстрату для пробудження бруньок. Це трудомісткий процес, який часто виконується вручну, що унеможлиблює дотримання оптимальних термінів.

- Підгортання відростаючих пагонів: засипання молодих пагонів субстратом (грунтом, тирсою, торфом) при досягненні висоти 15-20 см. Перше підгортання рекомендується проводити вручну, подальші – машинами.

- Обципування листя з пагонів: видалення листя перед відокремленням відводків для запобігання зневодненню та полегшення зрізу. Це допоміжна робота, яка часто стримує основну операцію і виконується вручну, вимагаючи значних трудовитрат (96,15 чол.-год/га).

- Розкриття кореневої системи пагонів: розокучування до головок кущів для оголення додаткових коренів на відводках, що забезпечує безперешкодне відокремлення.

- Відокремлення відводків: зрізання пагонів з розвиненою кореневою системою восени, залишаючи "пеньки" висотою 1,5-3 см. Ця операція також часто виконується вручну.

- Осіннє підгортання: укриття маткових рослин субстратом на висоту 8-10 см для захисту від вимерзання.

Існуючі технічні засоби: Механізація робіт у маточнику поділяється на дві групи: машини загального призначення (доступні серійно) та спеціальні машини, серійне виробництво яких відсутнє, що призводить до ручного виконання специфічних операцій. Розробки ведуться за окремими операціями, часто без комплексного підходу[21, 26, 28].

Механізація весняного відкриття: Існують щіткові (РВ-1, РКП-1, SSK-1, SXC), вентиляторні (МПО-1, SC-1) та плужні розгортачі. Недоліки: швидке зношування ворсу, низька ефективність для щільних валів, пошкодження молодих пагонів, великі транспортні витрати при використанні води. Найперспективнішими є механічні активні робочі органи[22].

Механізація підгортання: Зазвичай використовують пасивні відвальні плуги (ПРВН-2,5), які створюють крупнокомковату структуру ґрунту і не

подають ґрунт у середину ряду, вимагаючи ручного доокучування. Активні окучники (ОМП, ОМШ, ВХС, COS-1) забезпечують кращу структуру ґрунту, але також не завжди ефективно заповнюють середину ряду. Запропонована машина МУО-1 вирішує проблему подачі ґрунту зверху, але має обмеження на вологих ґрунтах [19, 26].

Механізація обципування листя: Ручне обципування дуже трудомістке. Спроби замінити його хімічними дефоліантами не давали стабільного результату. Існують механічні дефоліатори для саджанців (ДФМ) та пристрої для обчісування інших культур (льон, зернові, тютюн). Однак, вони не підходять для яблуневих підщеп через відмінності у фізико-механічних властивостях та зоні обчісування.

Механізація відокремлення відводків: Використовуються пасивні (ножі) та активні (дискові ножі) робочі органи. Недоліки: висмикування маткових рослин, особливо при затупленні ножів. Існують також закордонні комбайни (SP2000TXC) [19, 23, 25, 26].

Системи автоматичної орієнтації: Для ефективного виконання технологічних операцій необхідне автоматизоване орієнтування робочих органів. Існуючі системи (щупові, гідравлічні) мають недоліки: надмірний тиск гідронасоса, нагрівання масла, неможливість застосування при суцільному розміщенні рослин, нестабільне положення щупа.

Наукові дослідження: Агробіологічне, технологічне та організаційне забезпечення вирощування садивного матеріалу досліджене багатьма вченими, але інженерне забезпечення розкрито поверхнево. Перспективним напрямом є інтелектуалізація техніки, що дозволяє використовувати прецизійний підхід до кожної рослини. Блочно-модульний принцип формування техніки визнано найефективнішим, оскільки він дозволяє оснащувати базові агрегати змінними робочими органами та модулями, розширювати сфери застосування агрегатів та зменшити витрати на придбання техніки.

1.3. Аналіз механіко-технологічних властивостей матеріалів, з якими працює машина.

Для наукового обґрунтування конструкції та параметрів нових машин було проведено дослідження біометричних показників та фізико-механічних властивостей пагонів клонових підщеп яблуні, зокрема 54-118 та 62-396.

Визначені показники:

Розмірні характеристики пагонів:

Середня висота пагонів для підщепи 62-396 становить 57,7 см, для 54-118 – 79,1 см (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Параметри відводків клонових підщеп 62-396 та 54-118.

Параметр	Варіаційні показники M	σ	m	p, %	V, %
Підщепа 62-396					
Довжина пагона (l), см	57,7	13,2	1,9	3,2	22,9
Діаметр пагона (d), мм	6,8	1,7	0,2	3,6	25,1
Кількість листків (n), шт.	32	10	1,4	4,3	30,3
Відношення n/l	0,56	0,14	0,02	3,4	24,1
Підщепа 54-118					
Довжина пагона (l), см	79,1	29,1	4,1	5,2	36,8
Діаметр пагона (d), мм	6,7	2,1	0,3	4,4	30,9
Кількість листків (n), шт.	29	9	1,3	4,6	32,4
Відношення n/l	0,39	0,15	0,02	5,4	38

Максимальна висота досягає 97,3 см (для 62-396) та 166,5 см (для 54-118).

Діаметр кореневої шийки становить у середньому 6,8 мм (62-396) та 6,7 мм (5, 14, 18) .

Ступінь облиствленості: 56,2 листка на 1 метр довжини пагона для 62-396 та 38,9 листка для 54-118.

Ширина стрічки пагонів значно варіюється (від 50,5 до 172,5 мм у середньому, до 385 мм максимально) залежно від форми підщепи та віку маткових рослин.

Жорсткість пагонів на вигин: знаходиться у діапазоні $EJ=0,2 \dots 0,8 \text{ Нм}^2$. У молодих маточниках (один ряд пагонів) середнє значення EJ ближче до верхньої межі (0,6-0,7 Нм^2), при стрічковому розміщенні пагонів – 0,4-0,5 Нм^2 .

Міцність кори відводків: При стисненні: 15,42 МПа (54-118) та 17,80 МПа (62-396) (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Міцність кори відводків при стисканні та відшаровуванні

Підщепа	M	σ	m	p, %	V, %
Міцність кори при стисканні, МПа					
54-118	15,42	3,53	0,5	3,2	22,9
62-396	17,8	2,88	0,41	2,3	16,2
Зусилля відшаровування кори, Н/мм					
54-118	0,21	0,05	0,01	3,3	23,5

При відшаруванні: 0,21 Н/мм (54-118) [Таблиця 1.2]. Міцність при стисненні значно більша, тому основним показником є зусилля її розшарування. Допустиме навантаження на кору при розшаруванні становить 0,06 Н/мм.

Зусилля відриву листя: – Залежить від напрямку дії сили.

– Від вершини пагона: 13,0 Н (54-118) до 16,7 Н (62-396), таблиця 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати виміру зусилля відриву листка з відводків клонових підщеп 62-396 та 54-118 залежно від напрямку дії сили.

Напрямок дії сили	M, Н	σ , Н	m, Н	p, %	V, %
Підщепа 62-396					
До вершини пагона (Р 0)	16,7	4,1	0,6	3,5	24,5
Перпендикулярно осі пагона (Р 90)	10,1	2,8	0,4	4	28,1
До основи пагона (Р 180)	2,1	0,8	0,1	5,5	38,9
Підщепа 54-118					
До вершини пагона (Р 0)	13	3,2	0,5	3,4	24,3
Перпендикулярно осі пагона (Р 90)	7,6	3	0,4	5,5	38,7
До основи пагона (Р 180)	2	0,7	0,1	2,5	31,6

До кореневої шийки (основи пагона): різко знижується до 2,0 Н (54-118) та 2,1 Н (62-396). Лімітуючим є зусилля відриву листя в напрямку до основи пагона.

1.4. Мета і завдання досліджень

Мета досліджень: підвищення ефективності вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні в маточнику за рахунок комплексної механізації на основі універсального технічного засобу з раціональними конструктивними параметрами та кінематичними характеристиками виконавчих робочих органів і технологічних модулів.

Завдання досліджень:

- На підставі аналітичного огляду наявних досліджень скласти перелік технологічних процесів та операцій у плодovому маточнику, оцінити можливості їх механізації та розробити схеми машин та агрегатів, а також обґрунтувати шляхи підвищення ефективності їх функціонування.

- Розробити техніко-технологічні вимоги до виконання операцій весняного відкриття маткових рослин; підгортання відростаючих пагонів; общипування листя; відокремлення відводків вегетативно розмножуваних підщеп яблуні.

- Розробити принципові схеми робочих органів та технологічних модулів для виконання операцій: весняного відкриття маткових рослин; підгортання відростаючих пагонів; общипування листя; відокремлення відводків вегетативно розмножуваних підщеп яблуні.

- Розробити математичні моделі функціонування робочих органів та технологічних модулів на операціях: весняного відкриття маткових рослин; підгортання відростаючих пагонів; общипування листя; відокремлення відводків вегетативно розмножуваних підщеп яблуні.

- Експериментально отримати залежності показників виконання технологічних операцій від агрофізичних показників, фізико-механічних властивостей підщеп яблуні.

- Обґрунтувати основні конструктивні параметри та режими роботи технологічних модулів на операціях: весняного відкриття маткових рослин; підгортання відростаючих пагонів; общипування листя; відокремлення відводків вегетативно розмножуваних підщеп яблуні.

– На основі отриманих теоретичних та експериментальних даних розробити універсальний комплекс для робіт у плодовому маточнику з набором робочих органів та технологічних модулів.

Провести дослідно-виробничу перевірку універсального комплексу для маточників та надати економічну оцінку їх ефективності.

Висновки по розділу.

1. Для переведення промислового садівництва України на інтенсивний тип насаджень, що забезпечують високу продуктивність, необхідний якісний садивний матеріал, отримання якого починається у відводковому маточнику.

2. Низький рівень механізації трудомістких операцій (весняне відкриття, підгортання, общипування листя, відокремлення відводків) є стримуючим фактором для збільшення виробництва саджанців. Існуючі технічні засоби для цих операцій часто є застарілими, малоефективними або не задовольняють агротехнічним вимогам, вимагаючи значних ручних доробок.

3. Найбільш перспективними напрямками є використання активних робочих органів з нахиленою віссю обертання для розкриття маткових рослин, фрезерних робочих органів для підгортання, що забезпечують політ частинок у зону зростання пагонів, щіткових робочих органів для общипування листя з мінімальним пошкодженням пагонів, та дискових ножів для відокремлення відводків з додатковими пристроями для відведення пагонів.

4. Блочно-модульний принцип побудови технологічного комплексу визнано раціональним та доцільним для маточника вегетативно розмножуваних підщеп. Це дозволить зменшити витрати на придбання техніки для сільгоспвиробника, а також легко розширювати та змінювати функції агрегатів.

5. Існує нагальна потреба у розробці нових, економічних технологічних комплексів технічних засобів для догляду за підщепами в маточнику з меншими ресурсними та енергетичними витратами.

6. Дослідження фізико-механічних властивостей пагонів (розміри, жорсткість на вигин, міцність кори, зусилля відриву листя) є ключовими для наукового обґрунтування конструкції та параметрів нових машин.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування і розробка конструктивно-технологічної схеми досліджуваної машини.

Для підвищення ефективності вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні, було запропоновано та обґрунтовано універсальний комплекс, що базується на блочно-модульному принципі. Цей комплекс об'єднує декілька технологічних модулів, призначених для виконання найбільш трудомістких операцій.

Концептуальні схеми основних технологічних модулів:

Машина для весняного відкриття маткових рослин: запропонована схема роторного розгортача [Рис. 2.1].

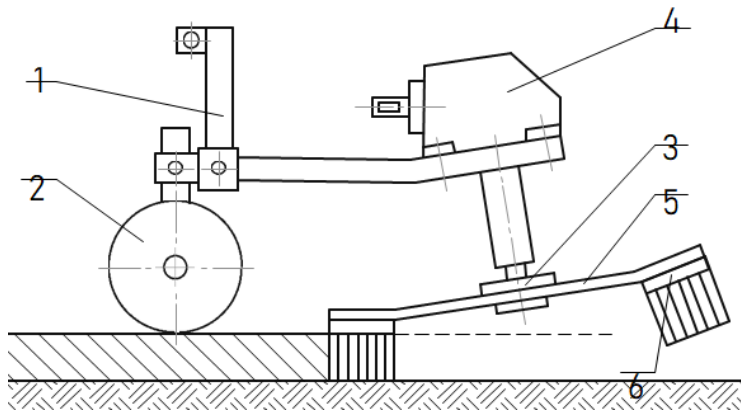


Рисунок 2.1 – Схема машини роторного типу для весняного відкриття маткових рослин клонових підщеп: 1 – рама, 2 – опорні колеса, 3 – ротор, 4 – привід, 5 – граблина, 6 – щітки.

Вона містить раму з опорно-регулювальними колесами та встановлений на ній ротор з приводом. Ротор оснащений граблинами зі щітками. Вісь ротора відхилена у вертикальній площині вперед у напрямку руху машини. Робочими елементами є еластичні пальці. Перевага роторних робочих органів у їх малоенергоємності, простоті конструкції та надійності.

Машина для підгортання відростаючих пагонів: перспективна схема машини включає раму з опорно-регулювальними колесами, роздавальний редуктор, привід роторів та горизонтально встановлені фрезерні барабани по ходу руху трактора [Рис. 2.2].

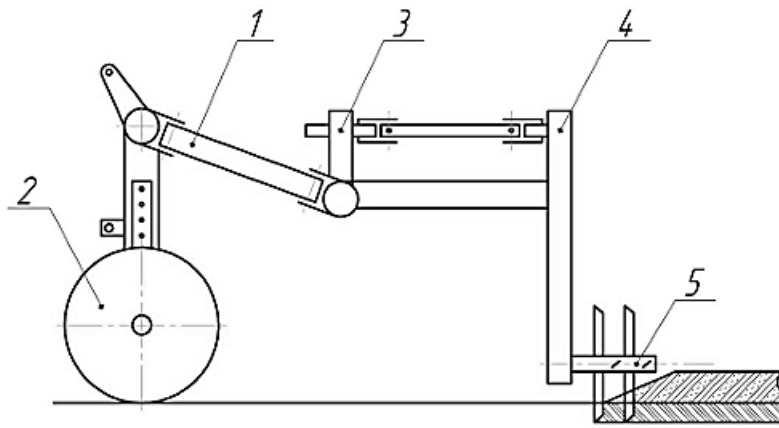


Рисунок 2.2 – Схема машини для підгортання вегетативно розмножуються рослин: 1 – рама; 2 – опорні колеса; 3 – роздавальний редуктор; 4 – привод ротора; 5 – фрезерний барабан.

Фрезерні барабани забезпечують фрезерування ґрунту знизу-вгору до ряду рослин та його накидання на стрічку рослин, формуючи валок трапецієподібної форми без порожнин.

Машина для общипування листя з пагонів клонових підщеп: запропонована схема містить фронтально розташований обчісувальний барабан, утримуючий пристрій та довідник, змонтовані на рамі [Рис. 2.3].

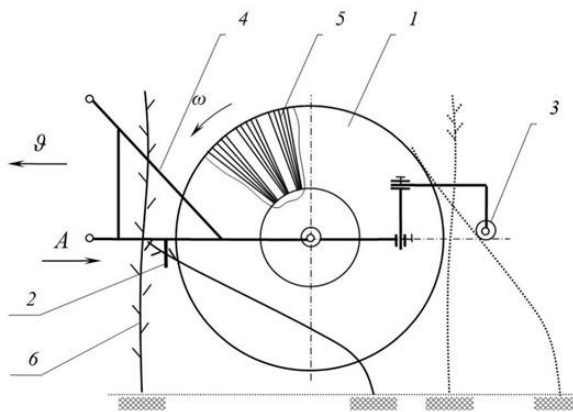


Рисунок 2.3 – Схема машини для видалення листя з пагонів клонових підщеп: 1. обчісувальний барабан; 2. утримувальний пристрій; 3. Довідник; 4. Рама; 5. ворс барабана; 6. Пагін.

Робоча поверхня барабана виконана у вигляді ворсу з еластичних стрижнів. Утримуючий пристрій виконаний у вигляді гребінки з утримуючими западинами, що нахиляє пагони та формує їх вузькими смугами, забезпечуючи

натягнутий стан та ефективне видалення листя. Довідник допомагає довести найвищі пагони у зону обертання барабана.

Машина для відокремлення відводків: нова схема машини включає навіску з опорно-регулювальними колесами, рухому раму, приєднану за допомогою паралелограмного механізму, на якій встановлений ніж з приводом та копіювальним механізмом [Рис. 2.4].

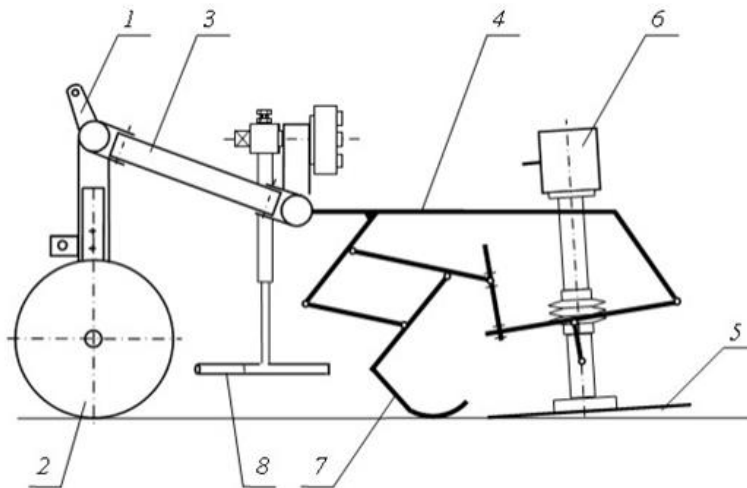


Рисунок 2.4. – Схема машини для відділення відводків вегетативно розмножуваних підщеп яблуні: 1 навіска, 2. опорно-регулювальні колеса, 3. паралелограмний механізм, 4 рухома рама, 5 дисковий ніж, 6. привод, 7. Копіювальний механізм, 8. Автонаправник.

Машина також оснащена автонаправником. Спрямована на забезпечення якісного зрізу та відкидання зрізаних рослин у валок.

Система автоматичної орієнтації машини (CAO): принципова схема системи автонаправлення руху навісної машини складається з копіра, золотникового розподільника та циліндра, що взаємодіє з рамою через паралелограмний механізм [Рис. 2.5].

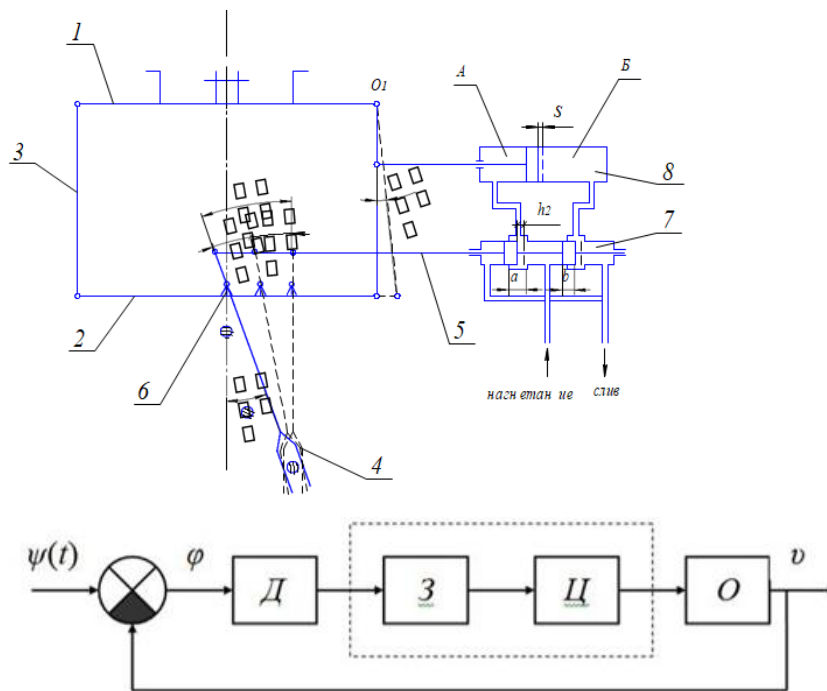


Рисунок 2.5 – Принципова (а) та функціональна (б) схеми автонаправника: 1-рама; 2 - навішування; 3 – паралелограмний механізм; 4 – копії; 5 – тяга; 6 – повідець; 7 – золотник; 8 – гідроциліндр; $\mathcal{D}$ – датчик; $\mathcal{Z}$ – золотник; $\mathcal{C}$ – циліндр; $\mathcal{O}$ – об'єкт; $\mathcal{IM}$ – виконавчий механізм

Наявність регулятора витрати у нагнітальній магістралі забезпечує постійну подачу робочої рідини, підвищуючи надійність роботи. Копіювальні щупи, розташовані з обох боків стрічки рослин, орієнтовані вздовж ряду і оснащені напрямителями.

2.2. Розробка моделі функціонування машини

Процес розробки універсального комплексу базувався на системному підході та методології SADT/IDEF (Structured Analysis and Design Technique), що дозволяє комплексно охопити проблему комплексної механізації. Методологія SADT/IDEF дає змогу побудувати структурно-функціональну модель об'єкта, поступово вводячи рівні деталізації.

Етапи розробки та моделювання:

1. Формування проблематики та процедур рішення: аналіз починається з побудови моделі досліджуваного об'єкта або процесу. Запропоновано структурно-функціональну схему побудови проблематики та цілепокладання

комплексної механізації, яка визначає механіко-технологічні основи створення комплексу [Рис. 2.6].

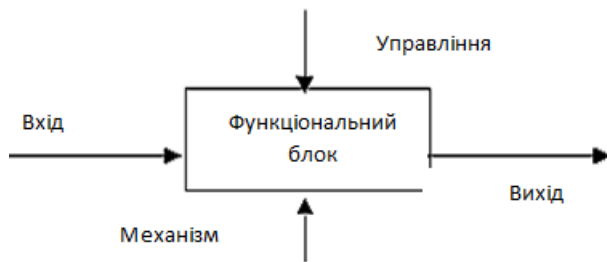


Рисунок 2.6 – Основна нотація стандарту IDEF.

Відмінною особливістю методології SADT від інших нотацій (наприклад – модель «чорної скриньки») є поступове введення все більших рівнів деталізації (у міру накопичення інформації або знань про об'єкті дослідження), що в результаті структурує проблему або предметну сферу дослідження.

2. Побудова концептуальних моделей: для скорочення часу створення комплексу застосовано концептуальне моделювання, яке виступає як формалізований опис складних систем. Розроблено методику послідовних наближень [Рис. 2.7], що включає ітераційний алгоритм і дозволяє послідовно наближати технічні рішення до оптимального варіанту вже на етапі проектування.

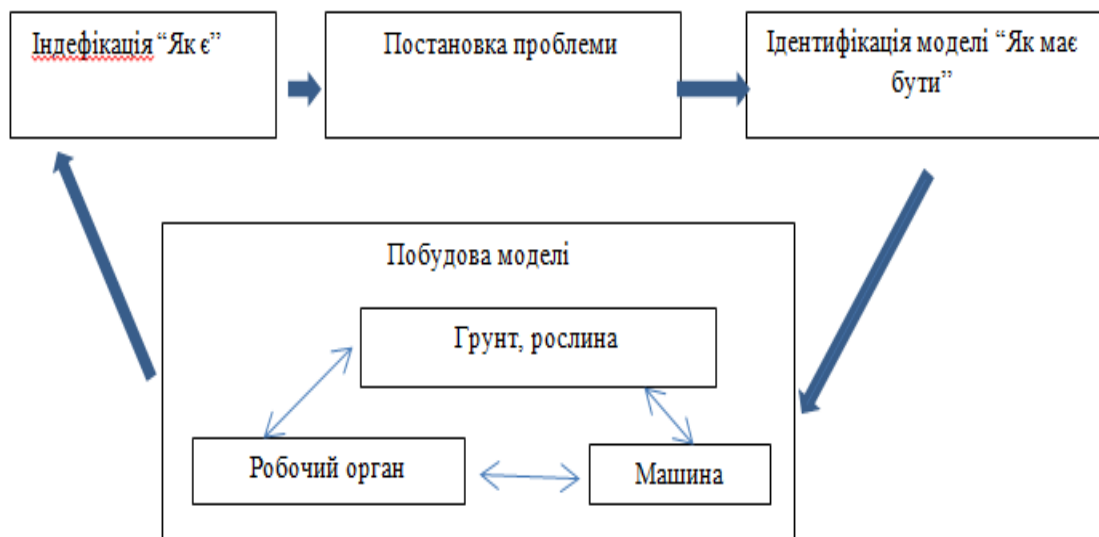


Рисунок 2.7 – Алгоритм концептуального моделювання робітників органів та технологічних модулів для комплексної механізації вирощування вегетативно розмножуваних підщеп.

2.3. Теоретичне дослідження продуктивності машини

Продуктивність машин визначається їхніми кінематичними та конструктивними параметрами, які впливають на якість та швидкість виконання операцій.

Для машини весняного відкриття:

Частота обертання ротора (ω) залежить від швидкості машини (ϑ_m), кількості граблін (z) та подачі на одну граблицю (c) [217, Таблиця 2.1].

Мінімальна частота обертання ротора, при якій відбувається робочий процес, становить $5,7 \text{ c}^{-1}$.

Таблиця 2.1 - Частота обертання ротора, ω (c^{-1}), залежно від швидкості машини $m \vartheta$ (м/с), кількості граблін z (шт.) та подачі на одну граблицю z (м).

С.м	Частота обертання ротора ω при швидкості машини $m \vartheta$ і кількості граблін z											
	0,28 м/с			0,5м/с			0,75м/с			1м/с		
	z (шт.)			z (шт.)			z (шт.)			z (шт.)		
	8	6	4	8	6	4	8	6	4	8	6	4
0,05	4,4	5,9	8,8	7,9	10,5	15,7	11,8	15,7	23,6	15,7	20,9	31,4
0,04	5,5	7,3	11	9,8	13,1	19,6	14,7	19,6	29,4	19,6	26,2	39,3
0,03	7,3	9,8	14,7	13,1	17,4	26,2	19,6	26,2	39,3	26,2	34,9	52,3
0,02	11	14,7	22	19,6	26,2	39,3	29,6	39,3	58,9	39,3	52,3	78,5
0,01	22	29,3	44	39,3	52,3	78,5	58,9	78,5	117,8	78,5	104,5	157

Максимальна частота обертання ротора, що забезпечує розкидання субстрату в допустимих межах (без засипання сусіднього ряду), становить $28,5 \text{ c}^{-1}$.

Оптимальна швидкість руху машини $\vartheta_m = 0,5-0,75 \text{ м/с}$ при шестиграблинному роторі та подачі на граблицю 2-3 см дає частоту обертання $16,7-37,5 \text{ c}^{-1}$.

Для машини підгортання:

Кут установки ножа (γ) та окружна швидкість ротора ($\vartheta_{\text{окр}}$) впливають на дальність та висоту польоту частинок ґрунту [Рис. 2.8].

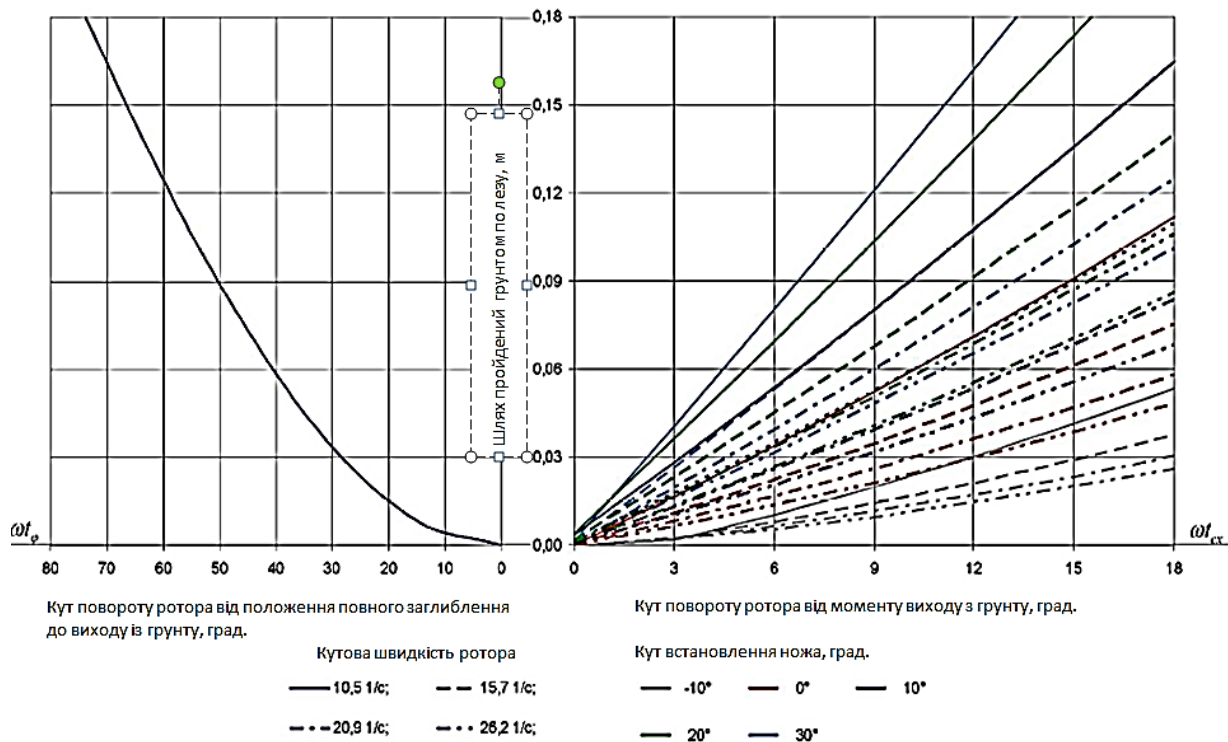


Рисунок 2.8 – Вплив кутової швидкості барабана та кута встановлення ножа на шлях, пройдений часткою.

Для ефективного заповнення валка, кутова швидкість повинна бути в діапазоні $15,7\text{--}20,9\text{ с}^{-1}$, а кут установки ножа – понад 50° .

Глибина обробки не повинна перевищувати 60 мм для переміщення частинок у зону зростання пагонів.

Для машини обципування листя:

Кінематичний показник λ (відношення окружної швидкості робочого органу до поступальної швидкості машини) впливає на повноту видалення листя та пошкодження пагонів

Оптимальний показник λ для повноти обципування складає не менше 20,23 (54-118) та 25,48 (62-396).

Для машини відокремлення відводків:

Орієнтоване укладання зрізаних пагонів, що виключає їх пошкодження, є важливою складовою якості.

Теоретичний аналіз показує, що одиничний пагін після зрізу неминуче впаде в напрямку руху машини, тому для відведення пагонів після відділення необхідні додаткові пристрої.

Для системи автоматичної орієнтації:

Калібрований отвір дроселя регулятора потоку масла 3,5-4,0 мм забезпечує достатній потік (10-15 л/хв).

Оптимальна висота установки копіїв 250-350 мм над гребенем укривного валу.

Попереднє стиснення стрічки пагонів напрямителями забезпечує якісніше копіювання рядка.

2.4. Теоретичне дослідження енергоємності технологічного процесу досліджуваної машини

Для машини весняного відкриття:

Витрати потужності на привід ротора (N_p) складаються з потужності на різання ($N_{рез}$), подолання опору тертя призми волочіння ($N_{тр}$) та відкидання пласта (N_o).

$$N_p = N_{рез} + N_{тр} + N_o.$$

При оптимальних конструктивних та кінематичних параметрах, що забезпечують виконання технологічного процесу, навантаження на одну граблину становить близько 245 Н, а сумарна потужність на привід ротора не перевищує 4,5 кВт.

Надані джерела не містять окремого розрахунку енергоємності для інших технологічних модулів, але зазначається, що розробка нових комплексів спрямована на зниження ресурсних та енергетичних витрат.

Висновки по розділу

1. Розроблені перспективні технологічні схеми машин для весняного відкриття маткових рослин, підгортання відростаючих пагонів, общипування листя та відокремлення відводків, що мінімізують трудомісткість операцій та покращують якість робіт.

2. Для машини весняного відкриття маткових рослин: визначено оптимальні конструктивні параметри робочого органу (крок розташування еластичних пальців 40 мм, кут нахилу ротора 20° , діаметр ротора 520-550 мм) та діапазон робочих частот ($5,7 - 28,5 \text{ с}^{-1}$) для рівномірного розкидання

субстрату без пошкодження рослин. Потреба у потужності на привід ротора становить до 4,5 кВт.

3. Для машини підгортання відростаючих пагонів: встановлено, що оптимальний кут установки ножа (понад 50°) та кутова швидкість ротора ($15,7$ - $20,9 \text{ с}^{-1}$) забезпечують формування валка. Глибина обробки не повинна перевищувати 60 мм, що вимагає ступінчастої системи зміщення ґрунтового пласта.

4. Для машини общипування листя: вирішено компромісну задачу між повнотою общипування та пошкодженням пагонів. Оптимальні параметри капронового ворсу: діаметр 3-4 мм, довжина 120-180 мм.

5. Для машини відокремлення відводків: визначено, що дискові ножі діаметром 410-420 мм з кутовою швидкістю 1200-1300 об/хв забезпечують якісний зріз. Необхідні додаткові пристрої для відведення пагонів, щоб уникнути повторного зрізу.

6. Для системи автоматичної орієнтації: визначені оптимальні параметри дроселя (калібрований отвір 3,5-4,0 мм для витрати 10-15 л/хв при тиску 0,2-0,5 МПа) та копіра (висота установки 250-350 мм, зазор 100-150 мм) для точного позиціонування робочих органів.

7. Запропоновані технічні засоби є основою універсального комплексу для вирощування вегетативно розмножуваних підщеп, що відповідає сучасним вимогам механізації садівництва.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Результати експериментальних досліджень

Наведено результати експериментальних досліджень, присвячених вивченню фізико-механічних характеристик відводків яблуні, а також функціональних показників технологічних модулів універсального агротехнічного комплексу. Отримані результати стали основою для обґрунтування оптимальних конструктивних рішень і режимів роботи нових машин, а також для формування ключових техніко-технологічних вимог до комплексу обладнання в цілому. Проведений детальний аналіз дозволив виявити важливі залежності, що визначають якість і ефективність виконання агротехнічних операцій у маточниках.

Дослідження фізико-механічних властивостей відводків вегетативно розмножуваних підщеп яблуні є критично важливим етапом у процесі проектування та вдосконалення сільськогосподарської техніки. Ці характеристики мають прямий вплив на конструкцію робочих органів машин і визначають їх експлуатаційні параметри, забезпечуючи безпечну та ефективну взаємодію з рослинним матеріалом.

Початкові вимірювання засвідчили істотні відмінності між досліджуваними підщепами. Так, середня висота відводків підщепи 62-396 становила 57 см, тоді як у підщепи 54-118 – 79 см. Діаметр кореневої шийки був майже однаковим: 6,8 мм для 62-396 і 6,7 мм для 54-118. Водночас кількість листя значно відрізнялася – 56,2 листка на метр у 62-396 проти 38,9 у 54-118. Ці базові біометричні показники, узагальнені в таблиці 3.1, мають ключове значення для подальшого проектування та калібрування машинних модулів. Виражені відмінності у довжині пагонів і щільності листя між підщепами зумовлюють необхідність адаптації конструкції універсальної машини або використання окремих налаштувань для кожного типу рослин.

Зусилля відриву листя: знижується від 13-16,7 Н (до вершини) до 2,0-2,1 Н (до кореневої шийки) [3, 5, 9], Таблиця 3.1, Рис. 3.2].

Таблиця 3.1 – Параметри відводків клонових підщеп 62-396 та 54-118.

Параметр	Варіаційні показники M	σ	m	p, %	V, %
Підщепа 62-396					
Довжина пагона (l), см	57,7	13,2	1,9	3,2	22,9
Діаметр пагона (d), мм	6,8	1,7	0,2	3,6	25,1
Кількість листків (n), шт.	32	10	1,4	4,3	30,3
Відношення n/l	0,56	0,14	0,02	3,4	24,1
Підщепа 54-118					
Довжина пагона (l), см	79,1	29,1	4,1	5,2	36,8
Діаметр пагона (d), мм	6,7	2,1	0,3	4,4	30,9
Кількість листків (n), шт.	29	9	1,3	4,6	32,4
Відношення n/l	0,39	0,15	0,02	5,4	38

Таблиця 3.2 – Результати виміру зусилля відриву листка з відводків клонових підщеп 62-396 та 54-118 залежно від напрямку дії сили.

Напрямок дії сили	M, Н	σ , Н	m, Н	p, %	V, %
Підщепа 62-396					
До вершини пагона (P 0)	16,7	4,1	0,6	3,5	24,5
Перпендикулярно осі пагона (P 90)	10,1	2,8	0,4	4	28,1
До основи пагона (P 180)	2,1	0,8	0,1	5,5	38,9
Підщепа 54-118					
До вершини пагона (P 0)	13	3,2	0,5	3,4	24,3
Перпендикулярно осі пагона (P 90)	7,6	3	0,4	5,5	38,7
До основи пагона (P 180)	2	0,7	0,1	2,5	31,6

Рисунок 3.1 наочно демонструє, як змінюється зусилля відриву листка з відводків клонових підщеп яблуні. Цей графік візуально підтверджує, що найменше (лімітуюче) зусилля відриву спостерігається при дії сили в напрямку до основи пагона.

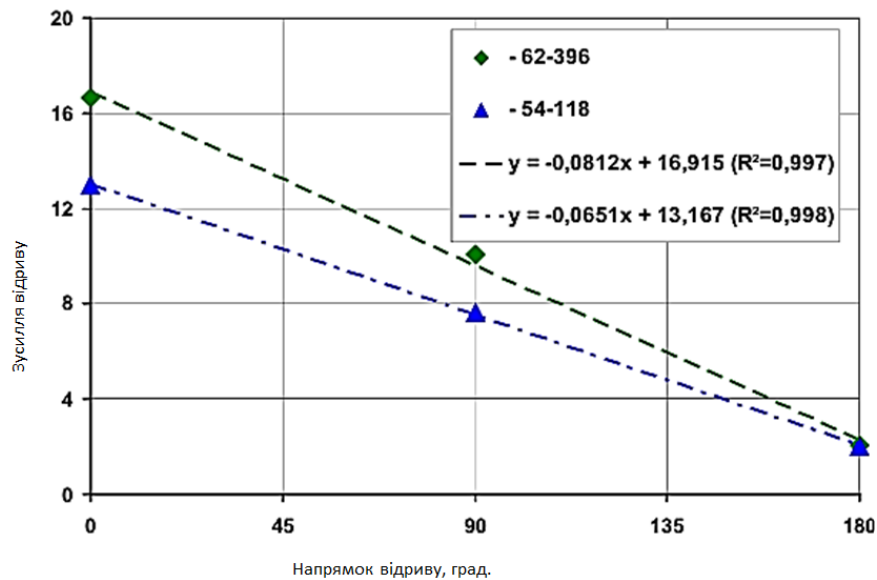


Рисунок 3.1 – Залежність зусилля відриву листка від напрямлення сили.

Машина для весняного відкриття маткових рослин:

Збільшення жорсткості еластичних елементів (від 3,2 до 80 Н) покращує ступінь розкриття, але збільшує пошкодження бруньок та пагонів [Рис. 3.2].

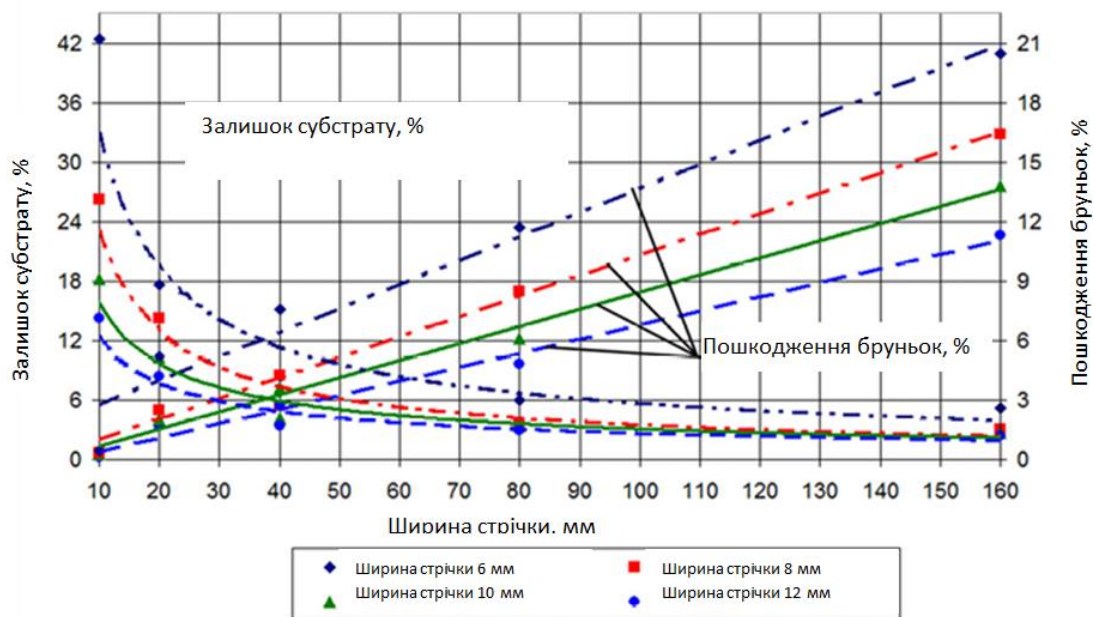


Рисунок 3.2 – Залежність повноти видалення субстрату покривного валу та ушкоджуваності рослин параметрів лопаті.

Оптимальна жорсткість забезпечується стрічкою товщиною 8-10 мм і шириною смуг 40 мм.

Для запобігання засипанню сусіднього ряду, частота обертання ротора не повинна перевищувати $26,2 \text{ с}^{-1}$ [3, 6, 15, Таблиця 3.3]. Повнота видалення субстрату досягає 93-97%.

Таблиця 3.3 – Розподіл укритого субстрату по міжряддю, %

Частота обертання ротора, с^{-1}	1 зона ряду	Зона 2 (200...900 мм)	2 (900...1600 мм) зона міжряддя	3 зона сусіднього ряду
10,5	24,6	68,4	7	0
18,8	17,2	68,3	14,3	0
22	14,3	61,2	24,5	0
26,2	10,1	50,4	38,7	0,8
31,4	7,2	34,7	48,3	9,8

Машина для підгортання пагонів:

Площа секції валка (переміщеної маси ґрунту) залежить від окружної швидкості ротора та кута установки ножів [Таблиця 3.4].

Таблиця 3.4 – Експериментальні фактори та варіаційні показники площі переміщеної маси ґрунту

№ досліду	№ реалізації	Фактори досліду	M, см^2	σ , см^2	m, см^2	p, %	V, %
1	10	+1 +1 0	292,1	12,4	7,2	2,5	4,3
2	5	+1 -1 0	322,8	11,9	6,9	2,1	3,7
3	6	-1 +1 0	300,1	11,2	6,5	2,2	3,7
4	1	-1 -1 0	314,1	15,6	9	2,9	5
5	7	+1 0 +1	257,8	14,1	8,1	3,1	5,5
6	3	+1 0 -1	320,1	8,7	5	1,6	2,7
7	12	-1 0 +1	234,5	10	5,8	2,5	4,3
8	11	-1 0 -1	201,2	7,7	4,5	2,2	3,8
9	8	0 +1 +1	377,2	13,2	7,6	2	3,5
10	9	0 +1 -1	357,1	14,5	8,4	2,3	4,1
11	4	0 -1 +1	372,3	12,5	7,2	1,9	3,4
12	2	0 -1 -1	354,2	9,3	5,4	1,5	2,6
13	13	0 0 0	405,9	10,7	6,2	1,5	2,6

Для якісного заповнення ґрунтом простору між рослинами, окружна швидкість ротора має бути не більше 4,2 м/с.

Оптимальна структура ґрунту (вміст фракцій 0,25-7 мм не менше 50%) досягається при окружній швидкості ротора 3,9-5,2 м/с та 4 ножах на диску ротора [Таблиця 3.5].

Таблиця 3.5 – Кількість фракцій ґрунту, %

№ досліду	№ реалізації	Фактори	Кількість фракцій, %
		<u>x1</u>	<u>x2</u>
Природно складений ґрунт у міжрядді			
-	-	-	-
Фрезерування ґрунту			
1	10	+1	+1
2	5	+1	-1
3	6	-1	+1
4	1	-1	-1
5	7	+1	0
6	3	+1	0
7	12	-1	0
8	11	-1	0
9	8	0	+1
10	9	0	+1
11	4	0	-1
12	2	0	-1
13	13	0	0

Рекомендовані параметри: $\vartheta_{\text{окр}}=3,9$ м/с, 4 ножі, кут 10° - 20° .
 Забезпечується якісне заповнення валка без пошкоджень рослин [Рис. 3.3].



Рисунок 3.3 – Виробничі випробування УКМ із технологічним модулем для підгортання відростаючих пагонів.

Машина для обципування листя:

Щітковий робочий орган, встановлений фронтально, є найперспективнішим, забезпечуючи повноту відділення листя 76,6% [379-380, Рис. 3.4].

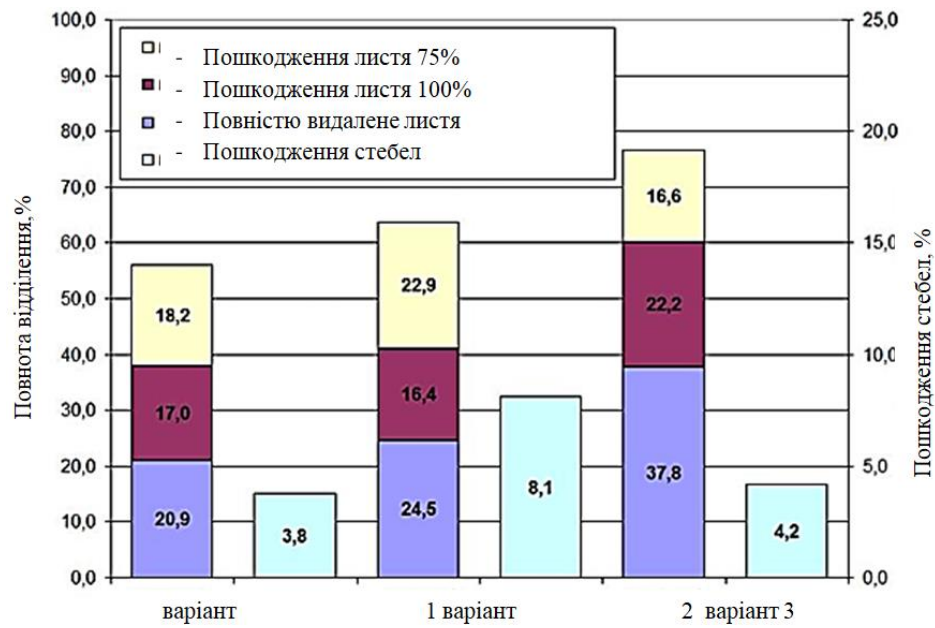


Рисунок 3.4 – Повнота ошмигування листя різними робочими органами.

Обертання ротора повинно бути “прямим” (від вершини до основи пагона).

Збільшення кількості проходів покращує повноту, але збільшує пошкодження пагонів [Таблиця 3.6].

Таблиця 3.6 – Якість відділення листя залежно від напрямку обертання ротора та кількості проходів.

Фактор	Видалення листка, %	Пошкодження листяної пластини, %	Пошкодження бруньки, %	Пошкодження пагонів, %
		100	75	50
Один прохід, зворотне обертання	19,3	15	17,2	18,1
Один прохід, пряме обертання	35,6	14,6	14,4	12,8
Два проходи, пряме обертання	60	18,9	8,9	8,6
Три проходи, пряме обертання	65,2	27,2	4,8	1,9

Кінематичний показник λ : для повноти общипування не менше 20,23 (54-118) та 25,48 (62-396).

Розсікач-утримувач (конструкція 2) збільшує повноту відділення листя до 90,5%. Довідник збільшує повноту ще на 8-10%.

Комплексне застосування обчісувального ротора з розсікачем-утримувачем та довідником забезпечує якість обципування листя при $\lambda = 16,5-20,3$, наближаючись до показників ручного обципування, при цьому пошкодження пагонів становить у середньому 3,8% [Рис. 3.5].



Рисунок 3.5 - Підщепа 54-118 після механічного ошмигування.

Машина для відокремлення відводків:

Найкращу якість зрізу забезпечує дисковий ніж з сегментними ріжучими елементами при кутовій швидкості 1200-1300 об/хв [Рис. 3.6а]. Сплошний диск дає нерівний зріз з розщепленням.

а)



б)



а) із сегментами;

б) суцільний

Рисунок 3.6 – Якість зрізу дисковим ножем .

Більшість зрізів (86-90%) мають діаметр не більше 20 мм [Таблиця 3.7].

Таблиця 3.7 – Частота спостережень діаметрів зрізів.

Номери класів	Межі класів, мм	Середнє по класу, мм	Частота спостережень
			Суцільний <u>диск</u> , шт.
1	3-8	5,5	47
2	9-14	11,5	43
3	15-20	17,5	17
4	21-26	23,5	7
5	27-32	29,5	7
6	33-38	35,5	2
7	39-44	41,5	1
8	45-50	47,5	1
Всього	-	-	125

Використання сегментного ножа дає на 16,3% кращий вихід стандартних відводків порівняно зі сплошним ножом [Таблиця 3.8].

Таблиця 3.8 – Товарна якість та біометричні показники відводків клонових підщеп після омолодження та відділення.

Варіант досліджу	Вихід підщеп шт.	Стандартних від контролю, % <u>в т.ч.</u> шт.	Біологічні показники %
Омолодження суцільним <u>дисковим ножом</u>	36	25	69,4
Варіант 1 + механізоване відкриття маточних рослин	55	29	52,7
Омолодження дисковим <u>ножом з сегментами</u>	55	25	45,5
Варіант 3 + механізоване відкриття маточних рослин	56	36	66,7
Ручне відділення (контроль)	87	43	49,4

Копіювальний механізм забезпечує необхідну висоту зрізу з відхиленням $\pm 0,5$ см. Візуально всі відділені відводки без пошкоджень [4, 7, 12, Рис. 3.7].



Рисунок 3.7 – Відокремлені відведення

Відхилення трактора від прямолінійного руху не впливає на орієнтацію машини над рослинами. Система забезпечує точне позиціонування робочих органів.

3.2. Обробка і аналіз результатів експериментальних досліджень

Результати експериментальних досліджень підтвердили адекватність розроблених теоретичних моделей та алгоритмів.

- Встановлено, що для весняного відкриття оптимальна жорсткість еластичних елементів забезпечує ефективне розкриття (93-97% повноти) з мінімальним пошкодженням рослин, а обмеження частоти обертання ротора (до $26,2 \text{ c}^{-1}$) запобігає засипанню сусідніх рядів.

Для підгортання фрезерний ротор з оптимальними параметрами (окружна швидкість $3,9 \text{ м/с}$, 4 ножі, кут установки 10° - 20°) забезпечує необхідні параметри валка та оптимальний фракційний склад ґрунту, що сприяє розвитку рослин та підвищенню виходу стандартних відводків.

Для обципування листя щітковий робочий орган з "прямим" обертанням, оснащений розсікачем-утримувачем та довідником, забезпечує високу повноту видалення листя (96-99%) при мінімальному пошкодженні пагонів (3,8%).

Для відокремлення відводків дисковий ніж з сегментними елементами (діаметр 410-420 мм, кутова швидкість 1200-1300 об/хв) забезпечує якісний зріз

без пошкоджень та збільшує вихід стандартних відводків на 16,3% порівняно зі сплюшним ножом.

Система автоматичної орієнтації забезпечує точне позиціонування робочих органів незалежно від відхилень руху трактора, підтримуючи нормальний температурний режим гідросистеми.

Висновки по розділу

1. Проведені експериментальні дослідження підтвердили адекватність розроблених алгоритмів та математичних моделей, а також дозволили уточнити оптимальні конструктивні параметри та кінематичні режими для кожного технологічного модуля.

2. Визначені агрофізичні показники підщеп яблуні (середня висота пагонів, ширина стрічки, ступінь облиствленості, жорсткість на вигин, міцність кори, зусилля відриву листя) дозволили обґрунтувати технологічні параметри та межі застосування розроблених машин.

3. Експериментально встановлено, що розроблені технологічні модулі забезпечують високу якість виконання операцій:

Весняне відкриття: повнота видалення субстрату 93-97% без пошкоджень маткових рослин при оптимальних параметрах.

Підгортання: оптимальні параметри фрезерного ротора забезпечують формування валка необхідного профілю та структури ґрунту за один прохід, без пошкодження рослин.

Общипування листя: щітковий робочий орган з додатковими пристроями забезпечує 96-99% повноти видалення листя з мінімальним пошкодженням пагонів (3,8%).

Відокремлення відводків: дисковий ніж із сегментами забезпечує якісний зріз (до 95% пагонів) та збільшує вихід стандартних відводків.

Система автоматичної орієнтації: забезпечує точне позиціонування робочих органів над рядом рослин незалежно від відхилень трактора.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих виробничих факторів

При створенні та експлуатації комплексу для вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні існує низка потенційних небезпек та шкідливих виробничих факторів, які необхідно врахувати для забезпечення безпечних умов праці. До основних з них належать:

Механічні небезпеки:

- Рухомі частини обладнання: Експлуатація ґрунтообробної техніки, саджалок, зрошувальних систем, транспортерів та іншого механізованого обладнання створює ризик затягування, намотування, защемлення кінцівок або інших частин тіла працівників.
- Падіння предметів: Існує ризик падіння інструментів, матеріалів, деталей обладнання під час монтажу, ремонту або експлуатації.
- Нестійкість конструкцій: Можливе обвалення тимчасових споруд, стелажів, або несправних елементів конструкції комплексу.
- Травми від ручного інструменту: Порізи, проколи, забиття при роботі з садовим інвентарем (секатори, ножі, лопати).

Фізичні небезпеки:

- Шум та вібрація: Робота сільськогосподарської техніки та насосних станцій може генерувати підвищений рівень шуму та вібрації, що негативно впливає на слух та загальний стан працівників.
- Пилоутворення: Під час ґрунтообробних робіт та переміщення сипучих матеріалів може утворюватися пил, що подразнює дихальні шляхи.

Психофізіологічні фактори:

- Напруга зору: При виконанні точних робіт, пов'язаних з живцюванням або доглядом за молодими рослинами.
- Монотонність праці: Деякі операції можуть бути монотонними, що призводить до зниження уваги та втоми.
- Важкість праці: Виконання робіт, пов'язаних з підняттям важких предметів, незручними позами.

4.2 Заходи та засоби забезпечення безпеки праці

Для мінімізації зазначених ризиків та створення безпечних умов праці необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів:

Організаційні заходи

- Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці: Для кожного виду робіт та обладнання повинні бути розроблені детальні інструкції з безпечного виконання, які включають вимоги до працівників, порядок дій, використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).
- Навчання та інструктажі: Усі працівники, які залучаються до роботи на комплексі, повинні пройти обов'язкове навчання з охорони праці, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі з реєстрацією в журналах.
- Медичні огляди: Працівники повинні проходити попередні та періодичні медичні огляди відповідно до чинного законодавства.
- Контроль за дотриманням норм охорони праці: Повинен бути призначений відповідальний за охорону праці, який здійснюватиме постійний контроль за дотриманням вимог безпеки.
- Розслідування нещасних випадків та професійних захворювань: Усі нещасні випадки та професійні захворювання повинні бути своєчасно розслідувані згідно з встановленим порядком, з розробкою заходів щодо запобігання їх повторенню.

4.3 Технічні заходи. Безпека обладнання:

- Захисні огороження: Усі рухомі та обертові частини машин та механізмів повинні бути обладнані надійними захисними огороженнями, що виключають доступ до них під час роботи.
- Блокувальні пристрої: Обладнання повинно бути оснащене блокувальними пристроями, що запобігають його запуску при знятих захисних огороженнях або відкритих люках.
- Відповідність стандартам: Використання обладнання, що відповідає державним стандартам та нормам безпеки.

Організація робочих місць:

– Ергономіка: Облаштування робочих місць з урахуванням ергономічних вимог для зменшення фізичного навантаження та втоми.

4.4 Висновок щодо забезпечення безпеки праці

Створення безпечних умов праці на комплексі для вирощування вегетативно розмножуваних підщеп яблуні є невід'ємною частиною проектування та експлуатації. Комплексний підхід, що включає ретельний аналіз потенційних небезпек, впровадження організаційних та технічних заходів безпеки, а також постійний контроль за дотриманням норм охорони праці, дозволить значно знизити ризик виникнення нещасних випадків та професійних захворювань. Забезпечення працівників належними засобами індивідуального захисту, регулярні інструктажі та медичні огляди, а також відповідність обладнання та технологічних процесів діючим стандартам охорони праці є ключовими елементами ефективної системи безпеки. Дотримання цих принципів забезпечить не лише збереження життя та здоров'я працівників, але й сприятиме підвищенню продуктивності праці та ефективності функціонування всього комплексу.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Економічна ефективність розробленого універсального комплексу для робіт у маточниках УКМ (варіант 3) оцінювалася порівняно з існуючими комплексами технічних засобів, що застосовуються в Україні (варіант 1) та сучасними зарубіжними комплексами (варіант 2) [Таблиця 5.1].

Таблиця 5.1 Вартість машин розрахована з урахуванням витрат на виготовлення УКМ.

№	Технологічна операція	Комплекс технічних засобів Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
1	2	3	4	5
1	Весняне розкриття маточника	МТЗ-80	МТЗ-320	+УКМ-ВР
2	Триразовий міжрядний обробіток	МТЗ-80 + КВП-2,8	МТЗ-80 + КРН-2,8	МТЗ-320 + УКМ-МО
3	Перше підгортання	МТЗ-80+СОС-1	МТЗ-80+СОС-1	МТЗ-320 +ПРВН-2,5
4	Друге та третє підгортання	МТЗ-80+СОС-1	МТЗ-80+СОС-1	МТЗ-320 +УКМ-ОМ
5	Виправлення саджанців після підгортання	Вручну	-	-
6	Опшмигування	Вручну	Вручну	+УКМ-ОШ
7	Розкриття кореневої системи пагонів	МТЗ-80 +ПРВН-2,5	МТЗ-80 +МПО-1	МТЗ-320 +УКМ-РК
8	Додаткове розкриття кореневої системи	Вручну	-	-
9	Відокремлення відводків	Вручну	МТЗ-80 + машина для відокремлення відводків	МТЗ-320 +УКМ-ОО
10	Сортування саджанців за сортами	Вручну	Вручну	Вручну
11	Підрахунок та в'язка саджанців у пучки	Вручну	Вручну	Вручну
12	Осіньне підгортання	МТЗ-80 +ПРВН-2,5	МТЗ-80+СОС-1	МТЗ-320 +УКМ-ОМ

Основні результати застосування УКМ:

Підвищення продуктивності маточника на 4,3-7,0% та збільшення виходу стандартних відводків на 16,1-21,6% порівняно з базовою технологією [Таблиця 6.2]. Це дозволяє отримати додатково 54,4 тис. якісних рослин.

Додатковий економічний ефект становить 150-225 тис. грн./га за рахунок різниці в ціні відводків першого сорту та нестандарту [Таблиця 6.2].

Зниження витрат ручної праці в середньому у 5,4 рази.

Підвищення ступеня механізації на спеціалізованих технологічних операціях до 77,8%.

Зниження капітальних вкладень порівняно з комплексом сучасних випускаються машин на 20% завдяки блочно-модульному принципу побудови.

Річний економічний ефект від застосування універсального комплексу УКМ для робіт у маточнику складає 150 - 225 тис. грн на 1 га [4, 9, 21].

Термін окупності комплексу – 1 сезон.

Висновки по розділу

1. Застосування універсального комплексу УКМ для виробництва підщепного матеріалу забезпечує значний економічний ефект, підвищуючи ступінь механізації до 77,8%, знижуючи витрати ручної праці у 5,4 рази, підвищуючи продуктивність маточника на 4,3-7,0% та вихід стандартних відводків на 16,1-21,6%.

2. Економічна ефективність комплексу становить 150 - 225 тис. грн (на 1 га), а його термін окупності складає лише 1 сезон.

3. Результати досліджень рекомендується впроваджувати у виробництво, що підтверджено виробничими перевірками, що свідчить про їхню практичну значущість та відповідність вимогам сучасного садівництва.

Загальні висновки

1. Стабільне отримання високоякісних плодів у України вимагає переведення промислового садівництва на інтенсивну систему, що починається з ефективного виробництва якісного садивного матеріалу у відводкових маточниках. Існуючі технології та технічні засоби для ключових операцій (весняне відкриття, підгортання, общипування листя, відокремлення відводків) є недостатньо механізованими та неефективними, що призводить до значних трудовитрат, затягування термінів та втрат продукції.

2. Розроблені техніко-технологічні вимоги до виконання цих найбільш трудомістких операцій вегетативно розмножуваних підщеп яблуні, що враховують їх специфіку та необхідну якість виконання.

3. На основі системного підходу та концептуального моделювання запропоновані принципово нові технічні засоби для кожної з ключових операцій: пристрій з активними роторними робочими органами для весняного відкриття; модуль з фрезерними барабанами для підгортання зі ступінчастою системою ножів; щітковий обчісувальний робочий орган з довідником для общипування листя; модуль з ріжучим диском та допоміжними пристроями для відокремлення відводків; та система автоматичної орієнтації для точного позиціонування.

4. Досліджені фізико-механічні та біометричні властивості пагонів клонових підщеп (54-118 та 62-396), включаючи їх висоту, діаметр, облиствленість, жорсткість на вигин, міцність кори та зусилля відриву листя. Ці дані використані для наукового обґрунтування конструкції та параметрів машин.

5. Проведені теоретичні дослідження взаємодії робочих органів з ґрунтом та рослинами дозволили змодельовати технологічні процеси та обґрунтувати оптимальні конструктивні параметри й кінематичні режими для кожного модуля. Визначено мінімальні та максимальні частоти обертання ротора для весняного відкриття, оптимальні параметри фрезерного барабана для підгортання, характеристики ворсу для общипування листя, параметри

ріжучого диска для відокремлення відводків, а також елементи системи автоматичної орієнтації.

6. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність розроблених технологічних модулів. Встановлено, що вони забезпечують високу повноту виконання операцій (93-97% для весняного відкриття, якісне формування валка для підгортання, 96-99% повноти общипування листя, до 95% зрізу для відокремлення відводків) з мінімальним пошкодженням рослин та оптимальним розподілом матеріалів.

7. Завдяки блочно-модульному принципу побудови створено універсальний комплекс УКМ з шістьма технологічними модулями: УКМ-ОВ (весняне відкриття), УКМ-МО (міжрядний обробіток), УКМ-О (підгортання пагонів), УКМ-РК (видалення субстрату укритого валу), УМК-ОШ (общипування листя) та УКМ-ОО (відокремлення відводків). Цей комплекс має потенціал для подальшої модернізації та адаптації до інших культур.

8. Виробнича перевірка УКМ підтвердила його високу ефективність: підвищення продуктивності маточника на 7-10% для весняного відкриття, збільшення виходу стандартних відводків до 86,2-90,6% для підгортання, повне виключення ручної праці для общипування листя, підвищення виходу стандартних відводків на 5-7% та їх окорінення на 8-10% для відокремлення відводків.

9. Впровадження універсального комплексу УКМ дозволяє підвищити ступінь механізації до 77,8%, знизити витрати ручної праці у 5,4 рази, підвищити продуктивність маточника на 4,3-7,0% та вихід стандартних відводків до 16,1-21,6%, отримуючи значний додатковий прибуток. Економічна ефективність від застосування УКМ становить 150 - 225 тис. грн на 1 га, а термін окупності комплексу – 1 сезон.

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки з виробництва оздоровленого садивного матеріалу плодових культур. Київ, 2017. 32 с. URL: <https://horticulture.com.ua/wp-content/uploads/2017/02/Metodychni-vkazivky.pdf>.
2. Сучасні технології вирощування садивного матеріалу плодових культур / Я. І. Гадзало, В. П. Коновальчук, В. І. Скукіс та ін. Київ : Аграрна наука, 2019. 216 с.
3. Садівництво: підручник / В. П. Коновальчук та ін. Умань: НУБіП України, 2015. 488 с.
4. Барабаш В. В., Качановський В. В., Постоленко В. О. Промислове виробництво саджанців плодових культур : монографія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2016. 240 с.
5. Wang, Y., Zhang, W., Niu, X., Zhu, S., Feng, K. Research Progress on Cuttings of Malus Rootstock Resources in China. *Horticulturae*. 2024. Vol. 10, No. 3. P. 217. URL: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/3/217>.
6. Pereira, M. C. T. et al. Advances in fruit crop propagation in Brazil and worldwide-apple trees. *Brazilian Journal of Fruitculture*. 2017. URL: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/y6Wq8kyQsmrTd4883sdgY5d/>.
7. Agriculture and Agri-Food Canada. APPLE ROOTSTOCK VIGOUR AND PRODUCTION. 2022. URL: https://publications.gc.ca/collections/collection_2022/aac-aafc/A22-673-2022-eng.pdf.
8. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Apple rootstocks. 2022. URL: <https://www.ontario.ca/page/apple-rootstocks>.
9. Poling, E. B., Perry, R. L. Rootstocks for Apples. *Extension | West Virginia University*. 2010. URL: <https://extension.wvu.edu/agriculture/horticulture/apple-rootstocks>.
10. Singh, S. R. Nursery Management in Horticultural Crops. *ResearchGate*. 2024. URL:

https://www.researchgate.net/publication/384434145_Nursery_Management_in_Horticultural_Crops .

11. Войтюк Д. Г., Болтянський В. О., Тищенко Л. М. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : НУБіП України, 2012. 350 с.
12. Механізація сільськогосподарського виробництва: підручник / М. П. Сосницький та ін. Київ : Аграрна освіта, 2018. 450 с.
13. Fan, Z., Yu, Z., Sun, Y., Wang, Z. Mechanized Grafting Technology for Apple Seedlings. *Paper presented at the 2018 International Conference on Agricultural and Food Engineering*. 2018. URL: <https://ageconsearch.umn.edu/record/289649> .
14. New Technologies Applied in Apple Production / Du, G., Lv, Q., Li, J., Liu, H. *eBooks*. 2023. URL: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-24668874-4a38eb3c12.pdf>.
15. Ehsani, R. et al. Mechanization Efforts in Fruit Harvesting. *Choices Magazine Online*. 2019. URL: <https://www.choicesmagazine.org/choices-magazine/theme-articles/emerging-technologies-theme/mechanization-efforts-in-fruit-harvesting>.
16. Lv, Z., Zhao, C. Sensing and Automation in Pruning of Apple Trees: A Review. *ResearchGate*. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/328037627_Sensing_and_Automation_in_Pruning_of_Apple_Trees_A_Review .
17. Robotics for tree fruit orchards. *International Society for Horticultural Science (ISHS)*. 2023. URL: https://www.ishs.org/ishs-article/1395_47 .
18. Autio, W., Cowgill, W. ESTABLISHING A CIDER APPLE ORCHARD FOR MECHANIZED MANAGEMENT. *Washington State University Extension*. 2018. URL: <https://wpcdn.web.wsu.edu/extension/uploads/sites/25/EM117E.pdf> .
19. Washington State University Tree Fruit Research & Extension Center. Mechanical Hedging in Apples. *WSU Tree Fruit*. 2022. URL: <https://treefruit.wsu.edu/article/mechanical-hedging-in-apples/> .

20. Di Renzo, S., Standardi, A. Low-input apple production in central Italy: tree and soil management. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 2004. Vol. 12. P. 115-126. URL: https://www.inhort.pl/files/journal_pdf/journal_2004spec/full2004-7spec.pdf.
21. Заморська О. С., Кіщак М. С., Калінчук І. В., Курасова Н. О. Агротехніка вирощування саджанців яблуні на карликових підщепах // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2017. Вип. 25. С. 139-145.
22. Wang, Y., Zhang, W., Niu, X., Zhu, S., Feng, K. Establishment of an efficient micropropagation system in enhancing rooting efficiency via stem cuttings of apple rootstock M9T337. *Horticultural Science (Prague)*. 2021. Vol. 48, No. 2. P. 63–72. URL: https://www.researchgate.net/publication/351171483_Establishment_of_an_efficient_micropropagation_system_in_enhancing_rooting_efficiency_via_stem_cuttings_of_apple_rootstock_M9T337.
23. Kerepesi, I., Mónok, I. Micropropagation of the apple rootstock M26 by temporary immersion system (TIS). *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*. 2015. Vol. 7, No. 1. P. 59-66. URL: https://www.researchgate.net/publication/284280672_Micropropagation_of_the_apple_rootstock_M26_by_temporary_immersion_system_TIS.
24. Sharma, D. R., Thakur, M., Kumar, K. In vitro rooting and hardening in apple rootstock EMLA111 - Influence of some factors. *ResearchGate*. 2011. URL: https://www.researchgate.net/publication/284342806_In_vitro_rotting_and_hardening_in_apple_rootstock_EMLA111_-_Influence_of_some_factors.
25. CN104737920A. Tissue culture fast breeding method of apple rootstock M9. China. 2015-07-01. URL: <https://patents.google.com/patent/CN104737920A/en>.
26. Brault, E. et al. Mini review: Apple improvement, traditional approaches, biotechnology options, and regulatory considerations. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2025. Vol. 13. P. 1617110. URL:

<https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2025.1617110/pdf> .

27. Puran, P. N., Rao, R. D. Successful propagation in vitro of apple rootstock MM106 and influence of phloroglucinol. *ResearchGate*. 2003. URL: https://www.researchgate.net/publication/11929058_Successful_propagation_in_vitro_of_apple_rootstock_MM106_and_influence_of_phloroglucinol .

28. Sharma, S. K., Singh, S. K., Singh, R. K. Factors affecting induction and development of in vitro rooting in apple rootstocks. *PubMed*. 2007. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17907750/> .

29. Wang, Y., Zhu, Y., Wu, J., Zhang, C., Ma, X. Plant Growth Regulators in Tree Rooting. *MDPI*. 2022. Vol. 11, No. 6. P. 805. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/6/805> .

30. HSRW. Research on drought tolerance and diversity of apple rootstocks. *Transform-hsrw.org*. 2025. URL: <https://transform-hsrw.org/en/news/research-into-drought-resistant-apple-rootstocks-transfers-to-field-trials/> .