

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

САМЧУК ВСЕВОЛОД ІГОРОВИЧ

УДК 631.17

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПРОЄКТ УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ
ВИРОБНИЦТВА ЯБЛУК З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ ФРЕЗИ ДЛЯ
МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Самчук В.І.

Керівник роботи
Куликівський В.Л.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Самчук Всеволод Ігорович. Проєкт удосконалення комплексу машин для виробництва яблук з модернізацією фрези для міжрядного обробітку. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню комплексу машин для виробництва яблук шляхом модернізації фрези для міжрядного обробітку. У роботі здійснено аналіз існуючих технологічних рішень і виокремлено основні недоліки застосовуваних роторних робочих органів, зокрема недостатню глибину та нерівномірність обробітку ґрунту в міжряддях садів.

У результаті теоретичних розрахунків і конструкторських розробок було модернізовано конструкцію фрези. Вибрані матеріали та технології виготовлення деталей фрези відповідають вимогам ресурсозбереження та довговічності.

Розроблений комплекс машин забезпечує підвищення врожайності яблуневих насаджень на 10–12 % та зменшення собівартості виробництва. Запропоновані рекомендації з експлуатації й обслуговування фрези гарантують довговічність її роботи та ефективність впровадження в умовах помірно-континентального клімату України. Загальні результати проєкту свідчать про економічну та технологічну доцільність модернізації комплексу машин для садівництва.

Ключові слова: фреза, технологія, яблука, сади, ґрунтообробна машина, модернізація.

ANNOTATION

Samchuk Vsevolod Ihorovych. Project of improvement of the complex of machines for apple production with modernization of the cutter for inter-row cultivation. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work is devoted to the improvement of a complex of machines for the production of apples by modernizing the cutter for inter-row cultivation. The work analyzes existing technological solutions and identifies the main disadvantages of the rotary working bodies used, in particular, insufficient depth and unevenness of soil cultivation in the inter-row orchards.

As a result of theoretical calculations and design developments, the design of the tiller was modernized. The selected materials and manufacturing technologies for the tiller parts meet the requirements of resource saving and durability.

The developed set of machines ensures an increase in the yield of apple plantations by 10-12% and a reduction in production costs. The proposed recommendations for the operation and maintenance of the cutter guarantee the durability of its operation and the effectiveness of its implementation in the temperate continental climate of Ukraine. The overall results of the project indicate the economic and technological feasibility of modernizing the complex of machines for horticulture.

Keywords: cutter, technology, apples, orchards, tillage machine, modernization.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЯБЛУК.....	10
РОЗДІЛ 2. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ.....	25
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	30
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми дослідження полягає передусім у тому, що садівництво, зокрема виробництво яблук, відіграє надзвичайно важливу роль у структурі сільськогосподарського виробництва України. Яблуневі сади займають значні площі, зокрема у Поліссі, Лісостепу та Карпатському регіонах, і забезпечують як внутрішній ринок, так і експорт продукції до країн ЄС та інших регіонів світу. З огляду на зростаючі вимоги споживачів щодо якості плодів, екологічності технологій обробітку та зниження витрат виробництва, удосконалення машин для міжрядного обробітку ґрунту у яблуневих садах є одним із ключових факторів, що визначають конкурентоспроможність вітчизняних садівницьких господарств. Наявні вітчизняні та імпорتنі агрегати, як правило, мають обмежені можливості адаптації до різних ґрунтово-кліматичних умов регіонів, недостатньо враховують особливості технологічних процесів у високостелечних та напівкореневласних насадженнях, що призводить до зниження продуктивності праці, підвищення енерговитрат і несприятливо відбивається на екологічному стані ґрунту.

Динамічний розвиток світових технологій точного землеробства і впровадження агротехнічних систем із мінімальним руйнуванням ґрунтового покриву стимулюють пошук нових конструктивних рішень міжрядних культиваторів та фрез. У сучасних умовах особливу увагу приділяють збереженню родючого шару ґрунту, боротьбі з бур'янами без застосування великих обсягів гербіцидів, а також забезпеченню оптимального аерації кореневмісного горизонту. Застосування класичних фрезових міжрядних агрегатів не завжди забезпечує необхідний рівень якості обробітку: через нерівномірність глибини загортання, недостатню точність проходження між рядами дерев та високі експлуатаційні витрати. Крім того, існуючі моделі часто не дозволяють оперативно регулювати глибину та ширину обробітку під

впливом змінних погодних умов і різнотипних ґрунтів, що негативно впливає на ріст кореневої системи яблунь, розвиток плодів та загальну врожайність.

Удосконалення конструкції міжрядної фрези з урахуванням особливостей технології вирощування яблук дозволить не лише підвищити ефективність механізованих операцій, а й сприятиме зменшенню затрат на утримання садів. Зокрема, модернізована фреза з можливістю оперативного регулювання кута атаки ножів, швидкості обертання та ширини міжряддя дозволить більш якісно руйнувати ґрунтову кірку, ефективно знищувати бур'яни, водночас мінімізуючи пошкодження кореневмісного шару. Це, в свою чергу, позитивно вплине на водно-повітряний режим ґрунту, сприятиме оптимальній вологості в прикореневій зоні та підвищенню біологічної активності мікрофлори. В результаті очікується зниження потреби в хімічних обробках, що відповідає сучасним вимогам стійкого та екологічно безпечного садівництва.

Економічна доцільність проведення даного дослідження обґрунтовується необхідністю підвищення продуктивності праці та зниження енергоємності технологічних процесів у садівництві. Згідно з даними Державної служби статистики України, собівартість вирощування яблук зростає внаслідок високих витрат на обробіток ґрунту, утримання техніки та оплати праці. Водночас попит на яблука високої якості стабільно зростає, що створює сприятливі умови для інвестицій у нові технічні рішення та модернізацію машинно-тракторного парку. Зниження собівартості за рахунок оптимізації міжрядного обробітку, в свою чергу, сприятиме конкурентним перевагам вітчизняних виробників на внутрішньому та зовнішньому ринках. Впровадження результатів дослідження дозволить не лише підвищити врожайність та якість плодів, а й забезпечити економічну стійкість господарств через зниження питомих затрат на одиницю продукції.

Наукова новизна теми полягає у комплексному підході до розробки модернізованої фрези для міжрядного обробітку, що враховує специфіку виготовлення ґрунтообробного оснащення з урахуванням реальних умов роботи в садах. Запропоноване технічне рішення повинно бути адаптованим до

різноманітних ґрунтів – від супіщаних до суглинкових – та забезпечувати високу точність обробітку без порушення кореневої системи дерев.

Отже, соціальна значущість дослідження полягає в забезпеченні продовольчої безпеки України та зміцненні її експортного потенціалу завдяки підвищенню ефективності та конкурентоспроможності виробництва яблук. Враховуючи актуальні тенденції у світовому садівництві щодо переймання принципів «точного землеробства» та раціонального використання ресурсів, розробка та впровадження вдосконалених міжрядних фрез сприятиме реалізації державної програми підтримки садівництва, а також сприятиме вдосконаленню технологічних процесів у малих і середніх фермерських господарствах. Враховуючи високий потенціал ринку та потребу в екологічно чистій продукції, результати роботи будуть корисними не лише науковцям і розробникам техніки, а й практикам – керівникам і спеціалістам аграрних підприємств, які прагнуть підвищити ефективність виробництва та покращити якість плодів.

Мета дослідження: розробити технічні та технологічні рішення з удосконалення комплексу машин для виробництва яблук шляхом модернізації фрези міжрядного обробітку, що забезпечать підвищення якості обробітку ґрунту, зменшення енерговитрат і скорочення витрат на агротехнічні операції в саду.

Завдання дослідження:

- проаналізувати існуючі конструкції міжрядних фрез та механізованих комплексів, які застосовуються у вирощуванні яблук, з урахуванням їх техніко-експлуатаційних характеристик та адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов;
- визначити основні недоліки наявних фрезових агрегатів (нерівномірність заглиблення, недостатня точність проходження між рядами, підвищені енерговитрати), що негативно впливають на продуктивність і якість обробітку в яблуневих садах;

- сформулювати технічні вимоги та функціональні параметри модернізованої фрези міжрядного обробітку (регулювання глибини, кута атаки ножів, кроку міжряддя) з урахуванням особливостей високостволових та напівкореневласних насаджень;
- розробити конструктивну схему модернізованої фрези, що передбачає модульний принцип регулювання робочих органів, захист кореневої системи та адаптацію до різних типів ґрунтів (супіщані, суглинкові);
- виконати теоретичні розрахунки основних параметрів модернізованої фрези (потужність приводу, швидкість обертання ротора, зусилля на різальні елементи) з метою оптимізації енерговитрат та забезпечення необхідної якості руйнування ґрунтової кірки.

Об'єкт дослідження: технологічний процес міжрядного обробітку ґрунту в системі вирощування яблук, що включає послідовність операцій, вплив на структурно-фізичні властивості ґрунту, забезпечення оптимальних умов для росту та розвитку кореневої системи дерев, а також досягнення заданих показників врожайності та якості плодів.

Предмет дослідження: техніко-технологічні характеристики та конструктивні особливості модернізованої фрези для міжрядного обробітку, зокрема її робочі органи (ротор, ножі, регулювальні механізми кута атаки), способи кріплення і захисту кореневої системи, а також вплив запропонованих змін на енерговитрати, ефективність руйнування ґрунтової кірки та якість обробітку.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., Бабіч В.О., Кіпчук В.Б, Самчук В.І., Сорока Б.А. Шляхи зменшення тягового опору сільськогосподарських машин. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025

року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 89-91.

2. Кіпчук В.Б., Кравченко М.В., **Самчук В.І.** Перспективні напрямки розвитку машин для обробітку ґрунту. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 96-99.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що впровадження модернізованої фрези для міжрядного обробітку ґрунту в яблуневих садах забезпечує суттєве підвищення якості та оперативності виконання технологічних операцій. У практичному застосуванні це дозволяє знизити витрату пального на одиницю площі в середньому на 10–12 % та зменшити знос робочих органів на 15–18 % у порівнянні з типовими моделями фрез. Виробникам садової техніки буде корисно врахувати ці показники при налагодженні серійного випуску обладнання, оскільки зменшення енергоємності безпосередньо впливає на конкурентоспроможність продукції на ринку.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 38 сторінок комп'ютерного тексту, містить 3 рисунки.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЯБЛУК

Технологія виробництва яблук відображає складний комплекс агротехнічних, біологічних та економічних процесів, спрямованих на досягнення високих врожаїв та якості плодів. Першим етапом є оцінка ринку та вибір цільового споживача, який визначає напрями селекції, сортооновлення та маркетингові стратегії. Сучасні дослідження підтверджують, що успіх виробництва яблук залежить від узгодженого поєднання селекційних досягнень, ґрунтово-кліматичних умов та рівня індустріалізації агровиробництва. У світовій практиці розрізняють три основні підходи: традиційні промислові плантації, садівництво малого та середнього бізнесу і органічне виробництво з мінімальним хімічним навантаженням. Для кожного з цих підходів розробляються специфічні технологічні карти, що враховують локальні особливості клімату, ґрунтів та соціально-економічних умов. На території помірної смуги, зокрема в Україні, яблуня успішно вирощується в широкому діапазоні кліматичних зон, від північних до південних регіонів. Однак для досягнення стабільно високих урожаїв необхідна раціональна адаптація сортоортименту до місцевих агрокліматичних особливостей. Крім того, сучасні технології передбачають використання Інтернету речей (IoT) для моніторингу погоди, стану ґрунту та вегетаційного стану дерев, що сприяє ефективному прийняттю рішень. Загалом успішне виробництво яблук базується на взаємодії науково обґрунтованих агротехнічних практик, інноваційних технологій і гнучкої маркетингової політики [1-4].

Один із ключових елементів технології – вибір та закладання нових садів. Першочергово проводиться аналіз ґрунтів (хімічний, фізичний, агрохімічний) та топографії ділянки. Результати ґрунтових досліджень визначають потребу в внесенні вапна, фосфорних і калійних добрив у довгостроковій перспективі. Після підготовки ґрунту формується оптимальний план розміщення дерев з урахуванням рельєфу, сонячної експозиції та захисних смуг від вітру. Схема

посадки часто передбачає використання систем шпалер чи високопродуктивних інтенсивних садів із щільністю 2000–4000 дерев/га для карликових і напівкарликових підщеп. Для напівінтенсивних і інтенсивних насаджень застосовують живоплотні огорожі або окремі ряди з міжряддям у 3–4 метри, що дозволяє ефективно використовувати простір і техніку. При закладці враховують напрямок рядів на південь або південний схід, щоб забезпечити оптимальне освітлення крон. Важливим є також дотримання стандартів глибини посадки: коренева шийка повинна бути на рівні поверхні ґрунту для запобігання підтопленню чи пересиханню кореневої системи. Висаджування сіянців чи однорічок проводять у ранній весняний період або восени, залежно від регіону і кліматичних умов, коли дерева перебувають у стані спокою. При цьому бажано використовувати садивний матеріал із сертифікованих питомників, щоб уникнути поширення хвороб і шкідників збудників [1–4].

Селекція та підщепи відіграють вирішальну роль у формуванні високопродуктивного саду. Сучасні сорти яблуні розрізняються за хімічним складом плодів, врожайністю, стійкістю до хвороб і посухи. Для інтенсивних насаджень переважно використовують карликові (М.9, П.22) та напівкарликові (М.26, ММ.106) підщепи. Карликові підщепи забезпечують утворення компактних крон і скорочують термін вступу в плодоношення до 2–3 років, але потребують інтенсивного поливу і підвищеної уваги до морозостійкості. Напівкарликові підщепи краще адаптовані до умов Центральної та Східної Європи, вони поєднують достатню морозостійкість із помірною силою росту. Селекціонери також розробляють сорти з підвищеним вмістом антиоксидантів, поліпшеною лежкістю та стійкістю до парші та борошнистої роси. Крім традиційної селекції, застосовуються методи молекулярно-генетичного маркерного відбору, що значно прискорює процес виведення нових адаптованих сортоформ. Сучасні дослідження в Україні приділяють увагу українським сортовим ресурсам, адаптованим до місцевих умов, зокрема сортам із підвищеною посухо- та морозостійкістю. Використання якісного маточного матеріалу, індексованого на вірусні захворювання, мінімізує ризик

зараження молодих саджанців. Такий підхід значно скорочує витрати на фунгіцидний захист у перші роки життя саду і підвищує загальну життєздатність насаджень [1-4].

Ґрунтово-кліматичні умови та підготовка ґрунту є базовими для формування продуктивного саду. Для яблуні характерні ґрунти із нейтральною або слабокислою реакцією (рН 6,0–6,8), середньою або високою забезпеченістю елементами живлення. Перед закладкою саду здійснюють глибоку оранку (25–28 см) та внесення органічних добрив (компост, перегній) з розрахунку 30–40 т/га. При необхідності проводять вапнування з урахуванням рівня кислотності ґрунту. Систематичні агрохімічні обстеження дозволяють контролювати запаси фосфору, калію та азоту, а також мікроелементів (бор, цинк, мідь). У низинах ділянки облаштовують дренажні системи для запобігання заболоченню кореневої зони, що особливо важливо в регіонах із високим рівнем ґрунтових вод. Після основної обробки ґрунту виконують граблювання та вирівнювання поверхні для забезпечення однорідної глибини загортання саджанців. Наприкінці підготовчого етапу проводять внесення передпосадкових добрив: комплексні мінеральні або гранульовані формуляції із живильними речовинами, які сприяють швидкій перезарубці кореневої системи та росту вегетативної маси. Якісна підготовка ґрунту створює фундамент для майбутніх врожаїв, сприяючи розвитку оптимальної кореневої системи та збереженню балансу поживних речовин [6-9].

Оптимальна схема посадки в інтенсивних садах передбачає рядове розміщення дерев з міжряддям 3–3,5 м та відстанню у ряду 0,8–1,2 м, що забезпечує щільність 3000–4000 шт./га. Така схема дозволяє максимально використовувати світло, вітровий рух та технічні можливості для догляду. Для підвищення освітленості у двохрядкових системах застосовують криву посадки з утворенням V-подібних шпалер, що підвищує провітрюваність і зменшує розвиток грибних захворювань. У менш інтенсивних садах відстань між деревами в межах ряду збільшують до 1,5–2 м, а міжряддя до 4–5 м, що полегшує доступ техніки, але знижує потенційну врожайність. Важливим є

також врахування рельєфу: на південних схилах відстань між рядами зменшують для збільшення затримання ґрунтового вологи, а на північних – збільшують для кращого прогрівання у весняний період. У кожній нормативній карті розробляють положення деревних міток та орієнтування рядів, що враховують основні фактори мікроклімату. Для механізованого догляду та збору плодів використовують навісне та причіпне обладнання: розпушувачі, мульчувальні машини, садильні ямки, оприскувачі, збиральні платформи. При дотриманні рекомендованих схем посадки вдається досягати стабільних врожаїв високої якості при ефективному використанні ресурсів [7-9].

Правильне формування крони є одним із ключових агротехнічних заходів, що визначає продуктивність саду на тривалу перспективу. Перший рік життя саджанця присвячений закладенню центрального провідника та декількох скелетних гілок. Стандартні системи включають веретеноподібне, чашоподібне або шпалерне формування, залежно від сорту та типу підщепи. Формування веретена передбачає створення конусоподібної крони, що сприяє рівномірному освітленню внутрішніх гілок і полегшує догляд. Чашоподібна крона сприяє гарній вентиляції та зниженню ризику розвитку патогенів, але потребує більшої площі під колону. При шпалерній системі гілки розташовують вздовж натягнутих дротів, що дозволяє концентрувати врожай у вузькій зоні та автоматизувати багато технологічних операцій. Важливим етапом є відщипування зайвих бічних пагонів у літній період, щоб спрямувати ріст дерев у бажаному напрямі та уникнути затінення. Щорічно у зимовий або ранній весняний період проводять обрізку для видалення сухостійних, пошкоджених та зайвих пагонами, що забезпечує баланс між вегетативним і генеративним ростом. Дотримання агротехніки обрізки сприяє підвищенню стійкості до морозів, ударів вітру, а також оптимізує якість та розмір плодів [8].

Внесення добрив у садах яблуні ґрунтується на результатах агрохімічних аналізів та фазах вегетації рослин. Азотні підживлення проводять у два—три прийоми: ранньою весною (до розпускання бруньок), під час цвітіння та у фазі наливу плодів. Перевищення дози азоту влітку може призвести до зайвого

росту пагонів і зниження цукристості плодів. Фосфорні та калійні добрива вносять восени під основну обробку ґрунту або ранньою весною, залежно від розрахунків запасів цих елементів. Мікронутрієнти (бор, цинк, магній, залізо) вносять у листових підживленнях у період бутонізації та зав'язування плодів для підвищення стійкості до захворювань і формування більшої кількості генеративних бруньок. На кам'янистих та піщаних ґрунтах рекомендують уносити більші дози органічних добрив (компост, перегній) для покращення водоутримувальної здатності. Для економії ресурсів застосовують краплинне зрошення з одночасним підживленням “fertigation”, що забезпечує рівномірне розподілення розчинених поживних елементів. Важливо відзначити, що план внесення добрив має коригуватися щорічно з урахуванням минулорічних врожаїв, стану дерев та результатів агрохімічного моніторингу [1-4].

Система зрошення є невід'ємною складовою інтенсивного садівництва, особливо у регіонах із нерівномірним розподілом опадів. Краплинна система зрошення забезпечує економне використання води та цілеспрямовану подачу її безпосередньо до кореневої зони. Норми поливу залежать від віку дерев, типу ґрунту і фаз вегетації: у фазі бурхливого росту (квітень–травень) та наливу плодів (червень–серпень) використовують максимальні норми води. Для оцінки потреб у зрошенні застосовують датчики вологості ґрунту, що автоматизують процес прийняття рішення про поливи. На піщаних ґрунтах полив проводять частіше, але з меншими нормами, щоб уникнути вимивання корисних речовин. Крім того, у посушливі роки доцільно використовувати мульчування міжрядь органічними матеріалами (солома, подрібнені відходи деревини), що знижує випаровування вологи. У районах із ризиком літньої посухи застосовують комбіновані системи: краплинне зрошення плюс дощувальні установки для рівномірного зволоження. Правильне регулювання водного режиму сприяє формуванню великих та соковитих плодів, підвищує стійкість дерев до стресових явищ та продовжує термін їх продуктивного використання [1-4].

Один із фундаментальних моментів у технології – інтегрована система захисту рослин (ІЗЗР), яка передбачає поєднання агротехнічних, біологічних та

хімічних методів. Превентивні заходи починаються з використання здорового сертифікованого матеріалу, стійких до парші сортів, а також із санітарної обрізки та своєчасного утилення рослинних решток. Моніторинг стану саду включає регулярний облік захворювань (парша, борошниста роса, бактеріальний опік, рак), шкідників (яблунева плодожерка, листовійка, попелиця) та бур'янів. Для прогнозування їх розвитку застосовують фенологічні моделі і пастки-феромони, що дозволяє своєчасно проводити обприскування. Хімічні препарати підбирають з урахуванням локальної типової чутливості патогенів, чергуючи діючі речовини, щоб уникнути резистентності. Багато господарств впроваджують біопрепарати (бактеріальні й грибкові антагоністи) та біологічні інсектициди, що зменшують навантаження на навколишнє середовище. Ефективним методом є використання агротехнічних прийомів: проріджування зав'язей, своєчасна обрізка, поліпшення вентиляції крони, мульчування ґрунту. Варто зазначити, що комплексний підхід до захисту підвищує стійкість насаджень та знижує витрати на фунгіциди й інсектициди з часом [7-9].

Підщепи, сорти та клоновий відбір створюють основу для оптимального запилення, яке є ключовим фактором формування врожаю. Використання запильників у вигляді сумісних сортів, що квітнуть одночасно, забезпечує хороший відсоток зав'язування плодів. Бджільництво у саду є ефективним методом комерційного запилення: у період цвітіння розміщують 4–6 бджолосімей на гектар. Однак при кліматичних умовах із частими дощами в період цвітіння слід враховувати можливий зниження активності бджіл та за необхідності організовувати підміну ульїв. Для посилення запилювального ефекту застосовують агенти типу цукрових розчинів чи інокулянтів, що приваблюють комах-запильників. У випадку відсутності бджіл чи низької температури ефективними можуть бути ручні чи механізовані методи запилення. Правильне встановлення шпалер і парканів зменшує вплив вітру і знижує ризик здування квіток, що також покращує запилення. Важливим є також врахування відстані між сортами-запильниками — оптимально не більше

30–50 метрів, щоб забезпечити перехресне запилення. У відповідних технологічних картах закладають точні графіки підготовки бджоло- та механізованих заходів для забезпечення максимального відсотка зав'язування [9].

Технологія проріджування зав'язей (хімічне, ручне, механічне) впливає на рівномірність наливу плодів, їх розмір та якість. Хімічні регулятори росту використовують у фазі “рожевого бутону” або “повного цвітіння”, коли зав'язей утворюється значно більше, ніж дозволить дерево забезпечити поживними речовинами. Найпоширенішим є застосування аміноакрилідуючих препаратів, що знижують конкуренцію між зав'язями. Ручне проріджування проводять на пізніших фазах, коли зав'язі мають розмір 10–12 мм, видаляючи дрібні, пошкоджені та надлишкові плоди. Механічне проріджування здійснюється спеціалізованими машинами з обертальними чи струмоподібними елементами, які знімають частину зав'язей, але цей метод менш вибірковий та може призвести до ушкодження кори. Оптимальна інтенсивність проріджування становить 60–70% від початкової кількості зав'язей, що дозволяє отримувати плоди середнього розміру від 60 до 90 мм у діаметрі, залежно від сорту. Надмірна густота плодів призводить до їх зменшення, підвищення ймовірності опадання та зниження якості. Ретельне планування та дотримання технологічних строків проріджування є запорукою отримання високоякісного врожаю з мінімальними витратами ручної праці [7].

Важливим етапом догляду є щорічне мульчування ґрунту під кронами. Органічний мульчуючий шар (подрібнені відходи деревини, солома, листовий опад) захищає ґрунт від пересихання, знижує інтенсивність росту бур'янів і сприяє підтримці оптимальної температури кореневої зони. Установка нетканого агротекстилю або чорної плівки поряд із біологічним мульчуванням також практикується для пригнічення бур'янів і збереження вологи. Важливо, щоб товщина мульчуючого шару становила не менше 5–7 см, але не перевищувала 10–12 см для уникнення закислення та перезволоження поверхневого шару. Органічні мульчі поступово розкладаються, поповнюючи

грунт гумусом та покращуючи його структуру. У період активного росту дерев (травень–липень) мульча є бар'єром для розтріскування ґрунту та полегшує доступ техніки до дерев. На важких глинистих ґрунтах мульчування особливо ефективне у зниженні ерозії та створенні пухкого орного шару. Прибирання мульчі навесні не рекомендується, оскільки вона підтримує активність ґрунтової мікрофлори і корисних дощових черв'яків. Збалансований підхід до мульчування сприяє підвищенню біологічної активності ґрунту та покращує загальний стан саду [12].

Регулярна обрізка кореневої порослі та повторна посадка заміненних саджанців дозволяють підтримувати оптимальну густоту насаджень. В саду яблуні коренева поросль може з'являтися біля штамба через механічні пошкодження підщепи або неблагополуччя кореневої системи. Видалену поросль утилізують або компостують у спеціально відведених місцях, щоб уникнути інфекцій та загущення саду. При виявленні виражених ознак загнивання коренів або ураження грибковими кореновими захворюваннями проводять пересадку або заміну дерев в ряду. Нові саджанці перед посадкою додатково обробляють фунгіцидами проти фузаріозу та коренових гнилей. Надзвичайно важливо забезпечити достатній простір для розвитку кореневої системи молодих рослин, тому при заміні дерев дотримуються схеми мінімального зміщення у ряду на 25–30 см. При одночасному виконанні обрізки крон та роботи з корінням знижуються стресові реакції рослин та покращується їх приживлюваність. Такий підхід дозволяє підтримувати високу густоту продуктивних дерев та знижує ризик виникнення пустоцвітів [9].

Систематичне обприскування фунгіцидними, інсектицидними та мікроелементними препаратами є невід'ємною частиною догляду за садом. Графік обробок складають на основі фітосанітарного моніторингу та погодних умов. Перший цикл фунгіцидних обробок починають у фазі “зеленого конуса” для запобігання розвитку парші, далі — перед цвітінням та після цвітіння для контролю борошнистої роси та інших хвороб. Інсектицидні заходи спрямовані на боротьбу з яблуневою плодожеркою, мідяницею, попелицями та іншими

шкідниками. Використання системних і контактних препаратів у поєднанні з біопрепаратами дозволяє знизити загальний пестицидний навантаження та покращити екологічну безпеку продукції. Під час вегетації проводять не менше 6–8 обприскувань, з урахуванням періоду охолодження та доз обробки. Варто зазначити, що для підвищення ефективності застосовують методи змішаних бакових сумішей, за умови сумісності діючих речовин. У період збирання врожаю остання обробка фунгіцидами та інсектицидами проводиться не пізніше ніж за 20–25 днів до збору яблук, щоб уникнути залишків у плодах [6].

Під час досягання яблук здійснюють кілька етапів оцінювання зрілості: фізіологічну, естетичну та технологічну. Фізіологічна зрілість визначається зниженням вмісту кислоти у плодах, зростанням цукру та змінами у тканинах, що забезпечують накопичення ароматичних речовин. Естетична зрілість оцінюється за кольором шкірки, формою та відсутністю видимих дефектів. Технологічна зрілість важлива для транспортування — плоди в цьому стані мають достатню твердість, щоб витримати механізоване збирання та сортування. Контроль хімічних показників проводять за допомогою рефрактометрів (зміст цукрів) та титрування (зміст кислот). Перевищення оптимальних строків збирання призводить до зниження лежкості та появи внутрішніх дефектів. Технологічні карти різних сортів визначають конкретні терміни збору, що можуть відрізнятися на 5–7 днів залежно від регіону та погодних умов. Збирають яблука вручну або механізовано за допомогою платформи-маніпулятора, що значно прискорює процес і знижує собівартість робіт. Важливо перекладати яблука в корзини чи ящики мінімальним переміщенням, щоб уникнути побиття та пошкоджень шкірки [5].

Після збору здійснюється калібрування, сортування та передзберігання яблук. На калібрувальних лініях яблука проходять через систему роликів та сіток, що сортують їх за діаметром, вагою та ступенем зрілості. Сортування за кольором відбувається за допомогою оптичних сенсорів, які відсіюють нестандартні зразки та плоди з дефектами. Поділ яблук за класами (екстра, А, В) визначає їх кінцеву реалізацію: екстра-клас призначений для свіжого ринку,

клас А — для промислової переробки, клас В — для виробництва соків та концентратів. Після сортування фрукти направляють до камер попереднього охолодження (0–1 °C) для поступового зниження температури, що запобігає утворенню конденсату на поверхні та мінімізує розвиток патогенів. У разі необхідності проводять воскування плодів для створення бар'єру проти випаровування вологи та покращення зовнішнього вигляду. Професійне пакування в ящики з перфорованого пластику чи картону зберігає оптимальний газовий режим та сприяє зменшенню зіллаття вологи [9].

Голландська система холодового зберігання з контролем атмосфери (УКСА) є сучасним стандартом для тривалого зберігання яблук. Використання зниженого вмісту кисню (1–2%) та підвищеного вмісту вуглекислого газу (1–3%) уповільнює метаболізм плодів, зменшує дихання та сповільнює старіння. Температура в камерах підтримується на рівні 0–1 °C, відносна вологість — 90–95% для уникнення висихання плодів. Перед закладанням на зберігання важливо, щоб яблука були здоровими, без ознак механічних ушкоджень та інфекцій. Тривалість зберігання у таких умовах може досягати 6–8 місяців, залежно від сорту та умов зберігання. При порушенні газового режиму (понад 3% CO₂) можливий розвиток анаеробного метаболізму, що призводить до появи неприємних запахів. Використання препаратів для поглинання етилену (силькагель, активоване вугілля) дозволяє запобігти передчасному дозріванню. Контроль якості продукції здійснюють періодично, вимірюючи твердість, вміст цукрів, кислотність та наявність дефектів [4].

Інноваційні технології в яблуневому садівництві включають застосування дронів та ІІ для моніторингу стану саду. Дрони, оснащені мультиспектральними камерами, дозволяють з висоти виявити ділянки зі стресом, хлорозом або ураженням шкідниками ще до появи видимих симптомів. Алгоритми штучного інтелекту аналізують отримані зображення, визначаючи точні координати проблемних місць та рекомендуючи обробки. Крім того, роботизовані обприскувачі на базі автономних машин можуть працювати при малих швидкостях, забезпечуючи точкову обробку уражених

дерев і знижуючи витрати пестицидів. IoT-сенсори в ґрунті та в кроні дерев передають інформацію про вологість, температуру та активність рослин у реальному часі. Використання мобільних додатків для управління господарством дозволяє операторам оперативно коригувати графіки робіт, обслуговувати обладнання та контролювати запаси ресурсів. В майбутньому очікується інтеграція робототехніки для збирання плодів, що зменшить залежність від ручної праці та знизить собівартість виробництва [13].

Економічний аспект виробництва яблук включає аналіз витрат на закладку саду, культивуацію, захист, збирання та зберігання. Перші інвестиції в інтенсивний сад можуть становити 15–20 тис. євро/га, включаючи підготовку ґрунту, посадковий матеріал, систему зрошення та шпалери. Окупність інтенсивних насаджень зазвичай досягається на 5–6-й рік, коли врожайність становить 40–50 т/га. У період плодоношення витрати на захист складають до 20% загальної собівартості, тоді як у звичайних садах із питомою вагою ручної праці вони можуть сягати 30–40%. Використання краплинного зрошення та системи точкового підживлення знижує витрати на воду та добрива до 25%. Важливим є також маркетинговий аналіз: знайдення каналів збуту (супермаркети, переробні підприємства, експортні ринки) дозволяє оптимізувати цінову політику. Середні ціни на яблука екстра-класу в Україні коливаються від 0,3 до 0,5 євро/кг залежно від сорту та сезону. Рентабельність виробництва за умови дотримання технологічних норм може сягати 25–35% після закриття кількох сезонів [12].

Контроль якості продукції починається ще на етапі селекції та закінчується на етапі реалізації кінцевому споживачу. Під час багатократного сортування і калібрування визначаються наступні показники: розмір, маса, колір шкірки, відсутність механічних ушкоджень та хвороб. Плоди, призначені для експорту, повинні відповідати міжнародним стандартам (UNECE, GlobalG.A.P., BRC), що передбачають відсутність поверхневих дефектів, пошкоджень, уражень хворобами, а також оптимальний рівень цукристості. Для внутрішнього ринку допускаються дещо нижчі вимоги, однак якість плодів

експертно оцінюють за органолептичними та фізико-хімічними показниками. Усі партії яблук повинні супроводжуватися фітосанітарними сертифікатами, що підтверджують відсутність карантинних організмів. У процесі логістики контролюють температурний режим при транспортуванні: 0–4 °C для свіжого ринку та 0–1 °C з регульованою атмосферою для тривалого зберігання. Сучасні системи RFID-міток дозволяють відстежувати партії яблук на всіх етапах руху від саду до кінцевого покупця, забезпечуючи придатність продукції та її безпеку. Завдяки цим технологіям споживач отримує гарантовано якісний та безпечний продукт [1-4].

Екологічна складова при виробництві яблук набуває дедалі більшої ваги. Поширення органічних методів садівництва передбачає відмову від синтетичних пестицидів та мінеральних добрив, замінивши їх на біопрепарати, сидерати, органічні підживлення. Роторні косарки та мульчувальні машини з низьким рівнем ущільнення ґрунту зменшують негативний вплив на ґрунтову структуру та біоруїни. Важливо підтримувати біорізноманіття на території саду, висаджуючи медоносні рослини, щоб забезпечити забезпечення бджіл цвітом у міжсезоння. Встановлення буферних смуг з підсіванням трав та квітів сприяє залученню корисної ентомофауни для біологічного контролю шкідників. Використання сонячних батарей для живлення датчиків і насосів систем зрошення знижує викиди парникових газів. Більшість органічних сертифікаційних систем вимагають відсаджування 3-річного періоду переходу, протягом якого не використовують синтетичні засоби. Екоорієнтовані технології сприяють збереженню довготривалого здоров'я ґрунтів та забезпечують рентабельність господарства завдяки преміальним цінам на органічну продукцію [5].

Розвиток смарт-садів вимагає інтеграції різних технологічних рішень: автоматизованих систем обприскування, дронів, датчиків вологості та температури, систем точного землеробства. Використання штучного інтелекту для прогнозування епідеміологічної ситуації дозволяє заощадити до 30% затрат на захист рослин. Аналітика великих даних (Big Data) дає змогу на основі

технічних показників компенсувати природні коливання клімату, вибираючи оптимальний час для поливу та обробок. Роботизовані збиральні платформи вже тестуються для сортування та пакування яблук без втручання людини. Команди IoT-сенсорів надсилають дані у хмарні сервіси, де агрономи можуть віддалено керувати процесами, аналізувати їх та коригувати стратегії. Геопросторовий аналіз дозволяє формувати різні зони охоплення ґрунту для регульованого внесення добрив та корекції рельєфу. Сучасні моделі розвитку садівництва передбачають використання гібридних технологій, які поєднують класичні методи з цифровими рішеннями для максимізації ефекту [3].

Освітня підтримка садівників є важливою складовою ефективного впровадження сучасних технологій. Фахівці проводять регулярні семінари та тренінги з тем: новітні методи обрізки, управління водними ресурсами, інтегрована система захисту рослин, використання дронів. В університетах та дослідницьких інститутах створюють програми підготовки агрономів, що включають практику на сучасних господарствах із високим рівнем цифровізації. Онлайн-платформи та мобільні додатки дозволяють обмінюватися досвідом, завантажувати агротехнічні карти, оперативно отримувати поради від експертів. Співпраця з міжнародними проектами (FAO, USAID, ЄБРР) сприяє залученню іноземного досвіду та грантових коштів на модернізацію садівництва. Поширення інформації про органічне сертифікування та експортні можливості розширює межі ринку для селянських господарств. Освітній компонент забезпечує підвищення професійного рівня кадрового потенціалу та підтримку інновацій на місцевому рівні [1-4].

Соціальні аспекти виробництва яблук пов'язані з організацією праці, залученням сезонних працівників та підтримкою місцевих громад. У період збору врожаю попит на робочу силу зростає, тому важливим є створення гідних умов праці: безпечні засоби захисту, соціальні гарантії, можливість професійного зростання. За останні роки відбувається автоматизація частини процесів, що зменшує потребу в ручній праці, проте залишається потреба у кваліфікованих працівниках для налаштування та обслуговування техніки.

Державні програми підтримки сільського розвитку спрямовані на кредитування молодих фермерів, впровадження кооперативних форм господарювання та модернізацію переробних потужностей. Завдяки цим ініціативам зростає рівень зайнятості та покращується якість життя у сільській місцевості. У селах створюються агрокластери, де фермери об'єднують ресурси для закупівлі техніки, спільної переробки та маркетингу продукції. Соціально-економічні ефекти від розвитку садівництва поширюються на суміжні галузі: пакувальну, переробну, логістичну та туристичну сферу [7].

У сучасних умовах змін клімату агрономи приділяють увагу адаптивним технологіям, які дозволяють мінімізувати ризики засух, злив. Використання покривних плівок у фазі цвітіння запобігає переохолодженню і втратам зав'язей. Зональне інструментальне моніторування температури ґрунту допомагає своєчасно застосувати ґрунтові обігрівачі або снігозатримуючі системи в холодні весняні періоди. Для захисту від градобою використовують сітчасті укриття, що полегшують збирання плодів і мінімізують пошкодження шкірки. На рівнинних територіях створюють вітрозахисні смуги із листяних та хвойних дерев, які знижують швидкість вітру та інтенсивність випаровування вологи. Стабільний доступ до води забезпечують невеликі ставки для акумулювання дощової води, що використовують у посушливі сезони. Адаптивні технології сприяють збереженню врожаю навіть у роки з аномальними кліматичними явищами, що підвищує загальну стабільність виробництва [7].

У перспективі зростатиме роль кластерних об'єднань у розвитку яблуневого садівництва. Кластери дозволяють агрегувати ресурси на рівні регіону: спільні лінії сортування, пакування, переробки та маркетингу. Така кооперація сприяє зниженню операційних витрат, збільшенню обсягів реалізації та виходу на зовнішні ринки. Створення партнерств із науковими установами дає змогу впроваджувати інноваційні рішення швидше, ніж це може зробити окреме господарство. Кластерний підхід також передбачає спільне використання логістичних майданчиків і холодильних камер, що

суттєво знижує витрати на зберігання та транспортування. Регулярний аналіз ринкових трендів та спільна участь у виставках і ярмарках сприяє розширенню збуту та підвищенню впізнаваності брендів регіональних виробників. У майбутньому очікується підвищення ролі електронної комерції для реалізації яблук, що дозволить оптимізувати торгівлю напрямку від виробника до споживача [12].

Підсумовуючи, технологія виробництва яблук — це комплексна система, що вимагає узгодженості всіх етапів: від селекції та закладки саду до збуту продукції. Лише комплексний підхід, що враховує ґрунтово-кліматичні умови, сучасні агротехнічні рішення, інноваційні технології моніторингу та захисту, дозволяє досягати високих врожаїв і якості плодів. Важливою складовою є адаптація технологій до змін клімату, що забезпечує стабільність виробництва навіть за екстремальних погодних умов. Забезпечення екологічної чистоти продукції, впровадження органічних методів та раціональне використання ресурсів сприяють тривалому функціонуванню садівничих господарств. У перспективі важливою стане цифровізація процесів, що здешевлює управління і зменшує ризики господарської діяльності. Також значну роль відіграє розвиток кооперації та кластерних інтеграцій, які дозволяють підвищувати конкурентоспроможність на внутрішньому й зовнішньому ринках. З урахуванням цих аспектів яблуневі сади зможуть забезпечити сталий розвиток галузі, сприяти зайнятості та підвищенню добробуту сільських територій [1].

Розрахунок плану механізованих робіт, методика побудови графіків завантаження тракторів та визначення складу сільськогосподарських машин представлено в додатку А.

РОЗДІЛ 2

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ

2.1 Умови виконання операцій

- тип ґрунту – суглинок
- довжина і ширина поля – 1885...840 м.
- середній схил поверхні поля – для закладки промислових насаджень обирають рівні ділянки та схили з нахилом 1,5–3°.
- агрофон 9-річні насадження.

2.2 Агротехнічні вимоги

Призначений для роботи на важких ґрунтах після збирання різних просапних культур на рівних ділянках і схилах із нахилом до 8° за вологості ґрунту до 23 % та міцності до 6 МПа. На поверхні поля можуть бути пожнивні залишки просапних культур висотою понад 20 см, але камені та купини не допускаються.

2.3. Технологічна підготовка агрегату до роботи

Після попереднього складання агрегату здійснюють його технологічне налагодження з дотриманням агротехнічних норм та умов експлуатації. Контролюють повноту набору ножів і регулюють глибину заглиблення фрези, встановлюючи її за допомогою підтримувальних коліс.

2.4. Склад агрегату і його техніко-економічні показники

Підготовка агрегату до роботи.

Застосовуємо трактор ЮМЗ-6Л у поєднанні з фрезой ФПШ-200. Обробіток ґрунту здійснюють із використанням робочих передач трактора:

$$V_{p1} = 4,24 \text{ км за год.}$$

$$V_{p2} = 4,74 \text{ км за год.}$$

$$V_{p3} = 5,27 \text{ км за год.}$$

Беручи до уваги обрані передавальні ступені, обчислюємо тягову силу трактора за допомогою такої формули:

$$P_{зак1} = \frac{10 \cdot (58,9 - \frac{20}{0,95})}{1750 \cdot 0,356} \cdot 44,5 - 63,1 \cdot (0,07 + 0,03) = 4,59 \text{ кН}$$

$$P_{зак1} = \frac{10 \cdot (58,9 - \frac{20}{0,95})}{1750 \cdot 0,356} \cdot 39,8 - 63,1 \cdot (0,07 + 0,03) = 4,77 \text{ кН}$$

$$P_{зак1} = \frac{10 \cdot (58,9 - \frac{20}{0,95})}{1750 \cdot 0,356} \cdot 35,7 - 63,1 \cdot (0,07 + 0,03) = 5,24 \text{ кН}$$

Визначення опору агрегату:

$$R_a = G_M \cdot (f_M + i) + \frac{3,6 \cdot N_{np} \cdot n_{np}}{V_p \cdot n_6}, \text{кН}$$

де G_M – експлуатаційна вага фрези, кН

f_M – коефіцієнт опору кочення фрези;

N_{np} – рівень енергії, потрібний для приведення в дію виконавчих механізмів машини, кВт;

n_{np} – ККД трансмісії = 0,09;

i – нахил ділянки = 0,03;

V_p – робоча швидкість агрегату, км/год.;

n_6 – ККД ходової частини = 0,95.

$$R_{a1} = 63,1 \cdot 0,03 + \frac{3,6 \cdot 20 \cdot 0,09}{4,24 \cdot 0,95} = 3,49 \text{ кН}$$

$$R_{a1} = 63,1 \cdot 0,03 + \frac{3,6 \cdot 20 \cdot 0,09}{4,73 \cdot 0,95} = 3,33 \text{ кН}$$

$$R_{a1} = 63,1 \cdot 0,03 + \frac{3,6 \cdot 20 \cdot 0,09}{5,26 \cdot 0,95} = 3,16 \text{ кН}$$

Щоб оцінити ефективність використання тягового зусилля трактора в різних швидкісних та навантажувальних режимах агрегатів, застосовуємо таку формулу для розрахунку відповідного коефіцієнта:

$$n_{втз1} = \frac{3,49}{4,59} = 0,76$$

$$n_{втз2} = \frac{3,33}{4,77} = 0,69$$

$$n_{втз3} = \frac{3,16}{5,24} = 0,60$$

Виходячи з проведеного аналізу, для обраного режиму роботи приймаємо коефіцієнт використання тягового зусилля трактора $V_{p1} = 4,24$ км/год., $n_{втз1} = 0,76$

2.5. Підготовка поля

Перед початком робіт поле обстежують і усувають усі перешкоди, які можуть погіршити якість виконання операції, знизити продуктивність техніки чи ускладнити рух агрегатів, враховуючи результати попередніх операцій і вплив природних умов.

2.6. Вибір способу руху та розрахунок його елементів

Для переміщення фрезерних агрегатів застосовують гоновий (інколи називають “човниковим”) спосіб з поворотами по петлі або без неї. Під час виконання механізованих операцій машинно-тракторний агрегат долає значні відстані, що складаються як із робочих, так і із холостих ходів. Наприклад, при оранці поля площею 10 га комбінація ДТ-75+ФБН-1,5 долає за день близько 150–180 км, з яких приблизно 8–12 % — це холості переходи (на невеликих ділянках цей показник може сягати 40 %). Інтенсивність холостих ходів залежить від обраного способу руху, забезпечення відповідних розмірів загінок, а також від конфігураційної схеми загінки, стану ґрунту й культури. Якщо використовувати оптимальні габарити загінок і раціональні схеми переміщення агрегатів, можна суттєво зменшити холості пробіги й підвищити загальну продуктивність машино-тракторного комплексу.

2.7. Контроль якості виконання операції

Перевірка якості роботи агрегату здійснюється на старті роботи і під час зміни відповідно до агротехнічних норм. Періодичний огляд виконується механізатором, агрономом або іншим відповідальним фахівцем (замовником) наприкінці робочої зміни. Показники якості визначаються за встановленими методиками та відображаються на операційній технологічній карті зі схемними ілюстраціями.

До основних критеріїв належать:

- рівномірне кришіння верхнього шару ґрунту на глибину 6–8 см та суцільне розпушення нижнього шару до 16 см;
- у шарі 0–8 см переважна частка грудок має бути розміром до 25 мм, водночас грудки більше 100 мм у цьому шарі не допускаються;
- у розпушеному нижньому шарі (до 16 см) не менше 50 % грудок повинні мати розмір до 5 см, а грудки 10–15 см можуть складати не більше 10 %; одночасно забезпечується повне підрізання бур'янів у межах 0–16 см;
- щільність верхнього шару має становити 0,8–0,95 г/см³, нижнього – 1,0–1,2 г/см³;
- у шарі 0–5 см не допускається збільшення вмісту ерозійно небезпечних частинок менше ніж 1 мм;
- фракційний склад подрібнених рослинних решток повинен забезпечувати належні умови сівби: частки понад 12 см мають становити не більш ніж 30 % із рівномірним розподілом по поверхні;
- після роботи агрегату гребені не повинні перевищувати висоту 2 см.

2.8 Охорона праці

Працівників допускають до роботи лише за наявності у них дійсного посвідчення на керування трактором або аналогічною машиною, а також після того, як вони опанували будову агрегату та порядок його налаштування,

ознайомилися з правилами технічного обслуговування й послідовністю технологічного процесу та пройшли інструктаж із охорони праці при роботі на агрегатах.

Агрегати причіплюють або навішують на трактор таким чином: тракторист має плавно, без ривків, заднім ходом підвести машину до причепа чи навісного обладнання на низьких обертах двигуна, одночасно уважно стежачи за діями працівника, який виконує під'єднання, й не відпускати педаль головної зчіпної муфти.

Перед початком роботи ґрунтообробного агрегату слід ретельно перевірити наявність та справність захисних огорожень і негайно усунути будь-які виявлені пошкодження.

Особливо пильно необхідно ставитися до встановлення і налаштування дискових ножів фрези, аби через гострі кромки не отримати травму.

Захисний кожух має повністю відповідати вимогам техніки безпеки.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вихідні дані

Фрезу використовують для обробки міжрядь у саду, при цьому ширина захоплення становить 2,5 м, робоча швидкість агрегату—4,2 км/год, глибина культивування—12 см, а питомий опір деформації ґрунту—35 МПа.

3.2 Розрахунок ключових характеристик фрези з горизонтальною віссю обертання

На рисунку 3.1 зображено конструкцію ґрунтообробної фрези (для польових робіт або ягідних плантацій).

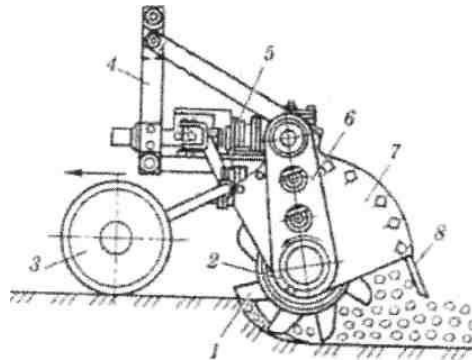


Рис. 3.1. Схема модернізованої фрези: 1 – ніж, 3 – опорне колесо, 2 – барабан, 5 і 6 – редуктори, 4 – навіска, 8 – решітка, 7 – кожух.

3.2.1. Діаметр фрезерного барабана. Діаметр фрезерного барабана D по кінцях ножів вибирати за умови забезпечення обробітку ґрунту на задану глибину h і заглиблення лише ножів (інші деталі барабана мають проходити над поверхнею поля, з мінімальним зазором 50...60 мм). Для більшості фрез $D = (2,5...3,5) h$.

$$D = 3 \cdot 0,12 = 0,36 \text{ м}$$

3.2.1. Вибір діаметра фрезерного барабана. Діаметр барабана D слід приймати таким, щоб ножі заглиблювалися у ґрунт на задану глибину h , а

корпус барабана проходив над поверхнею поля з зазором не менше 50–60 мм.
Зазвичай для більшості фрез беруть $D = (2,5 \dots 3,5) \cdot h$.

3.2.3. Загальна Кількість дисків:

$$m = \frac{B}{2l + \delta}, \quad (3.1)$$

де l – довжина частини ножа (відігнутої);

δ – товщина диска.

$$m = \frac{2,5}{2 \cdot 0,05 + 0,009} = 22,9 \approx 30$$

3.2.4. Кінематичний режим роботи ґрунтообробного агрегату:

$$\lambda = \frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{z}\right)\pi - \arcsin\left(-\frac{h_2}{R}\right)}{\frac{1}{R}\sqrt{2Rh_2 - h_2^2}} \quad (3.2)$$

де $h_2 = (0,1 \dots 0,15) h$ – висота гребнів;

R – радіус барабана (фрезерного) ґрунтообробного агрегату, ($R = D/2$).

$$\lambda = \frac{(0,5 + 0,1) \cdot 3,14 - \arcsin(-0,012/0,18)}{\frac{\sqrt{2 \cdot 0,18 \cdot 0,12 - 0,012^2}}{0,18}} = 5,8$$

3.2.5. Частота обертання фрезерного барабана ґрунтообробної машини:

$$n = \frac{60V_k}{\pi D}, \text{ об/хв.}, \quad (3.3)$$

де V_k – колова швидкість фрезерного барабана ґрунтообробної машини, м/с ($V_k = V_a \lambda$).

$$n = \frac{60 \cdot 1,17 \cdot 5,8}{3,14 \cdot 0,36} = 360 \text{ об/хв}$$

3.2.6. Подача на нож.

Провести розрахунок з урахуванням мінімальної шорсткості дна борозни та технічних характеристик барабана. (рис. 3.2) [4, 7]:

$$S = \frac{\pi D}{z \lambda}, \text{ м} \quad (3.4)$$

Значення яке рекомендується $S = 0,05 \dots 0,15$ м.

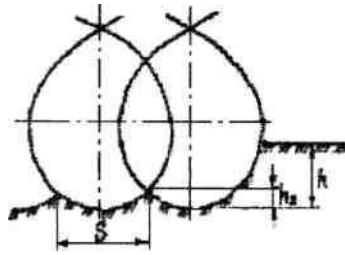


Рис. 3.2. Схема для визначення висоти гребнів дна обробки ґрунту та подачі на ніж і: h – глибина обробки; h_2 – висота гребнів; S – подача на нож

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,38}{10 \cdot 5,8} = 0,021 \text{ м.}$$

3.2.7. Розташування ножів на дисках щодо радіуса барабана та їхній кут заточування (див. рис. 3) слід вибрати таким чином, щоб різання відбувалося з мінімальним опором і ножі самостійно очищувалися під час роботи [1, 3].

Кут γ_2 , встановлюємо в межах $30 \dots 40^\circ$.

$$\gamma_1 = 90 - \gamma_2 = 90 - 30 = 60^\circ \quad (3.5)$$

3.2.8. Потужність, що реалізується ґрунтообробним агрегатом.

Загальну потужність, необхідну для роботи фрези, визначають як суму трьох складових потужності:

$$N = N_d + N_e + N_{\text{п}}, \text{ кВт}, \quad (3.6)$$

де N_d – потужність на деформацію ґрунту, кВт;

N_e – потужність на відкидання стружки, кВт;

$N_{\text{п}}$ – потужність на переміщення ґрунтообробного агрегату по полю, кВт.

Кінцевою є потужність N_o , яку встановлюємо за виразом:

$$N_d = 10^{-3} p \cdot c \cdot h \cdot z \cdot \frac{V_k}{\pi \cdot D}, \text{ кВт} \quad (3.7)$$

де p , Н/м²; h , м; V_k , м/с; D , м.

c – переріз ґрунтової стружки, м², $c = sl$.

$$N_o = 10^{-3} \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 0,00105 \cdot 0,12 \cdot 10 \cdot \frac{6,77}{3,14 \cdot 0,36} = 26,4 \text{ кВт.}$$

Потужність, необхідну для викидання стружки:

$$N_e = 10^{-3} \cdot \frac{k_e \cdot B \cdot z \cdot h \cdot \psi \cdot V_k^2}{2}, \text{ кВт}, \quad (3.8)$$

де k_e – коефіцієнт на який впливає форма ножа ($k_e = 0,85 \dots 1,0$);

ψ – об'ємна маса ґрунту, кг/м³.

B , м; h , м; V_k , м/с.

$$N_g = 10^{-3} \cdot 0,9 \cdot 2,5 \cdot 10 \cdot 0,08 \cdot 1500 \cdot \frac{6,77^2}{2} = 6,2 \text{ кВт}.$$

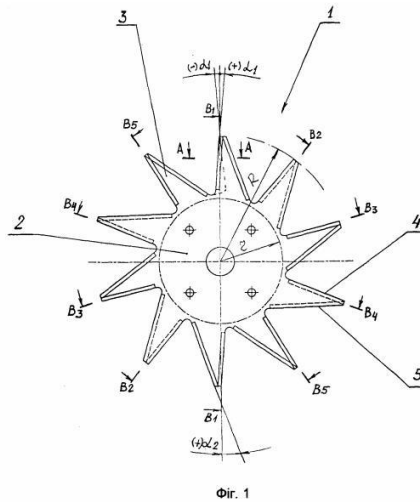


Рис. 3.3. Ілюстрація розміщення ріжучих лез на барабані фрези: β — ріжучий кут загострення леза; γ — кут орієнтації ріжучої грані леза; γ_1 та γ_2 — позиційні кути установки лез.

Потужність N_n на рух ґрунтообробної машин (фрези):

$$N_n = \frac{G_\phi \cdot f \cdot V_m}{1000}, \text{ кВт}, \quad (3.9)$$

де $f = 0,15 \dots 0,20$ — коефіцієнт опору перекочування ґрунтообробної машини;

G_ϕ — маса (вага) ґрунтообробної машини, Н.

V_m , м/с.

$$N_n = 3800 \cdot 0,18 \cdot \frac{1,17}{1000} = 0,8 \text{ кВт}$$

$$N_e = 26,4 + 6,2 + 0,8 = 33,4 \text{ кВт}$$

Потужність на вал відбору потужності енергетичного засобу:

$$N_{BPI} = \frac{N_o + N_g}{\eta_{пер}}, \text{ кВт}, \quad (3.10)$$

де $\eta_{пер}$ — ККД механічних передач між фрезерним барабаном і вихідним валом привода, розрахований за обраною кінематичною схемою привода барабана.

$$N_{BPI} = (26,4 + 6,2) / 0,89 = 36,6 \text{ кВт}.$$

3.2.9. Кінематичний розрахунок

За заданих чисел обертів барабана і ведучого вала підбирають відповідний варіант редуктора та обчислюють його загальний коефіцієнт передачі i .

3.3 Енергетичний розрахунок агрегату

3.3.1. Витрата потужності з трансмісії енергетичного засобу:

$$N_{mp} = (1 - \eta_{mp}) N_e, \text{ кВт} \quad (3.11)$$

де N_e – Визначити номінальну потужність двигуна трактора відповідного класу в кВт (клас підбирається орієнтовно за технічними характеристиками фрези);

η_{mp} – ККД трансмісії енергетичного засобу.

Для енергетичних засобів класу 1,4 $\eta_{mp} = 0,8 \dots 0,9$.

$$N_{mp} = (1 - 0,85) 38,4 = 5,76 \text{ кВт}.$$

3.3.2 Потужність, що затрачається на переміщення машини:

$$N_f = \frac{(G_{mp} + G_\phi) \cdot f \cdot V_m}{1000}, \text{ кВт} \quad (3.12)$$

де G_{mp} і G_ϕ – відповідно вага енергетичного засобу і ґрунтообробного агрегату, кгс;

f – коефіцієнт опору на перекочування агрегату ($f = 0,01 \dots 0,1$); V_m , км/год.

$$N_f = (32400 + 3800) 0,04 \cdot 1,17 / 1000 = 1,7 \text{ кВт}$$

3.3.3. Потужність, необхідна для тяги:

$$N_\delta = N_e \eta_{mp} \delta, \text{ кВт}, \quad (3.13)$$

де δ – коефіцієнт буксування ($\delta = 0,05 \dots 0,12$).

$$N_\delta = 38,4 \cdot 0,85 \cdot 0,05 = 1,63 \text{ кВт}$$

3.3.4. Потужність, необхідна для подолання ухилів місцевості:

$$N_{cx} = (G_{mp} + G_\phi) i V_m, \text{ кВт}, \quad (4.14)$$

де i – кут схилу ($i = 0,01 \dots 0,05$).

$$N_{cx} = (32400 + 3800) 0,01 \cdot 1,17 = 0,5 \text{ кВт}$$

3.3.5. Загальна потужність, необхідна для роботи фрезерного агрегату.

$$N_{\Sigma} = N_{BВП} + N_{np} + N_f + N_6 + N_{cx}, \text{кВт.} \quad (4.15)$$

$$N_{\Sigma} = 36,6 + 5,76 + 1,7 + 1,63 + 0,5 = 46,2 \text{ кВт}$$

3.3.6. Коефіцієнт ефективного використання потужності двигуна.

$$\eta = \frac{N_{\Sigma}}{N_c}$$

$\eta = 0,6 \dots 0,8$ вважається достатніс.

$$\eta = 46,2 / 58,9 = 0,78.$$

3.4 Розрахунок деталей на міцність

Визначимо діаметр вала фрезерного барабана, виходячи з вимог міцності та жорсткості при крутному навантаженні. Припускаємо, що вал суцільний і виготовлений зі сталі 35. Спочатку обчислимо крутний момент:

$$M_k = 9549 N_{BВП} / n = 9549 \cdot 36,6 / 360 = 971 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Умову міцності дотримуємо, приймаючи діаметр вала за формулою:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 M_k}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 0,971}{3,14 \cdot 150}} = 32 \text{ мм}$$

де $[\tau]$ – допустиме напруження при скручуванні, МПа.

Виходячи з вимоги жорсткості, діаметр вала фрезерного барабана розраховують за такою формулою:

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{32 M_k}{G \pi [\theta]}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 0,971}{8 \cdot 10^{-4} \cdot 3,14 \cdot 0,3}} = 14,3 \text{ мм}$$

де G – модуль пружності для сталі, МПа;

$[\theta]$ – припустима величина відносного кутового скручування, м^{-1} .

Таким чином, щоб забезпечити необхідний рівень міцності та жорсткості, діаметр вала фрезерного барабана вибираємо рівним 35 мм.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було обґрунтовано доцільність удосконалення комплексу машин для виробництва яблук шляхом модернізації фрези для міжрядного обробітку. Аналіз існуючих технологічних процесів показав, що застосування фрез для міжрядного обробітку підвищує якість розпушування ґрунту, сприяє кращому проникненню вологи та поживних речовин до кореневої системи плодових дерев. Проте традиційні конструкції фрез не завжди забезпечують оптимальну глибину обробітку, однорідність обробленого шару та надійну роботу в умовах рельєфу саду.

У результаті теоретичних розрахунків і конструкторських розробок було модернізовано конструкцію фрези. Вибрані матеріали та технології виготовлення деталей фрези відповідають вимогам ресурсозбереження та довговічності.

Отже, виконаний проект модернізації фрези для міжрядного обробітку в комплексі машин для виробництва яблук підтвердив свою технічну, економічну та екологічну обґрунтованість. Запропоновані конструктивні рішення забезпечують підвищення якості ґрунтообробний, зниження енерговитрат та збереження родючості ґрунтів. Впровадження розробленого комплексу машин сприятиме підвищенню ефективності садівничих господарств та збільшенню врожайності яблуневих насаджень. Перспективний розвиток теми полягає у створенні інтелектуальних адаптивних систем управління агротехнічними процесами, що відповідає сучасним вимогам точного землеробства. Захист і впровадження результатів роботи дозволить підвищити конкурентоспроможність українського садівництва на вітчизняному та міжнародному ринках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антоненко В.І. Механізація садівництва: підручник. Київ : Урожай, 2017. 384 с.
2. Бойко О.О. Роторні фрези в технології міжрядного обробітку плодоягідних насаджень: монографія. Черкаси : Вертикаль, 2019. 216 с.
3. Герасименко С.П. Модернізація міжрядних культиваторів для садівничих господарств. Садівництво і виноградарство України. 2020. № 2. С. 67–74.
4. ДСТУ 3768-98. Сільськогосподарські машини. Основні терміни та визначення. Київ : МінАПК України, 1998. 12 с.
5. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
6. Іваненко П.П. Теорія розпушування ґрунту роторними робочими органами: навч. посібник. Харків : Політехніка, 2018. 248 с.
7. Козловський М.Р. Проектування сільськогосподарських машин: підручник. Львів : Новий Світ–2000, 2016. 512 с.
8. Марков Ю.О., Сидоренко В.В. Особливості міжрядного обробітку садів роторними фрезами. Садівництво. 2020. № 3. С. 45–52.
9. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
10. Назаркевич В.Г. Агромеханіка: підручник. Київ : Наукова думка. 2015. 432 с.
11. Паращук І.І. Вдосконалення робочих органів фрез для міжрядного обробітку. *Агроінженерія*. 2019. Вип. 47. С. 112–120.
12. Ротар М., Штайнер Х. Технології точного землеробства: пер. з англ. Київ : Логос Україна, 2021. 300 с.

13. Савицький О.В. Конструкція робочих органів для міжрядного обробітку садів: дис. канд. техн. наук. Київ, 2018. 180 с.
14. Семенюк П.М. Основи тракторознавства та проектування навісного обладнання: підручник. Вінниця : Нова Книга, 2016. 360 с.
15. Ткаченко Д.В. Оптимізація параметрів фрез для обробітку ґрунту під плодовими насадженнями. *Технічна механіка*. 2020. Т. 58, № 4. С. 78–86.
16. Федорчук Н.І. Сучасні методи покращення якості ґрунтообробки в садівництві. Вісник ХНАУ. 2019. Вип. 58. С. 95–102.
17. Шевченко А.Г. Механічні властивості ґрунтів садівництва: монографія. Херсон : Олді-Плюс, 2017. 240 с.
18. Юрчук В.І. Інноваційні технології в садівництві: колективна монографія. Київ : АСКАР-МЕДІА, 2021. 400 с.
19. Zhang L., Wang X. Design and Optimization of Rotary Soil Engaging Tools for Orchard Cultivation. *Journal of Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 55, No. 2. P. 120–129.
20. Żak M., Kowalski J. Modern Orchard Cultivation Techniques: Use of Rotary Tillers in Apple Plantations. *Journal of Fruit Science*. 2019. Vol. 33, No. 1. P. 34–42.
21. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.