МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Шаповал Марина Олександрівна

УДК 631.331:633.63

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією сівалки точної сівби

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 _____ Шаповал М.О.

Керівник роботи
Білецький В.Р.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Шаповал Марина Олександрівна. Удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією сівалки точної сівби. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків із модернізацією сівалки точної сівби. Обґрунтовано актуальність теми, що пов’язана з необхідністю підвищення якості сівби, зменшення виробничих витрат і раціонального використання машинно-тракторного парку. Проаналізовано існуючі технології вирощування цукрових буряків, зміну посівних площ, напрями розвитку механізації, роботизації та застосування елементів точного землеробства. Спроєктовано технологію вирощування цукрових буряків в умовах півдня Житомирської області з підбором сучасного комплексу машин. У конструктивній частині роботи обґрунтовано модернізацію висівного апарата шляхом заміни механічного принципу висіву на пневматичний, що забезпечує точніше розміщення насіння в рядку. Розглянуто можливість використання агродронів зі штучним інтелектом для моніторингу посівів і обприскування, а також роботизованих машин для післясходового догляду. Виконане техніко-економічне обґрунтування підтвердило доцільність запропонованих рішень для підвищення ефективності виробництва цукрових буряків.

Ключові слова: цукрові буряки, сівалка, точна сівба, пневматичний висівний апарат, комплекс машин, агродрони.

ANNOTATION

Marina Oleksandrivna Shapoval. Improvements to the range of machinery for growing sugar beet, including the modernisation of the precision seed drill. – *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, 2026.

This thesis examines the issue of improving the range of machinery used for sugar beet cultivation, with a focus on the modernisation of precision seed drills. The relevance of the topic is justified by the need to improve sowing quality, reduce production costs and ensure the rational use of the machinery and tractor fleet. Existing sugar beet cultivation technologies, changes in sown areas, trends in mechanisation and robotisation, and the application of precision farming techniques are analysed. A sugar beet cultivation technology has been designed for the southern part of Zhytomyr Oblast, incorporating a selection of modern machinery. The practical section of the study justifies the modernisation of the seed drill by replacing the mechanical sowing principle with a pneumatic one, which ensures more precise seed placement in the row. The possibility of using agricultural drones equipped with artificial intelligence for crop monitoring and spraying, as well as robotic machines for post-emergence care, is considered. The technical and economic feasibility study carried out confirmed the viability of the proposed solutions for improving the efficiency of sugar beet production.

Keywords: sugar beet, seed drill, precision sowing, pneumatic seeding mechanism, machinery complex, agricultural drones.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ……9
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ В УМОВАХ ПІВДНЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ……..…18
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ СІВАЛКИ ТОЧНОЇ СІВБИ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ……...……26
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ…….…….37
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……...45
С ПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..…..……47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Цукрові буряки є однією з важливих технічних культур в аграрному виробництві України, оскільки вони є основною сировиною для цукрової промисловості та мають вагоме значення для забезпечення продовольчої безпеки держави. Ефективність їх вирощування значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, якості підготовки ґрунту, точності висіву насіння, своєчасного догляду за посівами та раціонального використання машинно-тракторного парку. В умовах зростання вартості пального, запасних частин, насіннєвого матеріалу, добрив і засобів захисту рослин особливого значення набуває удосконалення технологій вирощування цукрових буряків та модернізація наявної сільськогосподарської техніки.

Сучасне виробництво цукрових буряків потребує високої точності виконання кожної технологічної операції. Особливо важливою є операція сівби, адже від рівномірності розміщення насіння в рядку, дотримання заданої глибини загортання та оптимальної густоти стояння рослин залежить польова схожість, рівномірність розвитку рослин, ефективність подальшого міжрядного обробітку і кінцева врожайність культури. Недостатня точність висіву призводить до появи пропусків, загущення або нерівномірного розміщення рослин, що погіршує умови їх росту та збільшує витрати на догляд за посівами.

У багатьох господарствах і досі використовуються сівалки типу ССТ-12В, які мають просту конструкцію, доступні в обслуговуванні та можуть агрегатуватися з тракторами середнього тягового класу, зокрема ЮМЗ-6Л. Однак штатні механічні висівні апарати таких сівалок не завжди забезпечують необхідну точність розміщення насіння, особливо за підвищених робочих швидкостей і використання сучасного каліброваного насіннєвого матеріалу. Тому актуальним є конструктивне удосконалення сівалки ССТ-12В шляхом модернізації її висівного апарата, що дозволить підвищити якість сівби без придбання дорогої нової техніки.

Актуальність теми також пов’язана з необхідністю впровадження елементів точного землеробства, цифрового моніторингу, агродронів і роботизованих засобів догляду за посівами. Використання таких технічних рішень дає змогу оперативно оцінювати стан посівів, виявляти проблемні ділянки поля, проводити локальне внесення засобів захисту рослин, зменшувати витрати матеріалів і підвищувати екологічну безпечність виробництва. Поєднання традиційних машинно-тракторних агрегатів із сучасними автоматизованими й роботизованими засобами є перспективним напрямом розвитку технології вирощування цукрових буряків.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності механізованого вирощування цукрових буряків шляхом удосконалення комплексу машин та модернізації сівалки точної сівби ССТ-12В.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:** проаналізувати існуючі технології вирощування цукрових буряків та сучасні тенденції розвитку механізації виробничих процесів; дослідити зміну посівних площ цукрових буряків і визначити основні чинники, що впливають на розвиток буряківництва; спроєктувати технологію вирощування цукрових буряків в умовах півдня Житомирської області; підібрати раціональний комплекс машин для виконання основних технологічних операцій; обґрунтувати використання агрегату у складі трактора ЮМЗ-6Л та удосконаленої сівалки ССТ-12В; розробити конструктивне удосконалення висівного апарата сівалки точної сівби; розглянути можливість використання роботизованих машин і агродронів для моніторингу, догляду за посівами та обприскування; виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих проєктних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування цукрових буряків в умовах півдня Житомирської області.

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування цукрових буряків та конструктивні параметри модернізованої сівалки точної сівби ССТ-12В.

У роботі використано методи аналізу технологічних процесів, порівняння існуючих технічних рішень, розрахунку технологічної карти, конструктивного обґрунтування параметрів висівного апарата, а також методи техніко-економічної оцінки ефективності проєктних рішень.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Білецький В.Р., **Шаповал М.О.,** Вдовиченко А.М., Омельчук С.М. Способи посіву цукрових буряків. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 134-136.

2. Дерев'янко Д.А., Білецький В.Р., **Шаповал М.О**., Мазур М.П. Огляд сівалок для посіву цукрових буряків. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/derevjanko_26.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоноване удосконалення сівалки ССТ-12В може бути використане в аграрних підприємствах, які вирощують цукрові буряки та мають у складі машинно-тракторного парку сівалки цього типу. Модернізація висівного апарата дозволяє підвищити точність сівби, зменшити витрати насіння, покращити рівномірність розміщення рослин у рядку, підвищити продуктивність посівного агрегату та знизити загальні виробничі витрати.

Отже, удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків із модернізацією сівалки точної сівби є актуальним і практично важливим завданням. Його вирішення сприятиме підвищенню ефективності виробництва цукрових буряків, раціональному використанню техніки, зменшенню витрат ресурсів і впровадженню сучасних технологічних підходів у сільськогосподарське виробництво.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 34найменувань. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп’ютерного тексту, містить 16 рисунків, 9 таблиць та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Цукрові буряки належать до технічних культур із високими вимогами до якості виконання кожної технологічної операції. На відміну від більшості зернових культур, результат їх вирощування значною мірою визначається не тільки родючістю ґрунту та погодними умовами, а й точністю формування рядка, рівномірністю розміщення рослин, стабільністю глибини загортання насіння, своєчасністю боротьби з бур’янами та організацією збирання. Саме тому вирощування цукрових буряків потребує добре узгодженого комплексу машин, у якому особливе місце займає сівалка точної сівби.

Сучасна технологія буряківництва має інтенсивний характер. Вона поєднує науково обґрунтовану сівозміну, підготовку ґрунту без переущільнення, внесення органічних і мінеральних добрив, використання якісного насіння, точну сівбу, інтегрований захист рослин та спеціалізоване збирання. Для отримання дружних сходів важливо сформувати дрібногрудочкувате посівне ложе, зберегти вологу у верхньому шарі ґрунту та забезпечити контакт насінини з ущільненим вологим шаром. Будь-які відхилення на етапі сівби призводять до пропусків, двійників, нерівномірного розвитку коренеплодів і втрат під час збирання.

1.1. Стан виробництва та зміна посівних площ

За останнє десятиріччя площі під цукровими буряками в Україні змінювалися хвилеподібно. На початку розглянутого періоду вони були відносно значними, у 2019–2022 роках помітно скоротилися, а у 2023–2024 роках відновилися завдяки кращій економіці виробництва та потребі цукрових заводів у сировині. У 2025 році площі знову зменшилися, що пов’язано зі зростанням витрат, кліматичними ризиками, конкуренцією з олійними і

зерновими культурами, а також необхідністю мати поблизу працюючі переробні підприємства.

Динаміка посівних площ показана на рис. 1.1. Для практичного аналізу важливо враховувати не лише абсолютну площу, а й стабільність структури посівів у конкретному господарстві. Якщо господарство вирощує цукрові буряки системно, воно має можливість раціонально завантажувати сівалки, культиватори, обприскувачі, бурякозбиральні комбайни та транспорт. Якщо ж культура вводиться епізодично, витрати на налаштування техніки, спеціалізоване насіння, захист і логістику значно зростають.



Рис. 1.1. Динаміка посівних площ цукрових буряків в Україні у 2016–2025 рр. (узагальнено за даними Держстату, USDA FAS, Укрцукру та галузевих публікацій).

Таблиця 1.1 – Орієнтовна зміна посівних площ цукрових буряків в Україні

Показник	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Площа, тис. га	292	313	276	221	209	226	181	250	258	216.7

Річні коливання посівної площі (рис. 1.2) демонструють, що культура є чутливою до ринкової кон’юнктури та організаційних умов. Найбільше зростання відбулося після 2022 року, коли частина виробників повернулася до

буряків через потребу внутрішнього ринку та експорту цукру. Водночас скорочення 2025 року підтверджує, що без удосконалення технологій і зниження собівартості культура залишається ризиковою для господарств, які не мають достатнього машинного забезпечення.

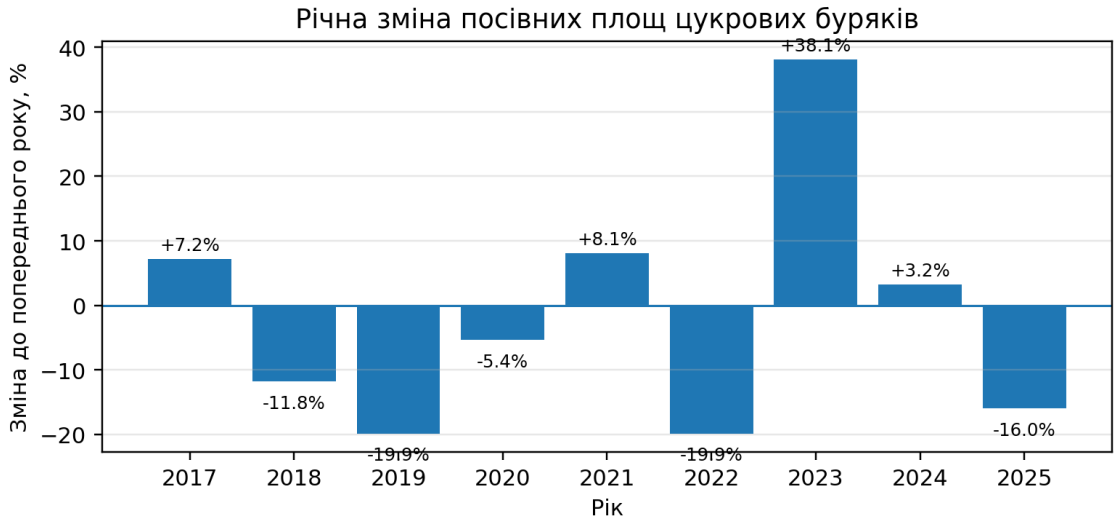


Рис. 1.2. Річна зміна посівних площ цукрових буряків порівняно з попереднім роком.

1.2. Аналіз існуючих технологічних схем вирощування

Технологія вирощування цукрових буряків починається з правильного вибору поля. Найкращими попередниками є озимі зернові, зернобобові та інші культури, після яких можна якісно підготувати ґрунт, зменшити забур'яненість і накопичити вологу. Небажаним є розміщення буряків після культур, що сильно висушують ґрунт або залишають грубі рослинні рештки без належного подрібнення. Повернення культури на те саме поле доцільно планувати не раніше ніж через декілька років, оскільки порушення сівозміни підвищує ризик поширення хвороб і шкідників.

Основний обробіток ґрунту має забезпечити розпушення орного шару, вирівнювання поверхні поля та створення умов для рівномірного розвитку коренеплоду. У традиційній технології застосовують лущення стерні, глибоку оранку або глибоке розпушування, осіннє вирівнювання, весняне закриття вологи та передпосівну культивацію. У сучасних господарствах дедалі частіше

використовують чизельний або комбінований обробіток, який дає змогу зменшити ущільнення, зберегти структуру ґрунту та скоротити кількість проходів агрегатів.

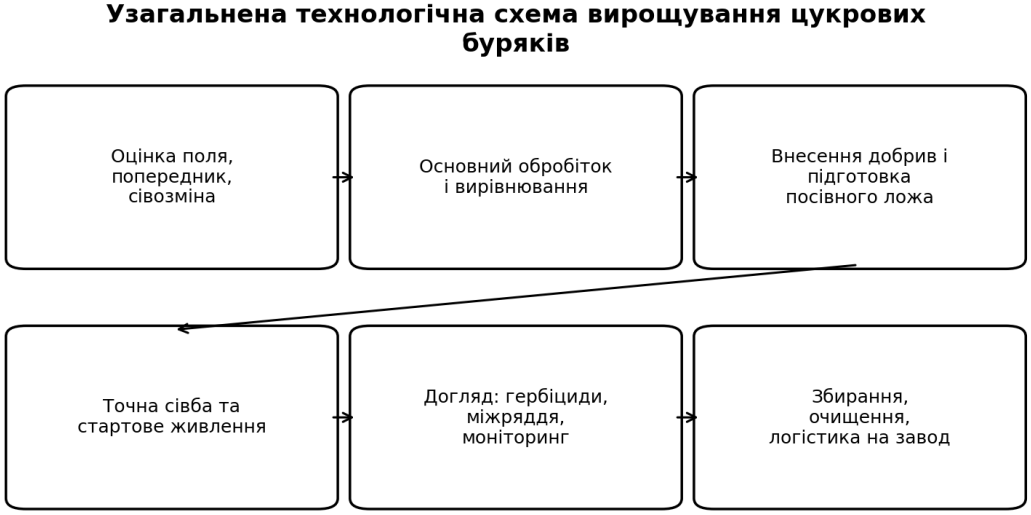


Рис. 1.3. Узагальнена технологічна схема вирощування цукрових буряків.

Передпосівна підготовка повинна бути мінімальною за кількістю проходів, але достатньою для формування рівного посівного ложа. Переробіток ґрунту перед сівбою небажаний, оскільки він призводить до втрати вологи, утворення пилуватої фракції та погіршення умов проростання. Саме тому ефективним є застосування комбінованих агрегатів з вирівнювальними, розпушувальними та прикочувальними робочими органами.

Сівба є центральною операцією в технології. Для цукрових буряків потрібне точне поштучне розміщення насіння з витримуванням заданого інтервалу в рядку. Найчастіше застосовують міжряддя 45 см, а густоту стояння формують відповідно до зони вирощування, гібриду та вологозабезпечення. Сівалка повинна стабільно працювати на заданій швидкості, не допускати пропусків і двійників, підтримувати однакову глибину загортання, ущільнювати посівну борозну та передавати оператору інформацію про роботу кожної секції.

1.3. Напрями покращення механізації процесів

Підвищення ефективності механізації у буряківництві має відбуватися не шляхом простого збільшення потужності тракторів, а через точність, узгодженість і керованість машинних операцій. Найперспективнішим напрямом є перехід від окремих агрегатів до технологічного комплексу, у якому дані про поле, карти завдань, машинні налаштування та результати виконання робіт об’єднані в єдину систему управління.

Для операції сівби важливим є використання пневматичних або вакуумних висівних апаратів, електроприводів висівних секцій, датчиків контролю проходження насіння, систем автоматичного відключення рядків на розворотах і перекриттях, а також стабілізації притискного зусилля секцій. Це дозволяє зменшити перевитрату дорогого насіння, забезпечити рівномірну густоту рослин і підвищити дружність сходів. Модернізація сівалки точної сівби повинна бути спрямована на підвищення точності дозування, зручність налаштування, можливість роботи з насінням різного калібру та інтеграцію з навігаційними системами.



Рис. 1.4. Основні напрями покращення механізації технологічних процесів у буряківництві.

Під час догляду за посівами доцільно поєднувати хімічний і механічний способи контролю бур’янів. Камерні культиватори з автоматичним веденням по

рядку дають змогу працювати ближче до рослин і зменшувати захисну зону. Обприскувачі з посекційним керуванням, контролем норми внесення та компенсацією коливань штанги підвищують рівномірність обробки. У системах точного землеробства перспективним є диференційоване внесення добрив і засобів захисту з урахуванням карт родючості, рельєфу, забур'яненості та фактичного стану посівів.

Збирання цукрових буряків потребує спеціалізованих машин, які виконують зрізування гички, викопування, очищення та завантаження коренеплодів. Втрати на цьому етапі залежать від рівномірності рядка, положення коренеплодів у ґрунті, швидкості комбайна, налаштування копачів і очищувальних робочих органів. Отже, якість збирання прямо пов'язана з якістю сівби та догляду впродовж вегетації.

1.4. Можливість роботизації окремих процесів

Роботизація у вирощуванні цукрових буряків є перспективною насамперед для операцій, де потрібна висока точність, повторюваність і робота з великими масивами даних. Повністю автономне виконання всіх операцій поки що стримується високою вартістю техніки, потребою у надійній навігації, складними польовими умовами та вимогами безпеки. Проте окремі процеси вже можуть бути частково або повністю автоматизовані.

Найбільш реальними напрямами роботизації є моніторинг посівів за допомогою БПЛА, автоматичне виявлення пропусків і зрідження, картування бур'янів, роботизований або камерно-керований міжрядний обробіток, точкове внесення гербіцидів і формування електронних карт поля. Для цукрових буряків це особливо важливо, оскільки культура повільно розвивається на початкових фазах і є дуже чутливою до конкуренції бур'янів.

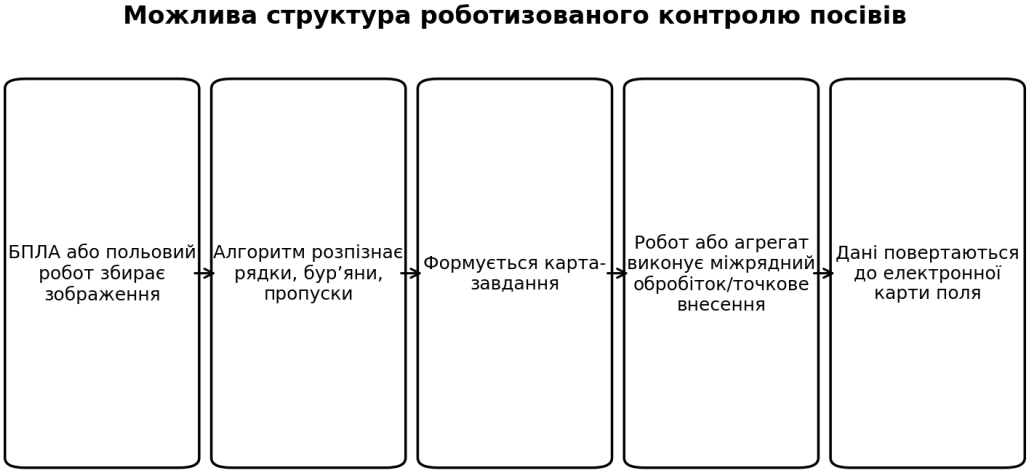


Рис. 1.5. Можлива структура роботизованого контролю та догляду за посівами цукрових буряків.

Системи машинного зору можуть розпізнавати рядки культури і відокремлювати рослини буряка від бур'янів. На основі таких даних робот або інтелектуальний агрегат може виконувати локальне механічне підрізання бур'янів, мікродозоване внесення гербіциду або формувати карту проблемних ділянок для подальшої обробки. У господарствах, де вже використовуються RTK-навігація і електронні карти полів, впровадження таких рішень відбувається простіше, оскільки координати рядків можуть бути записані під час сівби і використані для подальших операцій.

1.5. Шляхи вдосконалення технологій вирощування

Удосконалення технології вирощування цукрових буряків доцільно здійснювати за кількома взаємопов'язаними напрямами. Перший напрям - підвищення якості підготовки ґрунту. Необхідно зменшувати кількість зайвих проходів, уникати переущільнення, використовувати глибоке розпушування лише за наявності плужної підошви та застосовувати прикочування для стабілізації посівного ложа. Це забезпечує рівномірне проростання насіння і розвиток кореневої системи.

Другий напрям - модернізація сівалки точної сівби. Для умов господарств, які мають морально застарілі сівалки, ефективним може бути

оновлення висівного апарата, встановлення сучасних сошників, прикочувальних коліс, датчиків контролю висіву та системи регулювання норми. Важливо, щоб модернізована сівалка забезпечувала точний поштучний висів, рівномірну глибину, стабільне притискне зусилля секцій і можливість контролю якості сівби безпосередньо з кабіни трактора.

Третій напрям – розвиток системи догляду за посівами. Раціональне поєднання ґрунтових і страхових гербіцидів, міжрядного обробітку, локального внесення препаратів та оперативного моніторингу зменшує витрати і знижує пестицидне навантаження. Доцільним є впровадження технологій, які дозволяють обробляти не всю площу поля, а лише проблемні зони, визначені за картами забур'яненості або результатами обстеження.

Четвертий напрям – цифровізація планування та контролю. Машини повинні не лише виконувати операції, а й створювати дані про фактичну якість робіт: швидкість руху, норму висіву, пропуски, перекриття, витрати робочих рідин, глибину обробітку. Такі дані дають змогу аналізувати причини неоднорідності посівів і приймати обґрунтовані рішення щодо наступного сезону.

П'ятий напрям – удосконалення збирання і логістики. Важливо узгоджувати строки копання з роботою цукрових заводів, станом ґрунту і погодними умовами. Використання навігації, електронного обліку перевезень і планування маршрутів зменшує простої комбайнів, втрати коренеплодів і забруднення сировини. У результаті підвищується не тільки врожайність, а й економічна ефективність усієї технології.

Висновки по розділу

Аналіз існуючих технологій показує, що вирощування цукрових буряків є складним і капіталомістким процесом, який потребує високої культури землеробства та точного машинного забезпечення. Зміна посівних площ за останнє десятиріччя свідчить про залежність культури від ринкових умов, наявності переробної інфраструктури, витрат на ресурси і технологічного рівня

господарств. Найважливішими напрямами розвитку є підвищення точності сівби, зменшення кількості проходів техніки, інтеграція навігаційних і сенсорних систем, удосконалення захисту рослин та використання елементів роботизації. Для теми кваліфікаційної роботи особливо актуальною є модернізація сівалки точної сівби, оскільки саме вона формує густоту, рівномірність рядка і передумови для ефективного догляду та збирання.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ В УМОВАХ ПІВДНЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Вихідні умови проектування технології

Південна частина Житомирської області належить до зони, де поєднуються риси Полісся і Лісостепу. Для цієї території характерні помірно-континентальний клімат, достатнє зволоження, тепле літо та порівняно м’яка зима. Орієнтовна кількість опадів у південних районах області становить близько 570 мм за рік, що в цілому є сприятливим для формування врожаю цукрових буряків, однак потребує якісного регулювання водно-повітряного режиму ґрунту.

Основними ґрунтами, придатними для вирощування культури, є чорноземи опідзолені, темно-сірі та сірі лісові ґрунти. Вони забезпечують достатній запас поживних речовин, але часто потребують системного вапнування, глибокого розпушування і точного внесення добрив. Цукрові буряки негативно реагують на ущільнення орного шару, кислотність та нерівномірність передпосівної підготовки, тому технологія повинна передбачати мінімізацію проходів важких агрегатів і якісне формування посівного ложа.

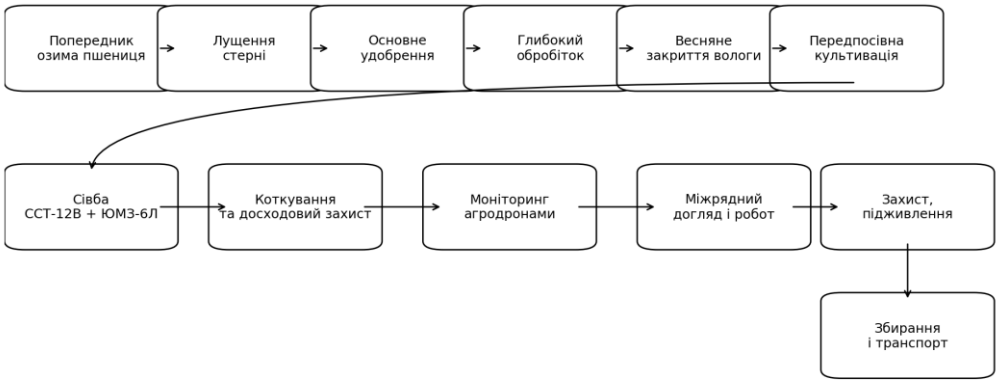
Проектування технологічної карти виконано для умовної площі 100 га. Попередником прийнято озиму пшеницю, що дає змогу своєчасно виконати лущення стерні, основне удобрення та глибокий обробіток ґрунту. Планова врожайність прийнята 55 т/га, тобто очікуваний валовий збір коренеплодів становить 5500 т. Основний спосіб сівби – пунктирний, із шириною міжрядь 45 см. Для висіву передбачено застосування удосконаленої сівалки ССТ-12В у агрегаті з трактором ЮМЗ-6Л.

2.2. Обґрунтування технологічної схеми та комплексу машин

Технологію вирощування доцільно будувати як інтенсивну ресурсозберігаючу систему. Її основою є поєднання традиційних машинно-тракторних агрегатів, модернізованої сівалки точного висіву, засобів цифрового моніторингу та роботизованого догляду за посівами. Такий підхід дає змогу забезпечити точне розміщення насіння, своєчасне закриття вологи, зменшення забур’яненості та раціональне використання пального, добрив і засобів захисту рослин.

Для основних операцій обрано техніку, яка може бути використана в господарствах середнього розміру. На етапах основного та передпосівного обробітку передбачено трактори класу МТЗ-82, МТЗ-1221 або аналогічні за тяговими показниками, дискові борони, чизельні знаряддя, компактори і зубові борони. Сівба виконується трактором ЮМЗ-6Л з удосконаленою сівалкою ССТ-12В. Модернізація висівного апарата повинна забезпечити точніше поштучне дозування насіння, стабільну глибину загортання та зменшення пропусків і двійників у рядку.

Загальна послідовність операцій наведена на рисунку 2.1. У схемі передбачено, що цифровий моніторинг за допомогою агродронів виконується після появи сходів і в період активного росту культури, а роботизоване прополювання використовується на ділянках із підвищеною забур’яненістю або там, де необхідно зменшити хімічне навантаження.



Рисю 2.1. Проектна схема технологічного процесу вирощування цукрових буряків

2.3. Розрахунок технологічної карти

Розрахунок технологічної карти виконано за укрупненими нормативами продуктивності та витрат палива. Продуктивність машинно-тракторного агрегату визначали за формулою:

$$W = B \cdot v \cdot \eta / 10, \text{ га/год}, \quad (2.1)$$

де B – робоча ширина захвату агрегату, м; v – робоча швидкість руху, км/год; η – коефіцієнт використання часу зміни. Потребу в машинному часі визначали як T = F / W, де F – обсяг роботи, га або т. Витрати палива визначали множенням питомої витрати на обсяг виконаної операції.

Для сівби прийнято ширину захвату 5,4 м, що відповідає 12 рядкам із міжряддям 45 см. За робочої швидкості 5,5 км/год і коефіцієнта використання часу 0,75 продуктивність агрегату ЮМЗ-6Л + удосконалена ССТ-12В становить близько 2,2 га/год. Для засівання 100 га потрібно орієнтовно 45,5 машино-годин, що дає змогу виконати сівбу в оптимальні агротехнічні строки за 6-7 змін тривалістю 7 годин.

Таблиця 2.1 – Технологічна карта вирощування цукрових буряків на площі 100 га.

№	Технологічна операція	Строк	Склад агрегату	Обсяг	W, га/год	T, год	Паливо, л
1	Лущення стерні після попередника	серпень	МТЗ-1221 + дискова борона ДУКАТ-3	100 га	2.2	45.5	800
2	Внесення основного мінерального добрива NPK	вересень	МТЗ-82 + розкидач Amazone ZA-M / МВУ-1000	100 га	12.0	8.3	200
3	Глибоке розпушування або оранка на 28-32 см	вересень-жовтень	МТЗ-1221 + чизель ПЧ-4,5 / плуг ПЛН-5-35	100 га	2.0	50.0	1800
4	Ранньовесняне боронування для закриття вологи	березень	МТЗ-82 + борони зубові БЗСС, зчіпка 15 м	100 га	11.0	9.1	250
5	Передпосівне внесення азотного добрива	березень-квітень	МТЗ-82 + розкидач мінеральних добрив	100 га	12.0	8.3	200
6	Передпосівна культивація на 3-4 см	квітень	МТЗ-82 + компактор / КПС-4	100 га	2.4	41.7	600
7	Пунктирна сівба цукрових буряків	квітень	ЮМЗ-6Л + удосконалена ССТ-12В	100 га	2.2	45.5	550
8	Післяпосівне коткування	квітень	ЮМЗ-6Л + кільчасто-шпорові котки ЗККШ-6	100 га	3.7	27.0	350
9	Досходове внесення ґрунтового гербіциду	квітень-травень	МТЗ-80 + обприскувач ОП-2000-18	100 га	12.0	8.3	220
10	Аерофотозйомка та NDVI-моніторинг посівів, 2 обльоти	травень-червень	агродрон з RGB/мультиспектральною камерою та AI-аналізом	200 га	50.0	4.0	40

Продовження таблиці 2.1

11	Міжрядна культивація, 2 проходи	травень-червень	ЮМЗ-6Л + УСМК-5,4 / КРН-5,6	200 га	2.6	76.9	1200
12	Роботизоване точкове прополювання проблемних ділянок	травень-червень	автономний робот з RTK-GNSS і машинним зором	60 га	0.9	66.7	18
13	Позакореневе підживлення, інсектицидний/фунгіцидний захист, 2 проходи	червень-липень	МТЗ-80 + ОП-2000-18; локально — агродрон-обприскувач	200 га	12.0	16.7	440
14	Диференційоване обприскування осередків агродроном	червень-липень	агродрон-обприскувач з картами-завданнями	40 га	12.0	3.3	20
15	Збирання коренеплодів із подрібненням гички	вересень-жовтень	самохідний бурякозбиральний комбайн ROPA/GRIMME або послуги МТС	100 га	2.0	50.0	2500
16	Перевезення коренеплодів до кагатного поля або пункту приймання	вересень-жовтень	тракторні причепи 2ПТС-6 / автомобілі-самоскиди	100 га	1.5	66.7	1200
	Разом за технологічною картою					528.0	10388

За результатами розрахунку сумарна потреба в машинному часі становить близько 528.0 год, а орієнтовна витрата пального – 10388 л на 100 га. Найбільша частка палива припадає на збирання, транспортування коренеплодів, глибокий обробіток ґрунту та міжрядний догляд. Саме ці операції доцільно розглядати як основні резерви для підвищення ефективності технології.

2.4. Календарне планування і структура ресурсних витрат

Календарне планування робіт має забезпечити виконання сівби в короткий строк після достигання ґрунту до фізичної стиглості. У південних районах Житомирської області це здебільшого припадає на першу-другу декаду квітня. Запізнення із сівбою призводить до втрати вологи у верхньому шарі ґрунту, нерівномірних сходів і подовження періоду боротьби з бур’янами. Орієнтовний графік виконання операцій наведено на рисунку 2.2.

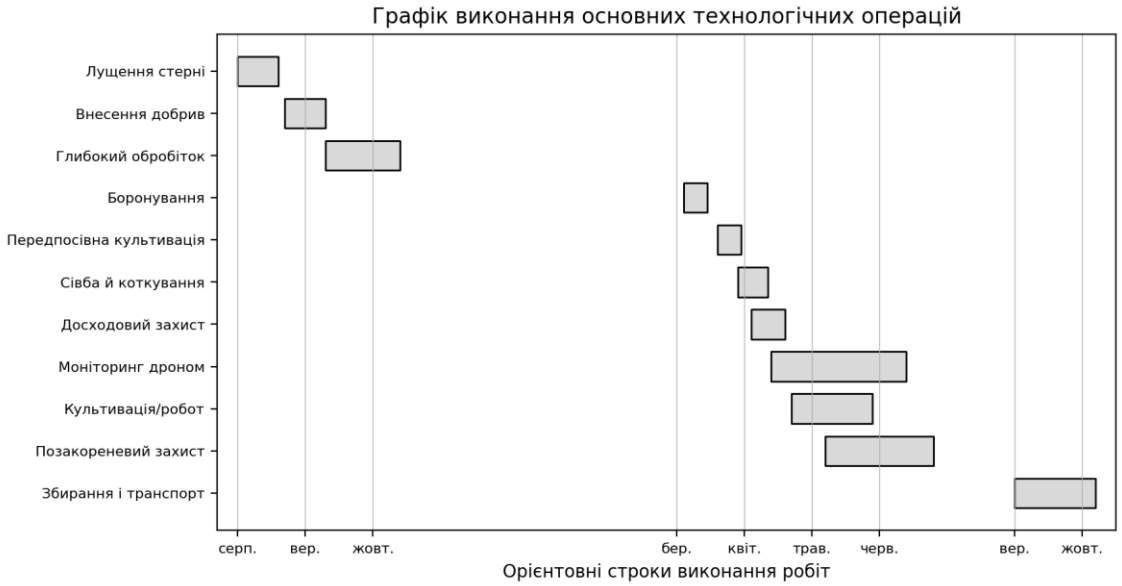


Рис. 2.2. Орієнтовний календар виконання технологічних операцій.

Аналіз технологічної карти показує, що за витратами палива домінують енергоємні процеси основного обробітку ґрунту, збирання і транспортування врожаю. Сівба удосконаленою ССТ-12В не є найбільш енергоємною операцією, проте вона визначає рівномірність стеблостою і надалі впливає на якість механізованого догляду та збирання. Тому модернізація сівалки має не тільки конструктивне, а й технологічне значення.

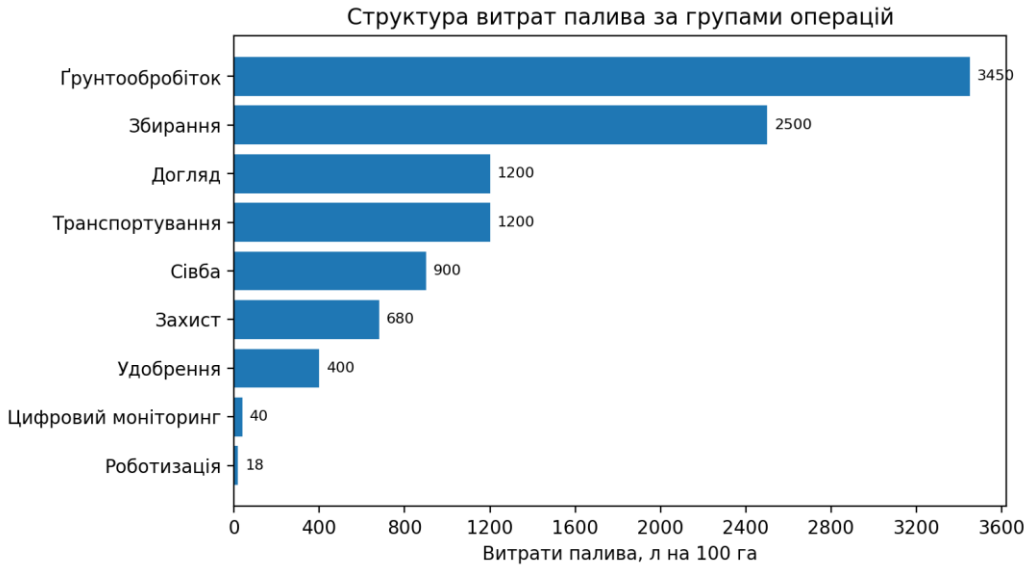


Рис. 2.3. Структура орієнтовних витрат палива за групами операцій.

За витратами машинного часу значну частку займають доглядові операції, роботизоване точкове прополювання та транспортування коренеплодів. Роботизовані операції мають невелику питому витрату енергії, але потребують

тривалого часу роботи. Через це їх доцільно виконувати в автономному режимі протягом подовженого робочого дня або застосовувати два роботи на великих масивах.

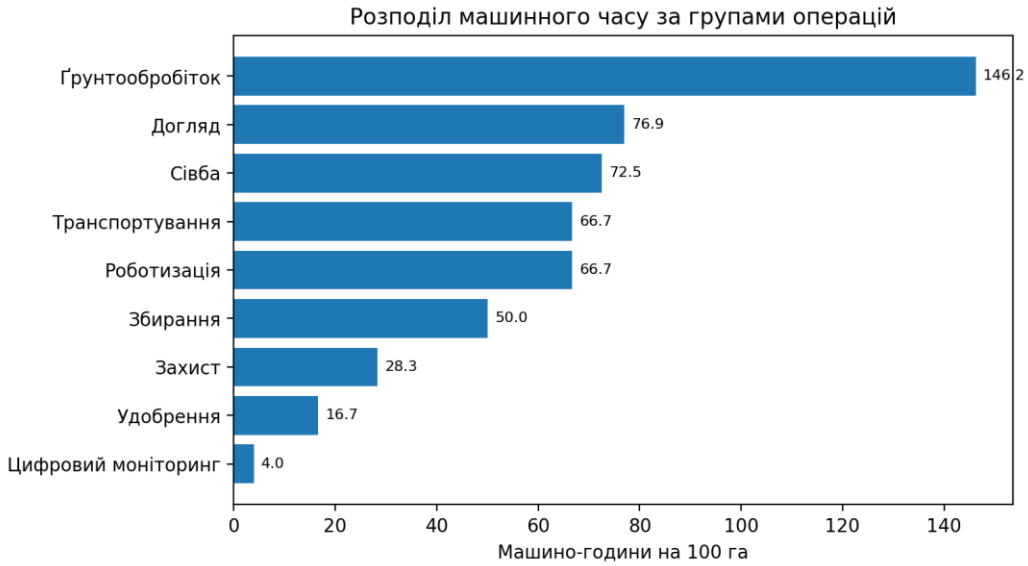


Рис. 2.4. Розподіл машинного часу за групами операцій

2.5. Використання роботів і агродронів у проектній технології

Роботизація післясходового догляду є перспективним напрямом для цукрових буряків, оскільки культура висівається широкорядно і має чітко виражені рядки. Після появи сходів робот з RTK-GNSS, камерами та алгоритмами машинного зору може рухатися між рядками, розпізнавати культурні рослини й бур’яни та виконувати механічне прополювання. Найкращий ефект очікується на ділянках, де сівалка забезпечила прямолінійність рядків і стабільний інтервал між рослинами.

У технологічній карті роботизоване прополювання запропоновано як додаткову операцію на 60 га умовного обробітку, що відповідає двом проходам на 30 га найбільш забур’янених або демонстраційних ділянок. Повна заміна міжрядної культивації одним роботом на площі 100 га можлива, але потребує достатнього запасу часу: за продуктивності 0,9 га/год два проходи по всій площі становитимуть близько 222 год роботи. Тому для виробничих умов доцільні два варіанти: комбінування робота з тракторним культиватором або використання двох автономних роботів.

Агродрони доцільно застосовувати у двох напрямах. Перший – регулярний моніторинг стану посівів за RGB- та мультиспектральними знімками з автоматичним аналізом густоти сходів, зон пригнічення, пошкодження шкідниками та неоднорідності розвитку рослин. Другий – локальне обприскування осередків бур'янів, шкідників або хвороб за картами-завданнями. Такий підхід дозволяє зменшити кількість суцільних обробок, точніше планувати строки внесення препаратів і швидше реагувати на проблемні ділянки.

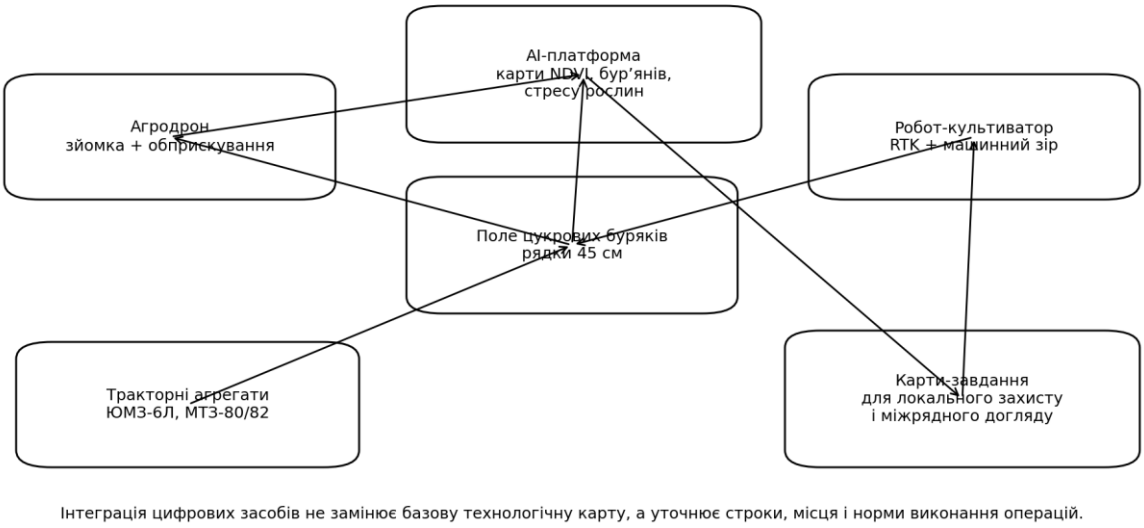


Рис. 2.5. Схема інтеграції агродронів, AI-аналізу та роботизованого догляду.

Висновки до розділу

Для умов півдня Житомирської області запропоновано технологію вирощування цукрових буряків на площі 100 га з використанням сучасних ґрунтообробних, посівних, захисних і збиральних машин. Ключовою операцією технології є сівба удосконаленою сівалкою ССТ-12В у агрегаті з трактором ЮМЗ-6Л, що забезпечує пунктирне розміщення насіння з міжряддям 45 см. Розрахована технологічна карта показала сумарну потребу в машинному часі близько 528.0 год і орієнтовну витрату палива 10388 л на 100 га. Додаткове застосування агродронів і роботизованих культиваторів підвищує керованість

технологічного процесу, дає змогу перейти до локального догляду за посівами та створює передумови для подальшого розвитку точного землеробства.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТИВНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ СІВАЛКИ ТОЧНОЇ СІВБИ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

У технології вирощування цукрових буряків операція сівби має визначальне значення, оскільки саме на цьому етапі формується рівномірність майбутнього стеблостою, забезпечується задана густота рослин і створюються передумови для дружного розвитку сходів. Навіть незначні відхилення від заданого інтервалу між насінинами призводять до появи пропусків або загущених ділянок, що ускладнює подальший догляд за посівами та знижує ефективність використання добрив, засобів захисту рослин і збиральної техніки.

У багатьох господарствах ще експлуатуються сівалки сімейства ССТ, зокрема ССТ-12В. Їх механічні висівні апарати мають просту будову, однак у процесі тривалої роботи втрачають стабільність дозування через зношування деталей, підвищену чутливість до фракційного складу насіння та необхідність частих регулювань. Тому модернізацію доцільно спрямувати не на повну заміну агрегату, а на оновлення його ключового вузла — висівного апарата.

Запропоноване конструктивне рішення передбачає встановлення пневматичного висівного апарата замість штатного механічного вузла. Такий підхід дозволяє використати наявну раму, опорно-привідні колеса, секції та частину передавальних механізмів, а основні витрати зосередити на виготовленні дисків, корпусів висівних апаратів, повітропроводів і встановленні вентилятора. Перевагою вакуумного принципу є можливість стабільного захоплення по одній насінині, зменшення травмування посівного матеріалу та підтримання точності висіву за підвищених робочих швидкостей.

Метою розділу є обґрунтування параметрів модернізованого пневматичного висівного апарата, визначення основних розмірів висівного диска, узгодження його розташування із сошником посівної секції та оцінка необхідних параметрів пневматичної системи сівалки.

3.1. Вихідні передумови для модернізації

Під час розроблення модернізованої посівної секції прийнято, що сівалка використовується для пунктирної сівби дражованого або каліброваного насіння цукрових буряків. Основні початкові дані, які покладено в основу розрахунків, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові дані для розрахунку модернізованого висівного апарата

№ з/п	Показник	Значення
1	Кількість рядків сівалки, шт.	12
2	Ширина міжряддя, м	0,45
3	Розрахункова кількість насінин у рядку, шт./м	12
4	Діаметр опорно-привідного колеса, м	0,52
5	Орієнтовний діаметр дражованої насінини, м	0,0045
6	Мінімальна норма висіву, шт./га	100000
7	Максимальна норма висіву, шт./га	133332
8	Коефіцієнт перекочування колеса по ґрунту	0,93...0,95

Зазначені параметри відповідають типовій схемі дванадцятирядної бурякової сівалки з міжряддям 45 см. Для забезпечення заданої густоти посіву висівний апарат повинен працювати в широкому діапазоні норм висіву, не допускаючи значної кількості двійників і пропусків. Особливу увагу необхідно приділити вибору діаметра отворів, їх кількості на диску та швидкості переміщення комірок у зоні забору насіння.

За конструктивну основу приймається пневматичний апарат із горизонтальною віссю обертання висівного диска. У такому апараті насіння утримується біля отворів за рахунок розрідження у вакуумній камері, а після виходу отвору із зони дії вакууму відокремлюється від диска і спрямовується у насіннєпровід або безпосередньо в сошник.

3.2. Визначення параметрів висівного диска

Першим етапом розрахунку є встановлення кінематичного зв’язку між переміщенням сівалки полем і обертанням висівного диска. За один оберт опорно-привідного колеса агрегат проходить шлях:

$$l = \pi D_k \varepsilon = 3{,}14 \cdot 0{,}52 \cdot 0{,}95 = 1{,}55 \text{ м} \quad (3.1)$$

де D_k – діаметр опорно-привідного колеса, м; ε – коефіцієнт, що враховує втрати від ковзання та деформації ґрунту.

Кількість обертів колеса, необхідних для умовного засівання одного гектара в перерахунку на одне міжряддя, визначається за виразом:

$$N_k = 10000 / (b \cdot l) = 10000 / (0{,}45 \cdot 1{,}55) = 14340 \text{ об./га} \quad (3.2)$$

де b – ширина міжряддя, м; l – шлях, що проходить сівалка за один оберт колеса, м.

Передаточне число привода диска приймається змінним, що дає змогу адаптувати сівалку до різних норм висіву. Для попереднього розрахунку приймаємо межі $i_{min} = 0{,}2$ та $i_{max} = 0{,}8$. Відповідно мінімальна та максимальна кількість обертів висівного диска за умовного засівання одного гектара становитиме:

$$N_{д\,min} = N_k \cdot i_{min} = 14340 \cdot 0{,}2 = 2868 \text{ об./га} \quad (3.3)$$

$$N_{д\,max} = N_k \cdot i_{max} = 14340 \cdot 0{,}8 = 11472 \text{ об./га} \quad (3.4)$$

Кількість отворів на диску підбирають так, щоб за один оберт диска в зону скидання надходила необхідна кількість насінин. У загальному вигляді залежність має вигляд:

$$z = Q / N_д \quad (3.5)$$

де Q – задана норма висіву насіння, шт./га; $N_д$ – кількість обертів висівного диска на умовному гектарі.

З урахуванням прийнятого діапазону передаточних чисел розрахункове число отворів може змінюватися приблизно від 9 до 47. Для практичної експлуатації доцільно передбачити комплект змінних дисків, наприклад на 24, 36 і 48 отворів. Такий набір дає змогу поєднувати зміну диска зі зміною

передаточного числа привода і точно встановлювати норму висіву без складного переобладнання сівалки.

Діаметр присмоктувального отвору повинен бути меншим за мінімальний розмір насінини, але достатнім для створення надійної сили утримання. Для дражованого насіння цукрових буряків приймаємо співвідношення:

$$d_o = (0{,}35...0{,}45) \cdot dн \qquad (3.6)$$

де d_o – діаметр отвору, м; $d_н$ – характерний діаметр насінини, м. За dн = 4,5 мм доцільно прийняти d_o = 1,8 мм. Такий розмір зменшує ймовірність затягування насінини в отвір і водночас забезпечує достатнє присмоктування.

Крок розміщення отворів на диску повинен виключати взаємний вплив сусідніх насінин та забезпечувати нормальну роботу скидача зайвих насінин. Розрахунково його можна задати умовою:

$$t \geq 2b_{max} + d_o \qquad (3.7)$$

де b_{max} – найбільший поперечний розмір насінини, м. Для прийнятих розмірів насіння та отвору обираємо t = 11 мм.

Якість заповнення отворів значною мірою залежить від лінійної швидкості їх переміщення у зоні насіннєвої камери. Для перевірки цієї умови визначаємо максимальну лінійну швидкість отворів:

$$v_{д\,max} = K \cdot v_{c\,max} \cdot t / T_{min} \qquad (3.8)$$

де K – кількість рядів отворів на диску; vc max – максимальна робоча швидкість сівалки, м/с; T_{min} – мінімальний крок пунктирного висіву, м; t – крок отворів, м. За K = 1, $v_{c\,max}$ = 2,2 м/с, t = 0,011 м і T_{min} = 0,083 м одержуємо vд max ≈ 0,29 м/с. Отже, швидкість не перевищує рекомендованого діапазону 0,3...0,5 м/с і може вважатися допустимою.

Діаметр кола, на якому розміщуються присмоктувальні отвори, визначається з геометричної залежності:

$$D_0 = z \cdot t / \pi \qquad (3.9)$$

Для диска з 36 отворами та кроком 11 мм діаметр кола отворів становить D_0 = 36 · 0,011 / 3,14 = 0,126 м. Остаточний зовнішній діаметр диска

приймається більшим, щоб забезпечити місце для кріплення, ущільнення вакуумної камери та технологічних зазорів.

3.3. Конструктивне виконання висівного апарата і посівної секції

Модернізований висівний апарат доцільно виконати у вигляді окремого блока, який встановлюється на штатне місце механічного апарата сівалки. До його складу входять корпус, насіннєва камера, вакуумна камера, змінний висівний диск, скидач зайвих насінин, ворушилка та приводна зірочка. Підведення розрідження здійснюється через повітропровід, з'єднаний із загальною магістраллю вентилятора.

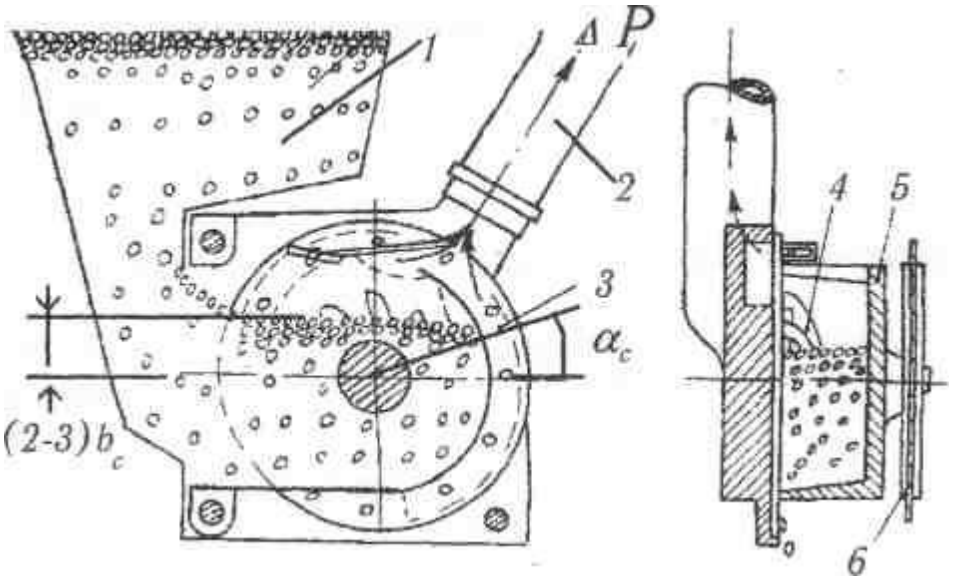


Рис. 3.1. Схема пневматичного висівного апарата з горизонтальною віссю обертання.

Для стабільного захоплення насіння рівень матеріалу в живильній камері підтримують дещо вище осі обертання диска. Практично достатнім є перевищення на 2...3 розміри насінини. Якщо рівень насіння буде нижчим, частина отворів може залишатися незаповненою; за надмірного рівня збільшується тиск насіннєвої маси на диск і підвищується ймовірність захоплення двох насінин одним отвором.

Кут виходу насінини з диска визначає форму та положення вакуумної камери. Для апаратів такого типу доцільно приймати кут сходу αс у межах 30...40°. У цій зоні отвір має вийти з-під дії розрідження, після чого насінина

під дією власної ваги і початкової швидкості спрямовується в насіннєнаправник.

Скидач зайвих насінин повинен мати регульоване положення відносно кола отворів. Його завдання полягає в тому, щоб залишати на кожному отворі лише одну насінину та не пошкоджувати оболонку дражованого матеріалу. Найбільш доцільним є пружинне або гвинтове регулювання, яке дає змогу змінювати зазор залежно від калібру насіння.

Розташування висівного апарата відносно сошника повинно забезпечувати мінімальну висоту вільного падіння та точне потрапляння насінини в борозенку. Загальна схема такого компонування наведена на рис. 3.2.

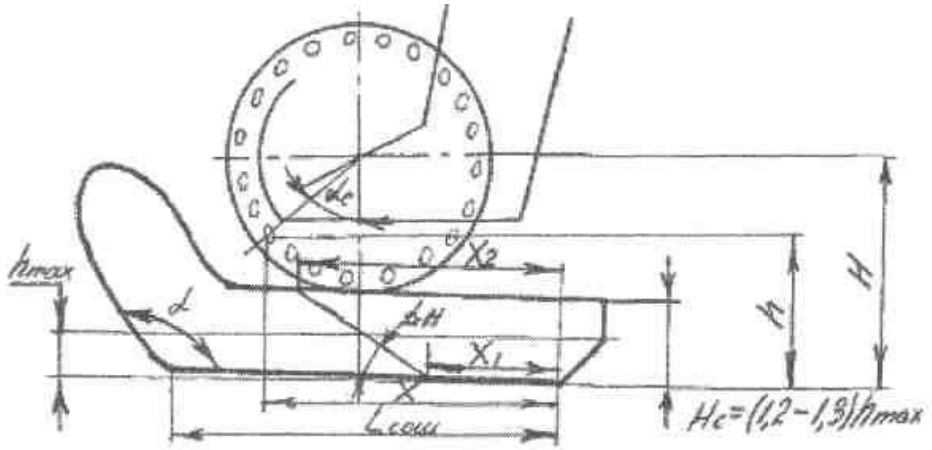


Рис. 3.2. Взаємне положення висівного диска, насіннєнаправника і сошника посівної секції.

Основні розміри сошника визначаються з умови збереження заданої глибини загортання та безперешкодного проходження насіння. Висоту розташування елементів посівної секції можна прийняти за співвідношенням:

$$H \geq h_{max} + \Delta h \qquad (3.10)$$

$$Hc = (1{,}2...1{,}5) \cdot h_{max} \qquad (3.11)$$

де h_{max} – найбільша глибина загортання насіння, м; Δh – конструктивний запас для проходження ґрунту та рослинних решток; H_c – розрахункова висота насіннєнаправника.

Кут входження сошника у ґрунт має забезпечувати стабільне заглиблення без надмірного нагортання ґрунту перед робочою поверхнею. Його можна орієнтовно приймати з умови:

$$\alpha \geq \varphi + 5^\circ \qquad (3.12)$$

де φ – кут ковзання ґрунту по сталі. Додавання запасу 5° підвищує стійкість ходу сошника за зміни вологості та щільності ґрунту.

Ширина насіннєвого каналу сошника повинна бути більшою за максимальний розмір насінини з урахуванням технологічного зазору. У спрощеному вигляді ця умова записується так:

$$B_{сош} \geq b_{max} + 2\delta \qquad (3.13)$$

де δ – зазор між насіниною та стінкою каналу. Для насіння цукрових буряків доцільно приймати Всош не менше 10...12 мм у зоні проходження насіння. Якщо конструкція секції передбачає одночасне локальне внесення добрив, канал для добрив має бути відокремлений від насіннєвого, щоб не порушувати агротехнічну відстань між рядком насіння та стрічкою добрив.

Довжина сошника впливає на стабільність формування борозенки. Для сівалки точного висіву її доцільно приймати в межах 0,25...0,30 м. У проєктному рішенні приймаємо Lсош = 0,30 м, що забезпечує достатню опорну поверхню та дозволяє розмістити насіннєнаправник без різких перегинів.

Відстань від точки відриву насінини від диска до обрізу щоки сошника визначається з умови падіння насінини у борозенку:

$$X = v_{дх} \cdot \sqrt{(2h / g)} \qquad (3.14)$$

де $v_{дх}$ – горизонтальна складова швидкості насінини в момент сходу з диска, м/с; h – висота падіння, м; g – прискорення вільного падіння, м/с². Зменшення висоти h є бажаним, оскільки воно знижує розкид насінин уздовж рядка.

Положення насіннєнаправника вибирають так, щоб насінина не ударялась об стінки під великим кутом і не змінювала траєкторію після виходу з апарата. У загальному вигляді умову узгодження кута нахилу можна записати як:

$$\beta = \operatorname{arctg}(h / X) \qquad (3.15)$$

де β – кут нахилу насіннєнаправника відносно горизонталі. Для зменшення відскоку насінин внутрішні поверхні каналу повинні бути гладкими, а перехід від висівного апарата до сошника — плавним.

Відстань між корпусом секції та прикочувальним коточком приймають із запасом, щоб уникнути забивання ґрунтом та рослинними рештками. Мінімальне значення можна визначити за залежністю:

$$a \geq 0{,}5D_{коч} + h_{max} + \Delta \qquad (3.16)$$

де Dкоч – діаметр прикочувального коточка, м; Δ – технологічний зазор. Дотримання цієї умови дає змогу одночасно забезпечити якісне закривання борозенки та рівномірне ущільнення ґрунту над насінням.

3.4. Розрахунок основних параметрів пневматичної системи

Робота пневматичного апарата ґрунтується на створенні розрідження з тильного боку висівного диска. Повітря проходить крізь отвори диска, і насінина притискається до отвору силою, що виникає внаслідок різниці тисків. Після виходу отвору із зони вакууму ця сила зникає, і насінина скидається у насіннєнаправник.

Під час захоплення насінини на неї діють сила тяжіння, інерційна сила, реакція насіннєвої маси та сила тертя об поверхню диска. Схематично взаємодію сил показано на рис. 3.3.

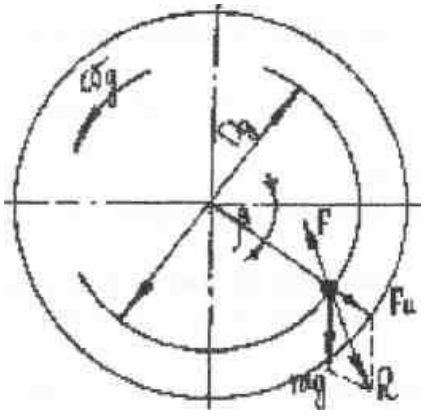


Рис. 3.3. Сили, що діють на насінину під час її утримання на отворі диска.

Інерційну силу, яка виникає внаслідок обертання диска, можна визначити за формулою:

$$F_i = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (3.17)$$

де m – маса насінини, кг; ω – кутова швидкість висівного диска, рад/с; r – радіус розміщення отворів, м.

Результуюча сила, яку повинна компенсувати дія вакууму з урахуванням ваги насінини, визначається як:

$$R = \sqrt{((mg)^2 + F_i^2)} \quad (3.18)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с². Оскільки насіння цукрових буряків має нерівномірну форму, а отвір перекривається насіниною не повністю, у розрахунок вводяться поправочні коефіцієнти. Для цукрових буряків емпіричний коефіцієнт надійності захоплення K_1 приймають у межах 40...60, а коефіцієнт фактичного перекриття отвору K_2 — у межах 0,4...0,5.

Необхідна сила присмоктування визначається за умовою:

$$F_{пр} \geq K_1 \cdot R / f \quad (3.19)$$

де f – коефіцієнт тертя насінини по матеріалу диска. Розрідження у вакуумній камері, яке забезпечує цю силу, визначається за виразом:

$$\Delta P = Fпр / (K_2 \cdot f_o) \quad (3.20)$$

де f_o – площа присмоктувального отвору, м². Для вибраного діаметра отвору вона становить:

$$f_o = \pi d_o^2 / 4 \quad (3.21)$$

Отримане значення розрідження уточнюється під час стендової перевірки апарата. Для дражованого насіння цукрових буряків робочий вакуум зазвичай має підтримуватися з певним запасом, оскільки фактичне присмоктування залежить від запиленості насіння, стану ущільнень, швидкості руху сівалки та стабільності роботи вентилятора.

Швидкість повітряного потоку в отворі диска визначається залежністю:

$$v_o = \alpha_a \cdot \sqrt{(2\Delta P / \rho)} \quad (3.22)$$

де $\alpha_a = 0,70...0,75$ – коефіцієнт швидкості; ρ – густина повітря, кг/м³.

Загальні витрати повітря через отвори всіх висівних апаратів сівалки визначаються за формулою:

$$Q = k \cdot n \cdot z_v \cdot M \cdot f_o \cdot v_o \quad (3.23)$$

де k = 0,6...0,9 – коефіцієнт присмоктування; n = 0,8...0,9 – коефіцієнт одночасності роботи отворів; z_v – кількість отворів диска, що перебувають у зоні вакуумної камери; М – кількість висівних апаратів, шт.

Площу всмоктувального патрубка одного апарата або магістралі визначають з урахуванням допустимої швидкості руху повітря у трубопроводі:

$$S = Q / v_п \qquad (3.24)$$

де $v_п$ – прийнята швидкість повітря у патрубку, м/с. Занадто малий переріз патрубка призводить до підвищення втрат тиску, а надмірно великий — ускладнює компонування секції та збільшує матеріаломісткість.

Потужність, потрібна для привода вентилятора, визначається за залежністю:

$$N = Q \cdot H / (\eta_в \cdot \eta_п) \qquad (3.25)$$

де ηв – коефіцієнт корисної дії вентилятора; ηп – коефіцієнт корисної дії привода; Н – повний напір вентилятора, Па. Для попереднього підбору вентилятора повний напір можна прийняти за формулою:

$$H = (2,5...3,0) \cdot \Delta P \qquad (3.26)$$

Такий запас необхідний для компенсації втрат у повітропроводах, місцевих опорів у з’єднаннях, нещільностей у корпусах висівних апаратів та зміни режиму роботи під час руху агрегату полем. Вентилятор доцільно підбирати з додатковим резервом продуктивності 15...20 %, щоб забезпечити стабільне розрідження на всіх дванадцяти секціях.

3.5. Очікувані результати модернізації

Заміна механічного висівного апарата на пневматичний дає змогу підвищити рівномірність розміщення насіння в рядку, зменшити кількість пропусків і двійників, а також розширити діапазон робочих швидкостей сівалки без помітної втрати якості висіву. Для господарства це особливо важливо, оскільки модернізація дозволяє продовжити використання наявної сівалки ССТ-12В без придбання нового імпортного агрегату точного висіву.

Запропонована конструкція є технологічно придатною для виготовлення в умовах ремонтної майстерні або невеликої виробничої дільниці. Найскладнішими елементами є висівний диск із точно виконаними отворами, ущільнення вакуумної камери та вузол регулювання скидача зайвих насінин. Інші деталі можуть виготовлятися з доступних конструкційних матеріалів із подальшим складанням у корпус штатної посівної секції.

Модернізована сівалка зберігає основну компоновку базового агрегату, але отримує якісно новий висівний вузол. Це забезпечує кращу адаптацію до каліброваного й дражованого насіння, знижує трудомісткість налаштування, підвищує надійність процесу сівби та створює передумови для зменшення витрат на пересівання і ручне виправлення нерівномірних посівів.

Отже, конструктивне удосконалення сівалки точної сівби шляхом застосування пневматичного висівного апарата є доцільним як з технічного, так і з економічного погляду. Розраховані параметри висівного диска, сошника та пневматичної системи можуть бути використані для подальшого виготовлення дослідного зразка, проведення стендових випробувань і уточнення режимів роботи в польових умовах.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1. Мета та вихідні дані економічного обґрунтування

Техніко-економічне обґрунтування виконано для оцінювання доцільності модернізації сівалки точного висіву ССТ-12В, яка використовується в агрегаті з трактором ЮМЗ-6Л під час вирощування цукрових буряків. Проектне рішення передбачає заміну або суттєве вдосконалення штатного механічного висівного апарата на пневматичний вузол із стабільнішим поштучним дозуванням насіння, контролем роботи секцій і можливістю точнішого налаштування норми висіву.

Економічна доцільність такого рішення визначається не тільки прямим зменшенням витрат насіння, а й впливом на весь технологічний процес: рівномірні сходи полегшують міжрядну культивацію, підвищують ефективність роботи роботизованих засобів догляду, зменшують потребу у виправленні помилок висіву та створюють передумови для більш рівномірного формування коренеплодів. Для розрахунків прийнято площу посіву 100 га, що відповідає технологічній карті, розробленій у другому розділі роботи.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічних розрахунків

Показник	Значення	Одиниця
Площа посіву цукрових буряків	100	га
Базова урожайність за проектною технологією	55.0	т/га
Очікуване підвищення урожайності за рахунок точнішої сівби	3.0	%
Розрахункова закупівельна ціна коренеплодів	2000	грн/т
Витрати дизельного пального за технологічною картою	10388	л/100 га
Прийнята ціна дизельного пального	80.07	грн/л
Трудомісткість комплексу машинних робіт	594.6	люд.-год/100 га
Розрахункова оплата праці з нарахуваннями	100	грн/люд.-год

Наведені показники мають розрахунковий характер і призначені для порівняння базового та проектного варіантів. За базовий варіант прийнято експлуатацію сівалки ССТ-12В зі штатним механічним висівним апаратом, за

проектний – роботу тієї самої сівалки після встановлення пневматичного висівного апарата. Такий підхід дає змогу оцінити ефект саме від модернізації, не змішуючи його з впливом придбання нового трактора або повної заміни сівалки.

4.2. Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію сівалки

Капітальні вкладення включають вартість основних вузлів, допоміжних елементів, монтажно-налагоджувальних робіт і проектно-конструкторського супроводу. Перевага модернізації полягає у використанні наявної рами, бункерів, опорно-приводних коліс і більшої частини посівних секцій ССТ-12В. Тому обсяг інвестицій суттєво нижчий, ніж при купівлі нової пневматичної сівалки, а господарство зберігає можливість агрегатування з трактором ЮМЗ-6Л.

Таблиця 4.2 – Орієнтовна кошторисна вартість модернізації ССТ-12В

Стаття витрат	Сума, грн	Частка, %
Пневматичні висівні модулі та диски, 12 шт.	108 000	39.0
Вакуумний вентилятор і регулятор розрідження	32 000	11.6
Повітропроводи, фільтри, ущільнення, патрубки	22 000	7.9
Елементи приводу, кронштейни, захист і насіннєпроводи	36 000	13.0
Датчики контролю висіву та блок індикації	24 000	8.7
Монтаж, виготовлення перехідних деталей і випробування	34 000	12.3
Проєктно-конструкторські роботи та налагодження	21 000	7.6
Разом капітальні вкладення	277 000	100.0

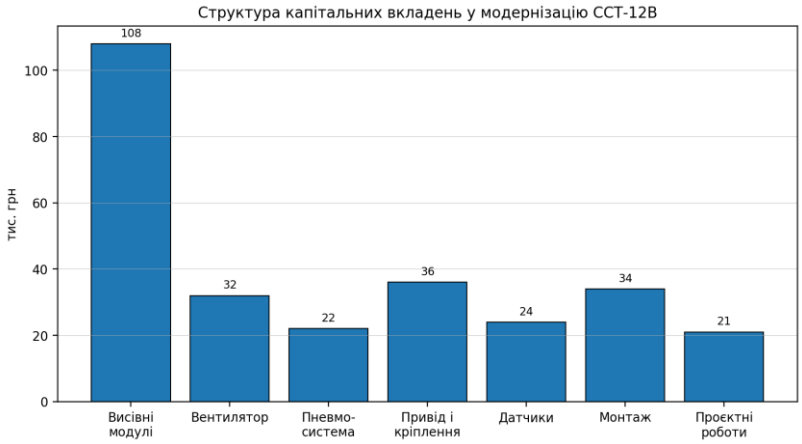


Рис. 4.1. Структура капітальних вкладень у модернізацію сівалки ССТ-12В.

Найбільшу частку капітальних вкладень становлять пневматичні висівні модулі та висівні диски. Саме вони визначають якість поштучного дозування насіння, зменшення двійників і пропусків. Другим за значенням напрямом є монтаж і виготовлення перехідних деталей, оскільки модернізація має забезпечити встановлення нових вузлів на місця штатних механічних апаратів без порушення геометрії посівних секцій.

4.3. Визначення експлуатаційних витрат і резервів економії

Поточні витрати технології залежать від кількості машинних проходів, витрат пального, оплати праці, ремонту машин, вартості насіння, добрив і засобів захисту рослин. У межах цього розділу основна увага приділяється тим статтям, на які безпосередньо впливає проектне рішення: точність використання насіння, рівномірність сходів, потреба у ручному виправленні огріхів, додаткові витрати на пневматичну систему та можливість локального догляду за посівами.

За технологічною картою витрати дизельного пального для комплексу операцій на 100 га становлять 10388 л. За ціни 80.07 грн/л паливна складова дорівнює 831.8 тис. грн. Оплата праці при трудомісткості 594.6 люд.-год і розрахунковій ставці 100 грн/люд.-год становить 59.5 тис. грн. Додатково для укрупненої оцінки прийнято витрати на технічне обслуговування і ремонт у розмірі 25 % від вартості пального.

Таблиця 4.3 – Укрупнена оцінка машинно-тракторних витрат на 100 га

Стаття витрат	Методика визначення	Сума, грн
Пальне для комплексу технологічних операцій	10388 л × 80.07 грн/л	831 767
Оплата праці механізаторів і допоміжного персоналу	594.6 люд.-год × 100 грн/год	59 460
Технічне обслуговування і поточний ремонт	25 % від вартості пального	207 942
Разом машинно-тракторні витрати		1 099 169

Модернізована сівалка не зменшує кількість проходів агрегату, але підвищує якість виконання найбільш відповідальної операції. Для базового варіанта прийнято норму використання насіння 1,25 посівної одиниці на гектар,

що враховує страхову надбавку через нерівномірність механічного дозування. Для проектного варіанта прийнято 1,12 посівної одиниці на гектар. За розрахункової ціни 6800 грн за посівну одиницю економія насіння становить:

$$E_н = (1.25 - 1.12) \cdot 100 \cdot 6800 = 88\ 400 \text{ грн.}$$

Додатково враховано зменшення ручних робіт з контролю і виправлення нерівномірних ділянок, зниження кількості дрібних ремонтів висівних секцій та можливість локального внесення засобів захисту рослин за даними агродронів і штучного інтелекту. Додаткові витрати проектного варіанта пов’язані з роботою вентилятора, обслуговуванням пневмосистеми, перевіркою ущільнень і калібруванням датчиків.

4.4. Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект визначається як різниця між додатковим доходом і економією витрат, з одного боку, та додатковими експлуатаційними витратами, з іншого. Основна частина ефекту формується за рахунок підвищення польової схожості, кращого розміщення рослин у рядку та зменшення конкуренції між двійниками. У розрахунку прийнято, що модернізація забезпечує приріст урожайності на 3 %, тобто з 55,0 до 56.65 т/га.

Додатковий валовий збір становить: $\Delta Q = (56.65 - 55.00) \cdot 100 = 165$ т. За розрахункової ціни 2000 грн/т додатковий дохід дорівнює 330 000 грн.

Таблиця 4.4 – Формування річного економічного ефекту від проектного рішення

Складова ефекту	Розрахунок	Сума, грн
Додатковий дохід від приросту урожаю	165 т × 2000 грн/т	330 000
Економія посівного матеріалу	(1.25 - 1.12) од./га × 100 га × 6800 грн	88 400
Скорочення ручних робіт після сівби	0,9 люд.-год/га × 100 га × 100 грн/год	9 000
Економія на локальному застосуванні ЗЗР	5 % від 4200 грн/га × 100 га	21 000
Зменшення витрат на ремонт висівних апаратів	орієнтовно за сезон	20 000
Додаткове пальне на привід вентилятора	0.4 л/га × 100 га × 80.07 грн/л	-3 203
Додаткове обслуговування пневмосистеми	ущільнення, фільтри, контроль датчиків	-12 000
Річний економічний ефект		453 197

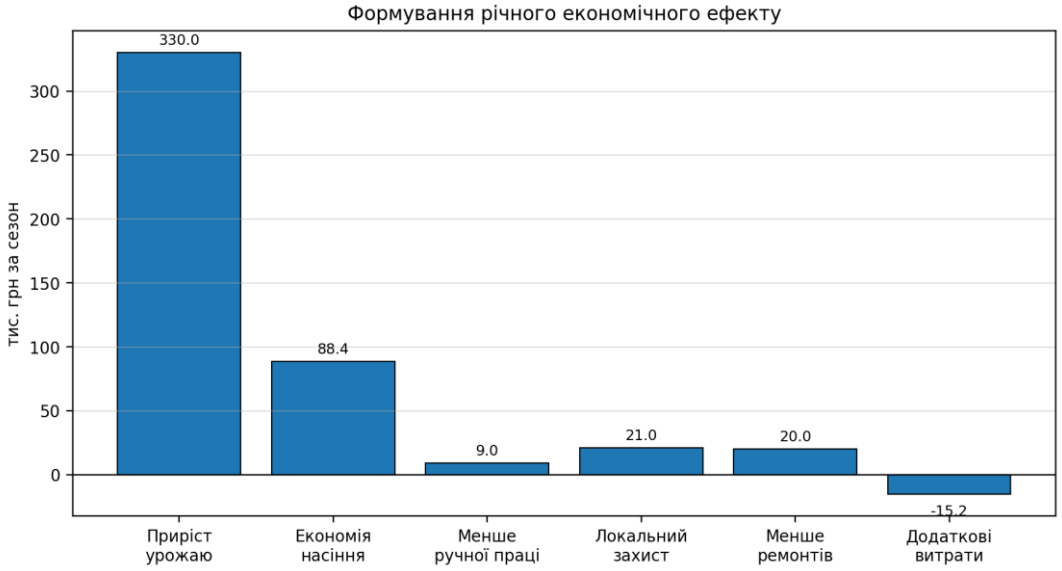


Рис. 4.2. Джерела річного економічного ефекту проектного рішення.

Розрахунок показує, що економія насіння є важливою, але не єдиною складовою результату. Найбільший вплив має приріст урожайності, оскільки навіть невелике покращення рівномірності густоти на площі 100 га забезпечує значний додатковий валовий збір. Саме тому висівний апарат необхідно оцінювати не тільки як окремий вузол сівалки, а як елемент технології точного формування густоти посіву.

4.5. Показники економічної ефективності та строк окупності

Для підсумкової оцінки визначено питомі інвестиції, річний економічний ефект, строк окупності та коефіцієнт економічної ефективності. Строк окупності показує, за який період додатковий дохід та економія витрат компенсують капітальні вкладення у модернізацію сівалки. Розрахунок виконано за формулами:

$$T_{ок} = К / E_р; \quad (4.1)$$

$$E_е = Ер / К \cdot 100\ \%, \quad (4.2)$$

де $T_{ок}$ – строк окупності, років; К – капітальні вкладення, грн; $E_р$ – річний економічний ефект, грн; $E_е$ – коефіцієнт економічної ефективності, %.

Таблиця 4.5 – Основні показники економічної ефективності

Показник	Значення	Одиниця
Капітальні вкладення у модернізацію	277 000	грн
Питомі капітальні вкладення	2 770	грн/га
Річний економічний ефект	453 197	грн/рік
Економічний ефект на 1 га	4 532	грн/га
Строк окупності	0.61	року
Коефіцієнт економічної ефективності	163.6	%

Отриманий строк окупності становить менше одного року, що свідчить про високу доцільність проектного рішення. Навіть за зниження фактичного приросту урожайності до 1-2 % модернізація залишається економічно виправданою, оскільки частина ефекту формується за рахунок прямого скорочення витрат насіння, ремонту та ручної праці.

Таблиця 4.6 – Чутливість строку окупності до приросту урожайності

Приріст урожайності, %	Річний ефект, тис. грн	Строк окупності, років
1	233.2	1.19
2	343.2	0.81
3	453.2	0.61
4	563.2	0.49
5	673.2	0.41

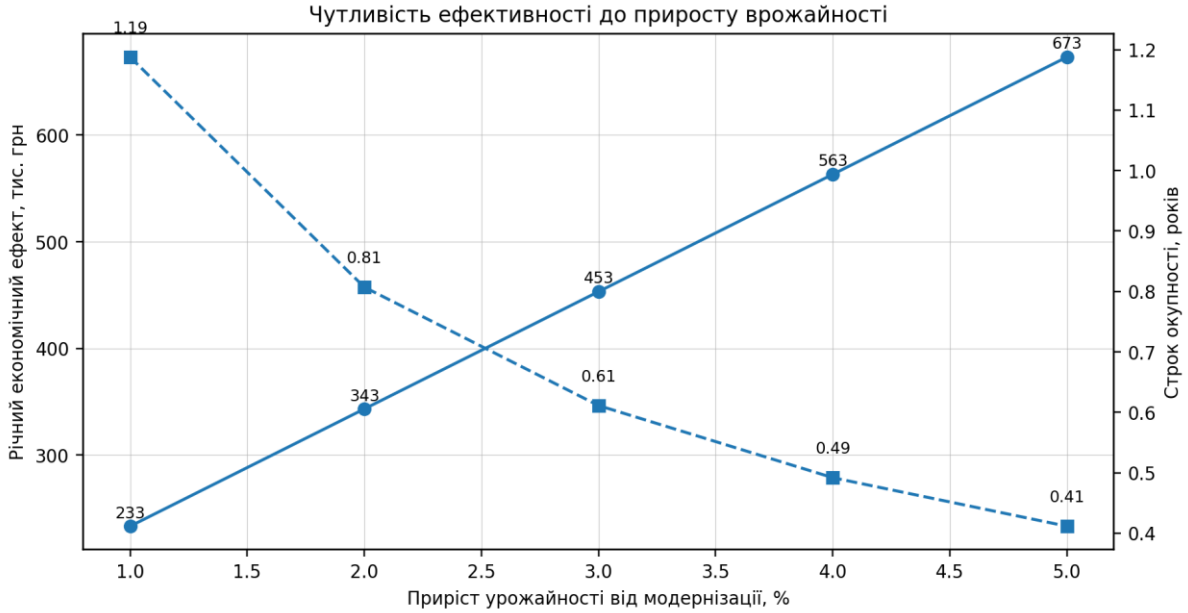


Рис. 4.3. Залежність економічного ефекту і строку окупності від приросту урожайності.

4.6. Узагальнення техніко-економічних переваг проекту

Модернізація сівалки ССТ-12В має комплексний техніко-економічний ефект. З технічної точки зору вона підвищує точність поштучного висіву, стабілізує норму висіву на різних швидкостях руху, зменшує кількість пропусків і двійників та полегшує контроль роботи секцій. З економічної точки зору проект дозволяє використати наявну матеріальну базу господарства, уникнути значних витрат на придбання нової сівалки та підвищити віддачу від уже наявного трактора ЮМЗ-6Л.

Додатковою перевагою є сумісність проектного рішення з елементами точного землеробства. Рівномірні рядки і стабільний інтервал між рослинами підвищують ефективність післясходової культивації, у тому числі із застосуванням роботів з RTK-навігацією та машинним зором. Дані агродронів можуть використовуватися для контролю густоти сходів, побудови карт неоднорідності посіву і призначення локальних обробок. Таким чином, модернізована сівалка стає не ізольованим вузлом, а частиною керованої цифрової технології вирощування цукрових буряків.

Найбільші ризики проекту пов’язані з якістю виготовлення перехідних деталей, герметичністю вакуумної системи, точністю налаштування скидачів зайвого насіння та регулярністю технічного обслуговування. Для зменшення цих ризиків потрібно перед початком польових робіт виконати стендову перевірку висівних апаратів, калібрування на насінні фактичної фракції, пробний висів на контрольній ділянці та оперативний контроль кількості пропусків і двійників у перші години роботи агрегату.

Висновки до розділу

У розділі виконано техніко-економічне обґрунтування модернізації сівалки точного висіву ССТ-12В для вирощування цукрових буряків на площі 100 га. Загальна вартість проектного рішення становить 277 000 грн або 2 770 грн/га. Основними статтями вкладень є пневматичні висівні модулі вакуумна система елементи приводу датчики контролю та монтажно-налагоджувальні

роботи. Річний економічний ефект від модернізації становить 453 197 грн що забезпечує строк окупності 0.61 року. Отже запропоноване удосконалення є економічно доцільним оскільки поєднує порівняно невеликі капітальні вкладення з підвищенням точності сівби економією посівного матеріалу та збільшенням урожайності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків із модернізацією сівалки точної сівби ССТ-12В. Актуальність теми зумовлена тим, що цукрові буряки залишаються однією з важливих технічних культур для аграрного виробництва України, однак ефективність їх вирощування значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій, точності сівби, раціонального використання техніки, зменшення витрат пального, праці та матеріальних ресурсів.

У першому розділі було проаналізовано існуючі технології вирощування цукрових буряків. Встановлено, що за останні роки площі посіву культури змінювалися під впливом економічних, організаційних, кліматичних і ринкових чинників. Вирощування цукрових буряків потребує високого рівня механізації, оскільки культура є вимогливою до якості основного й передпосівного обробітку ґрунту, точності розміщення насіння, своєчасного догляду за посівами та якісного збирання. Визначено, що основними напрямами розвитку технологій є застосування енергоощадних агрегатів, точного землеробства, агродронів, автоматизованих систем контролю, роботизованих машин для догляду за посівами та диференційованого внесення засобів захисту рослин.

У другому розділі було спроєктовано технологію вирощування цукрових буряків в умовах півдня Житомирської області. З урахуванням ґрунтово-кліматичних умов регіону підібрано комплекс машин для виконання основних технологічних операцій: основного обробітку ґрунту, передпосівної підготовки, сівби, внесення добрив, догляду за посівами, захисту рослин і збирання врожаю. Особливу увагу приділено операції сівби, яку запропоновано виконувати агрегатом у складі трактора ЮМЗ-6Л та удосконаленої сівалки ССТ-12В. Розроблена технологічна карта показала, що раціональний добір машин дає змогу забезпечити своєчасне виконання польових робіт, зменшити простої техніки та підвищити продуктивність механізованих операцій.

У конструктивному розділі обґрунтовано модернізацію висівного апарата сівалки ССТ-12В. Замість штатного механічного висівного апарата запропоновано використання пневматичного апарата точного висіву, який забезпечує більш рівномірне розміщення насіння в рядку, зменшує кількість пропусків і двійників, покращує польову схожість і створює кращі умови для подальшого механізованого догляду за посівами. Проведено розрахунок основних параметрів висівного диска, пневматичної системи та умов взаємного розміщення висівного апарата і сошника. Запропоноване рішення дає змогу модернізувати наявну сівалку без придбання нової дорогої машини, що є доцільним для господарств із обмеженими інвестиційними можливостями.

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень. Розрахунки показали, що модернізація сівалки точного висіву сприяє зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню якості сівби, економії насіннєвого матеріалу та зменшенню витрат на повторні технологічні операції. Порівняно з придбанням нової пневматичної сівалки, переобладнання наявної ССТ-12В потребує значно менших капітальних вкладень. Отриманий економічний ефект формується за рахунок зменшення витрат на насіння, підвищення продуктивності посівного агрегату, кращого використання робочого часу та очікуваного приросту врожайності завдяки рівномірнішому розміщенню рослин.

Отже, у роботі доведено доцільність удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків шляхом модернізації сівалки ССТ-12В. Запропонована технологія поєднує використання доступної техніки, сучасних підходів до точного землеробства, агродронів, роботизованих засобів догляду за посівами та економічно обґрунтованої модернізації посівного агрегату. Реалізація запропонованих рішень дозволить підвищити якість сівби, знизити виробничі витрати, покращити використання машинно-тракторного парку та забезпечити більш стабільне виробництво цукрових буряків в умовах півдня Житомирської області.

СПИСОК ВИКОРИТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К.В., Савченко В.М., Корнійчук Ю.М. Робототехнічні засоби в рослинництві. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–18 жовтня 2025 року). Київ. НУБІП України. С. 589-601.

2. Мельник С. І., Муляр О. Д., Кочубей М. Й., Іванцов П. Д. Технологія виробництва продукції рослинництва : навч. посіб. Ч. 1. Київ : Аграрна освіта, 2010. 282 с.

3. Мельник С. І., Муляр О. Д., Кочубей М. Й., Іванцов П. Д. Технологія виробництва продукції рослинництва : навч. посіб. Ч. 2. Київ : Аграрна освіта, 2010. 405 с.

4. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2015. 552 с.

5. Адамчук В. В., Грицишин М. І. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва. Київ : Аграрна наука, 2012. 416 с.

6. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур з різним ресурсним забезпеченням / за ред. Д. І. Мазоренка, Г. Є. Мазнєва. Харків : ХНТУСГ, 2006. 725 с.

7. Сенчук М. М. Механізація і автоматизація сільськогосподарського виробництва : навч.-метод. посіб. Біла Церква : БНАУ, 2010. 206 с.

8. Кириченко Р. В., Михайлов А. Д. Вивчення будови, функціонування і регулювань бурякової сівалки з механічним висівним апаратом : методичні вказівки до виконання практичної роботи. Харків : Державний біотехнологічний університет, 2024. 27 с.

9. Державна служба статистики України. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур : офіційна державна статистична інформація. Єдиний державний вебпортал відкритих даних. URL:

https://data.gov.ua/dataset/e1b16ae7-9ab0-45e8-99c4-4cce58f0e60c (дата звернення: 8.06.2026).

10. Державна служба статистики України. Про затвердження форм державного статистичного спостереження щодо площ, валових зборів та урожайності сільськогосподарських культур : наказ від 04.04.2024 № 91. Верховна Рада України : офіц. вебпортал. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/v0091832-24 (дата звернення: 8.06.2026).

11. Екологічний паспорт Житомирської області за 2024 рік. Управління екології та природних ресурсів Житомирської обласної військової адміністрації. URL: https://eprdep.zht.gov.ua/ecopasport%202024.pdf (дата звернення: 8.06.2026).

12. Стратегія розвитку Житомирської області на період до 2027 року. Житомирська обласна військова адміністрація. URL: https://oda.zht.gov.ua/wp-content/uploads/2025/04/Strategiya-rozvytku-ZHytomyrskoyi-oblasti-na-period-do-2027-roku.pdf (дата звернення: 8.06.2026).

13. Житомирська область належить до вологої, помірно теплої агрокліматичної зони. Управління екології та природних ресурсів Житомирської обласної військової адміністрації : веб-сайт. URL: https://eprdep.zht.gov.ua/rd_GRtROO_1-1.htm (дата звернення: 8.06.2026).

14. Сівалки бурякові ССТ-8В, ССТ-12В : технічна характеристика. Агротехніка України : веб-сайт. URL: https://www.agrotechnika-ukr.com.ua (дата звернення: 8.06.2026).

15. Технологія вирощування цукрових буряків. Радехівський цукор : веб-сайт. URL: https://radsugar.com/technology-beet (дата звернення: 8.06.2026).

16. Вирощування, рентабельність та схеми захисту цукрового буряку. Kurkul.com : веб-сайт. URL: https://kurkul.com/spetsproekty/1543-yak-virostiti-ta-skilki-mojna-zarobiti-na-tsukrovomu-buryaku--daydjest (дата звернення: 8.06.2026).

17. Вирощування цукрових буряків: захист, хвороби, етапи формування врожаю. SuperAgronom.com : веб-сайт. URL:

https://superagronom.com/articles/719-povernennya-tsukrovih-buryakiv-zgaduyemo-pro-pravilniy-zahist-naygirshi-hvorobi-ta-etapi-formuvannya-vrojayu (дата звернення: 8.06.2026).

18. Українські аграрії скоротили посівні площі під цукровим буряком. SuperAgronom.com : веб-сайт. URL: https://superagronom.com/news/20718-ukrayinski-agrariyi-skorotili-posivni-ploschi-pid-tsukrovim-buryakom (дата звернення: 8.06.2026).

19. Заєць М. Л. Модель роторного очисника коренеплодів цукрових буряків Наукові читання–2020: Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 23-26.

20. USDA Foreign Agricultural Service. Ukraine: Sugar Annual. Washington, 2025. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Sugar+Annual_Kyiv_Ukraine_UP2025-0015.pdf (accessed: 8.06.2026).

21. USDA Foreign Agricultural Service. Ukraine: Sugar Annual. Washington, 2026. URL: https://www.fas.usda.gov/data/gain/2026/05/ukraine-sugar-annual (accessed: 8.06.2026).

22. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: Crops and Livestock Products. URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (accessed: 8.06.2026).

23. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agricultural production statistics 2000–2023. FAO Knowledge Repository. URL: https://openknowledge.fao.org (accessed: 8.06.2026).

24. FarmDroid. FarmDroid FD20: Autonomous Farming Robot for Precision Agriculture. URL: https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/ (accessed: 8.06.2026).

25. AGCO Fendt. Fendt Xaver: Agronomy in the Smallest of Farmhands. URL: https://www.fendt.com/za/2-fendt-xaver (accessed: 8.06.2026).

26. AGCO Fendt. The Fendt Xaver GT – The Unmanned System. URL: https://www.fendt.com/int/world-premiere-the-fendt-xaver-gt-the-unmanned-system (accessed: 8.06.2026).

27. Agrawal J. et al. Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture. Drones. 2024. Vol. 8, No. 11. Article 664. DOI: 10.3390/drones8110664.

28. Maritan E., Spykman O., Lowenberg-DeBoer J., Behrendt K. An economic, environmental, and social analysis of autonomous mechanical weeding in sugar beet farming. Agronomy Journal. 2025. DOI: 10.1002/agj2.70246.

29. Milioto A., Lottes P., Stachniss C. Real-time Semantic Segmentation of Crop and Weed for Precision Agriculture Robots Leveraging Background Knowledge in CNNs. arXiv. 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1709.06764 (accessed: 18.06.2026).

30. Günder M., Ispizua Yamati F. R., Kierdorf J., Roscher R., Mahlein A.-K., Bauckhage C. Agricultural Plant Cataloging and Establishment of a Data Framework from UAV-based Crop Images by Computer Vision. arXiv. 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2201.02885 (accessed: 18.06.2026).

31. Ahmadi A., Halstead M., Smitt C., McCool C. BonnBot-I Plus: A Bio-diversity Aware Precise Weed Management Robotic Platform. arXiv. 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2405.09118 (accessed: 18.06.2026).

32. DroneUA and Syngenta: Agrodrones in Action. DroneUA : official website. URL: https://drone.ua/en/blogs/news/droneua-and-syngenta-agrodrones-in-action-digital-transformation-of-the-ukrainian-agricultural-sector (accessed: 18.06.2026).

33. 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.

34. Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies and Challenges. ResearchGate. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/385939070_Drones_in_Precision_Agricult

ure_A_Comprehensive_Review_of_Applications_Technologies_and_Challenges (accessed: 18.06.2026).