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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Мазур Максим Павлович

УДК 631.316.4:633.63

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Проєкт комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією культиватора 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 _____ Мазур М.П.

Керівник роботи
Дерев’янко Д.А.
доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Мазур Максим Павлович. Проєкт комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією культиватора для міжрядного обробітку. *– 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 проєктування комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією культиватора для міжрядного обробітку. Проаналізовано існуючі технології вирощування цукрових буряків, динаміку посівних площ у світі та Україні, а також сучасний стан механізації основних виробничих процесів. Обґрунтовано технологію вирощування цукрових буряків в умовах Лісостепу Житомирської області та розраховано технологічну карту для площі 200 га. Особливу увагу приділено виконанню міжрядного обробітку модернізованим культиватором-розрихлювачем-підживлювачем, який забезпечує розпушування ґрунту з одночасним внесенням добрив. У роботі враховано можливість використання агродрона для обприскування посівів та дрона зі штучним інтелектом для моніторингу стану поля. Виконано конструктивне обґрунтування робочого органу культиватора, розраховано його тяговий опір і проведено перевірку основних елементів на міцність. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень і визначено їх ефективність порівняно з базовою технологією. Запропонований комплекс машин сприяє підвищенню якості догляду за посівами, зменшенню експлуатаційних витрат і впровадженню елементів точного землеробства у виробництво цукрових буряків.

Ключові слова: цукрові буряки, комплекс машин, культиватор, міжрядний обробіток, розпушування ґрунту, підживлення рослин, точне землеробство.

ANNOTATION

Maksym Pavlovych Mazur. Design of a range of machinery for sugar beet cultivation, including the modernisation of a cultivator 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, 2026.

This thesis examines the design of a range of machinery for sugar beet cultivation, including the modernisation of a cultivator for inter-row cultivation. It analyses existing sugar beet cultivation technologies, trends in sown areas worldwide and in Ukraine, as well as the current state of mechanisation of key production processes. It justifies the technology for growing sugar beet in the forest-steppe conditions of the Zhytomyr region and calculates a technological map for an area of 200 ha. Particular attention is paid to inter-row cultivation using a modernised cultivator-loosen-fertiliser, which ensures soil loosening with simultaneous fertiliser application. The study considers the possibility of using an agricultural drone for crop spraying and a drone equipped with artificial intelligence for monitoring field conditions. A design justification for the cultivator’s working body has been carried out, its traction resistance has been calculated, and the main components have been tested for strength. A technical and economic justification of the proposed solutions has been carried out, and their effectiveness has been determined in comparison with the baseline technology. The proposed machine complex contributes to improving the quality of crop care, reducing operating costs and introducing elements of precision farming into sugar beet production.

Keywords: sugar beet, machine complex, cultivator, inter-row cultivation, soil loosening, plant fertilisation, precision farming.

ЗМІСТ

ВСТУП……6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ……..10
1.1. Значення культури та загальна характеристика виробництва……..…..10
1.2. Аналіз існуючих технологій вирощування…….……11
1.3. Стан механізації процесу вирощування…….……..13
1.4. Перспективи впровадження роботизації у вирощування цукрових буряків……...…….14
Висновки до розділу……..15
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ……17
2.1. Вихідні умови проектування технології…….…..17
2.2. Обґрунтування технологічної схеми вирощування……...……..18
2.3. Розрахунок матеріальних потреб для площі 200 га…….20
2.4. Методика розрахунку технологічної карти……..21
2.5. Аналіз завантаження машин та енергетичних витрат……...……..22
2.6. Включення агродрона та дрона з вбудованим штучним інтелектом……25
2.7. Організація виконання робіт на площі 200 га…….…….26
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА РОБОЧОГО ОРГАНУ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ…….…28
3.1 Обґрунтування необхідності модернізації та формування вимог до робочого органу…….28
3.2 Визначення та обґрунтування конструктивних параметрів робочого органу……...…30
3.3 Розрахунок тягового опору модернізованого робочого органу……..….32
3.4 Перевірка міцності стійки робочого органу……...…..34
3.5 Розрахунок болтового з’єднання на зріз……36
Висновки по розділу……..37
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……...…39

4.1. Завдання та методика техніко-економічної оцінки……..……39
4.2. Обґрунтування витрат на модернізацію культиватора……..……..40
4.3. Порівняння експлуатаційних показників базової та проектної технології……42
4.4. Розрахунок річних експлуатаційних витрат…….……43
4.5. Визначення додаткового доходу від підвищення урожайності……..45
4.6. Розрахунок річного економічного ефекту та строку окупності…….45
4.7. Оцінка ризиків і організаційні умови впровадження……..……46
Висновки по розділу……...…47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……...……48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……50

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Цукрові буряки є однією з найважливіших технічних культур в агропромисловому комплексі України. Вони виступають основною сировиною для виробництва цукру, а також мають важливе значення для формування кормової бази, підвищення культури землеробства та ефективного використання орних земель. Вирощування цукрових буряків належить до найбільш технологічно складних процесів у рослинництві, оскільки потребує високої якості підготовки ґрунту, точного висіву насіння, своєчасного догляду за посівами, ефективного захисту рослин, раціонального внесення добрив і якісного збирання врожаю.

У сучасних умовах ефективність виробництва цукрових буряків значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів. Зростання вартості пального, мінеральних добрив, засобів захисту рослин, запасних частин і технічного обслуговування вимагає від сільськогосподарських підприємств раціонального використання машинно-тракторного парку. Особливо важливим є правильний добір комплексу машин, який дає змогу виконувати всі технологічні операції в оптимальні агротехнічні строки, зменшувати витрати праці та пального, запобігати надмірному ущільненню ґрунту й забезпечувати стабільну врожайність культури.

Однією з відповідальних операцій у технології вирощування цукрових буряків є міжрядний обробіток. Його значення полягає не лише у знищенні бур’янів, а й у поліпшенні водно-повітряного режиму ґрунту, руйнуванні ґрунтової кірки, збереженні вологи та створенні сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин. В умовах Лісостепу Житомирської області, де ґрунтово-кліматичні умови можуть характеризуватися нерівномірним зволоженням, ущільненням орного шару та значним рівнем

забур’яненості, якісний міжрядний обробіток має особливо важливе значення.

Серійні культиватори для міжрядного обробітку не завжди повною мірою забезпечують виконання сучасних агротехнічних вимог. Зокрема, існуючі робочі органи можуть мати недостатню ефективність розпушування ущільненого шару ґрунту, обмежені можливості локального внесення добрив, підвищений тяговий опір або недостатню якість роботи на різних типах ґрунтів. Тому актуальним є удосконалення конструкції культиватора шляхом розроблення робочого органу, який забезпечує міжрядне розпушування ґрунту з одночасним підживленням рослин. Таке технічне рішення дозволяє поєднати кілька технологічних операцій за один прохід агрегату, зменшити витрати пального, скоротити кількість проходів техніки полем і знизити негативний вплив машин на структуру ґрунту.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення ефективності механізованого вирощування цукрових буряків шляхом проєктування раціонального комплексу машин та модернізації культиватора для міжрядного обробітку. Запропоновані рішення спрямовані на покращення якості догляду за посівами, підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів, зменшення експлуатаційних витрат і забезпечення стабільного розвитку рослин упродовж вегетаційного періоду.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення проєкту комплексу машин для вирощування цукрових буряків в умовах Лісостепу Житомирської області з модернізацією культиватора для міжрядного обробітку, що забезпечує підвищення якості розпушування ґрунту та можливість одночасного підживлення рослин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати існуючі технології вирощування цукрових буряків та сучасний стан механізації основних технологічних процесів;

– розглянути динаміку посівних площ цукрових буряків у світі та Україні, а також основні тенденції розвитку галузі;

– обґрунтувати технологію вирощування цукрових буряків для умов Лісостепу Житомирської області;

– розрахувати технологічну карту вирощування цукрових буряків на площі 200 га;

– підібрати раціональний комплекс машин для виконання основних польових операцій;

– обґрунтувати доцільність використання модернізованого культиватора-розрихлювача-підживлювача для міжрядного обробітку;

– виконати конструктивну розробку робочого органу культиватора та провести основні інженерні розрахунки;

– оцінити можливість використання агродронів для обприскування посівів і дронів зі штучним інтелектом для моніторингу стану поля;

– провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих проєктних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес механізованого вирощування цукрових буряків.

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування цукрових буряків та конструктивно-технологічні параметри модернізованого культиватора для міжрядного обробітку.

У роботі використано методи аналізу існуючих технологій вирощування сільськогосподарських культур, порівняння машинно-тракторних агрегатів, технологічного розрахунку польових робіт, інженерного розрахунку робочих органів ґрунтообробних машин, а також методи техніко-економічного оцінювання ефективності прийнятих рішень.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. 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. https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/derevjanko_26.pdf (дата звернення 02.06.2026).

2. Дерев’янко Д.А., Мазур М.П., Михалочкін Н.А., Хоменко С.М., Максімов В.М. Оптимізація системи машин для виконання основних польових робіт. 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. 115-118.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований комплекс машин і модернізований культиватор можуть бути використані в сільськогосподарських підприємствах для підвищення ефективності вирощування цукрових буряків. Використання культиватора-розрихлювача-підживлювача дає змогу поєднати міжрядне розпушування ґрунту з локальним внесенням добрив, що сприяє кращому розвитку рослин, зниженню витрат на виконання технологічних операцій і раціональнішому використанню матеріальних ресурсів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 42 найменування. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок комп’ютерного тексту, містить 13 рисунків, 12 таблиць та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

1.1. Значення культури та загальна характеристика виробництва

Цукровий буряк є однією з головних технічних культур помірної кліматичної зони. Його вирощують для одержання коренеплодів із високим вмістом сахарози, які надалі переробляють на цукор, жом, мелясу та інші побічні продукти. Для України ця культура має не лише агрономічне, а й промислове значення, оскільки ефективність буряківництва безпосередньо пов’язана з роботою цукрових заводів, логістикою сировини і завантаженням переробних потужностей.

Особливістю технології вирощування цукрових буряків є висока вимогливість до структури орного шару, рівномірності посіву, якості міжрядного обробітку та своєчасного захисту рослин. Культура формує основну частину врожаю у ґрунті, тому надмірне ущільнення, нерівномірне загортання насіння або пошкодження рослин під час культивації швидко знижують урожайність. Саме тому комплекс машин повинен забезпечувати не лише високу продуктивність, а й точність виконання операцій у рядку та міжрядді.

Світове виробництво цукрових буряків зосереджене переважно у країнах Європи, Північної Америки та частково Азії. На відміну від цукрової тростини, буряк потребує коротшого вегетаційного періоду, високої культури землеробства і механізованого виконання практично всіх робіт. За даними FAOSTAT, глобальна статистика охоплює площі збирання, урожайність та валовий збір культури, а FAO вказує, що дані виробничого домену оновлені до 2024 року.

Таблиця 1.1 – Динаміка площ під цукровими буряками у світі та Україні

Рік	Світ, млн га	Україна, тис. га	Україна до 2014 р., %
2014	4.83	330.2	100.0
2015	4.58	238.9	72.4
2016	4.52	291.0	88.1
2017	4.61	316.4	95.8
2018	4.45	276.0	83.6
2019	4.36	220.0	66.6
2020	4.22	218.6	66.2
2021	4.28	212.6	64.4
2022	4.17	180.9	54.8
2023	4.30	250.0	75.7
2024	4.55	254.0	76.9

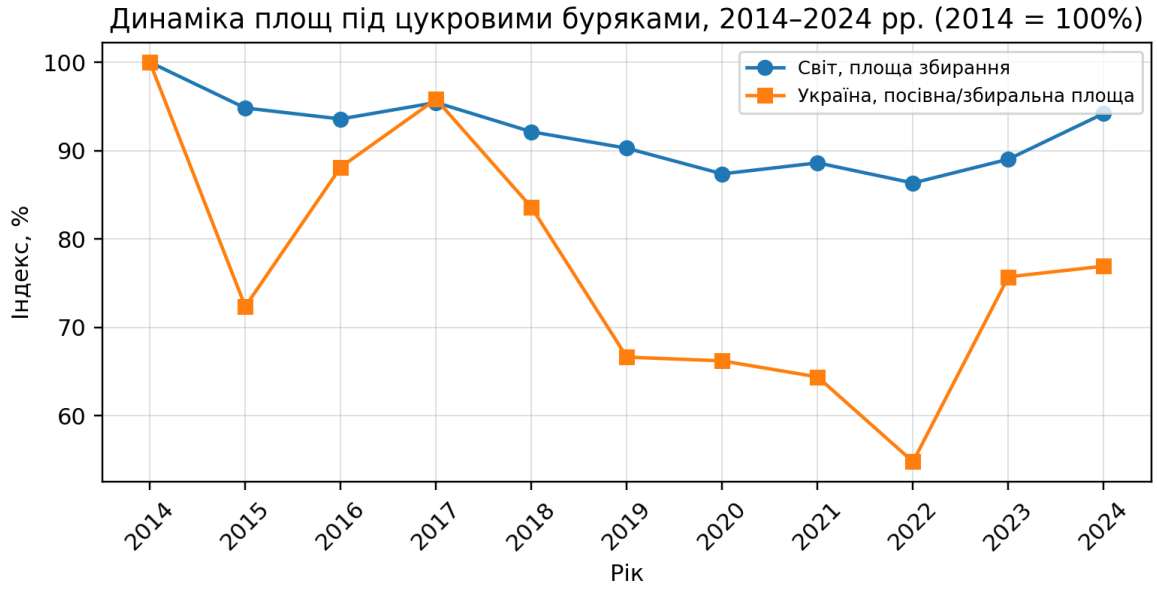


Рис. 1.1. Індексна динаміка площ під цукровими буряками у світі та Україні

1.2. Аналіз існуючих технологій вирощування

Існуючі технології вирощування цукрових буряків можна умовно поділити на традиційну інтенсивну, ресурсозберігальну та точну технології.

Традиційна технологія передбачає основний обробіток ґрунту з оранкою або глибоким розпушуванням, передпосівне вирівнювання поверхні поля, точний висів, декілька міжрядних обробітків, хімічний захист та комбайнове збирання. Вона забезпечує стабільність виконання операцій, проте характеризується значною енергоємністю і потребою у великій кількості проходів агрегатів.

Ресурсозберігальна технологія спрямована на скорочення кількості проходів, збереження вологи та зменшення ущільнення ґрунту. Для цього застосовують комбіновані агрегати, культиватори-глибокорозпушувачі, локальне внесення добрив, мінімальний або смуговий обробіток. У цій системі особливого значення набуває міжрядний культиватор, оскільки він одночасно може виконувати розпушування, руйнування ґрунтової кірки, підрізання бур’янів і локальне підживлення рослин.

Точна технологія ґрунтується на використанні GPS/RTK-навігації, карт урожайності, диференційованого внесення добрив, автоматичного водіння агрегату та сенсорного контролю стану посівів. Вона не скасовує потребу у механічних робочих органах, але суттєво підвищує вимоги до їхньої точності. Модернізація культиватора для міжрядного обробітку повинна враховувати можливість стабільної роботи в захисній зоні рядка, мінімальне травмування рослин і сумісність із системами локального внесення добрив.

Таблиця 1.2 – Комплекс машин для основних технологічних операцій вирощування цукрових буряків

Операція	Типові машини	Технологічна мета
Основний обробіток ґрунту	Плуг, чизельний глибокорозпушувач, комбінований агрегат	Створення пухкого орного шару, збереження вологи, знищення бур’янів
Передпосівна підготовка	Компактор, вирівнювач, передпосівний культиватор	Формування дрібногрудочкуватого посівного ложа
Сівба	Пневматична сівалка точного висіву	Рівномірна глибина загортання і точне розміщення насіння
Догляд за посівами	Культиватор для міжрядного обробітку, підживлювач, обприскувач	Розпушування міжрядь, боротьба з бур’янами, внесення добрив
Збирання	Бурякозбиральний комбайн, навантажувач, транспортні засоби	Обрізування гички, викопування, очищення і транспортування коренеплодів

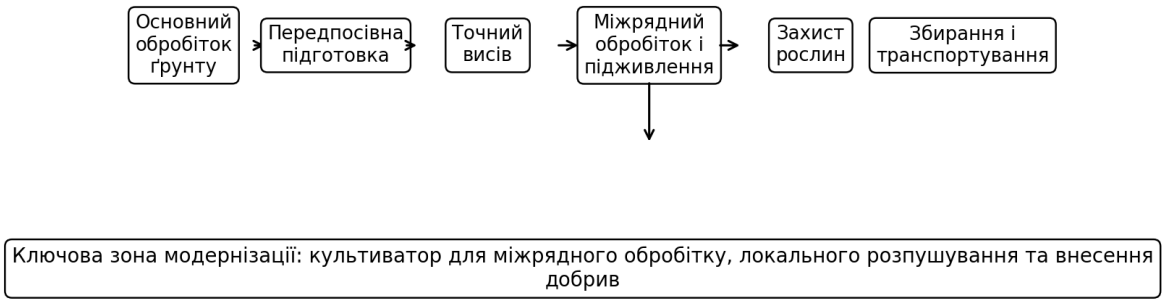


Рис. 1.2. Узагальнена схема технологічного процесу вирощування цукрових буряків

1.3. Стан механізації процесу вирощування

Вирощування цукрових буряків належить до найбільш механізованих напрямів рослинництва. Практично всі основні операції - обробіток ґрунту, сівба, догляд, захист і збирання - можуть виконуватися машинними агрегатами. Водночас рівень механізації не є однаковим для всіх операцій. Найбільш технологічно складними залишаються точний міжрядний обробіток у ранні фази розвитку рослин, механічна боротьба з бур’янами в захисній зоні рядка та локальне внесення добрив без пошкодження кореневої системи.

Сучасні господарства використовують широкозахватні агрегати, пневматичні сівалки точного висіву, самохідні обприскувачі, бурякозбиральні комбайни, навігаційні системи та причіпні перевантажувачі. У великих інтегрованих підприємствах цей комплекс дає змогу виконувати роботи у стислі агротехнічні строки. За даними USDA FAS, близько 88 % площі виробництва цукрових буряків в Україні припадає на сільськогосподарські підприємства, що пояснює високий попит на продуктивну й надійну техніку.

Однак міжрядний обробіток часто виконується за умов нерівномірної поверхні поля, змінної вологості, наявності рослинних решток і різного розвитку рослин у рядку. Недостатня точність культиватора призводить до двох основних проблем: залишення бур'янів у захисній зоні або пошкодження культурних рослин. Тому модернізація робочих органів культиватора повинна бути спрямована на підвищення стабільності глибини ходу, зменшення тягового опору, забезпечення кращого кришення ґрунту та можливість одночасного підживлення.

Таблиця 1.3 – Оцінка стану механізації основних процесів вирощування цукрових буряків

Процес	Рівень механізації	Проблеми та резерви підвищення ефективності
Обробіток ґрунту	Високий	Комбіновані агрегати скорочують кількість проходів, але потребують потужних тракторів
Сівба	Високий	Пневматичні сівалки забезпечують точність, проте потребують якісного посівного ложа
Міжрядний обробіток	Середній/високий	Ефективність залежить від точності водіння, конструкції лап і захисних елементів
Внесення добрив	Середній	Перспективним є локальне внесення у міжряддя та диференційовані норми
Захист рослин	Високий	Поширені обприскувачі, але актуальне зменшення хімічного навантаження
Збирання	Високий	Самохідні комбайни продуктивні, але дорогі й потребують сервісної підтримки

1.4. Перспективи впровадження роботизації у вирощування цукрових буряків

Роботизація у буряківництві розвивається насамперед у напрямі точного висіву, автоматичного водіння, міжрядного та внутрішньорядного прополювання, вибіркового внесення препаратів і моніторингу стану рослин. Для цукрових буряків це особливо актуально, оскільки культура висівається рядковим способом із чітко визначеною шириною міжрядь, а ранні фази росту потребують високої точності догляду.

Одним із прикладів роботизованого підходу є польові роботи, які під час сівби фіксують координати кожної насінини за допомогою RTK-навігації, а потім виконують механічне прополювання між рядками та між рослинами. Така концепція зменшує залежність від гербіцидів і дозволяє починати обробіток ще до повного візуального розпізнавання рослин. Інший напрям пов’язаний із камерними системами автоматичного ведення культиватора, які розпізнають рядок і коригують положення робочих секцій у реальному часі.

Для українських господарств повна роботизація поки що стримується вартістю обладнання, потребою у сервісній інфраструктурі, складністю роботи на великих площах і різноманітністю ґрунтово-кліматичних умов. Проте окремі елементи роботизації вже можуть бути впроваджені без повної заміни машинного парку. До них належать автопілоти, RTK-корекція, камери рядкового ведення, датчики глибини, секційне відключення подачі добрив і електронний контроль висіву.

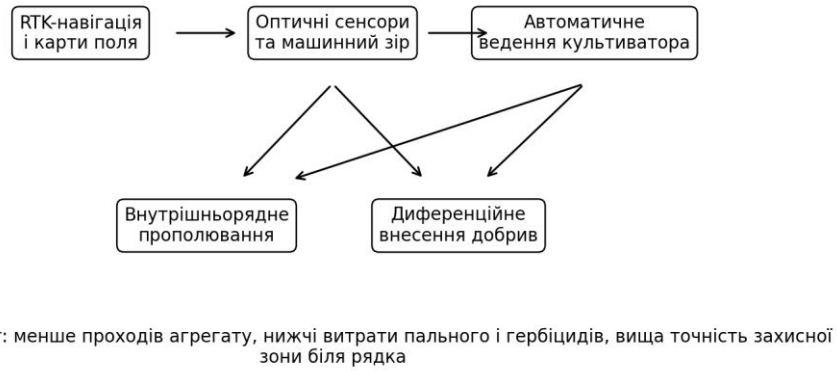


Рис. 1.3. Напрями роботизації технології вирощування цукрових буряків

Висновки до розділу

Аналіз існуючих технологій вирощування цукрових буряків показує, що ефективність виробництва визначається узгодженою роботою всього комплексу машин: від основного обробітку ґрунту до збирання. Найбільш відповідальними є операції точного висіву і догляду за посівами, оскільки

саме вони формують рівномірність густоти стояння рослин, умови живлення та конкуренцію з бур’янами.

Світові площі під цукровими буряками змінюються відносно помірно, тоді як в Україні спостерігаються значніші коливання, пов’язані з економічною ситуацією, переробною інфраструктурою, експортними можливостями та воєнними ризиками. Водночас буряківництво залишається важливим напрямом для регіонів, де є цукрові заводи і сформована система логістики сировини.

Стан механізації галузі загалом високий, але міжрядний обробіток залишається однією з операцій із найбільшим резервом удосконалення. Модернізація культиватора повинна бути спрямована на підвищення якості розпушування, точності руху робочих органів у міжряддях, зменшення пошкодження рослин, можливість локального внесення добрив і сумісність із елементами точного землеробства.

РОЗДІЛ 2
ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Вихідні умови проектування технології

Цукрові буряки належать до культур інтенсивного типу, тому результат їх вирощування значною мірою визначається узгодженістю всіх технологічних операцій: від основного обробітку ґрунту і формування насіннєвого ложа до догляду за посівами, підживлення, захисту рослин та збирання. Для умов Лісостепу Житомирської області технологія повинна забезпечувати накопичення і збереження вологи, якісне розпушення орного шару, точне висівання насіння, своєчасний міжрядний обробіток та мінімізацію ущільнення ґрунту важкими агрегатами.

Проектована технологія розроблена для площі 200 га. За попередник прийнято озиму пшеницю, що дає змогу своєчасно провести лущення стерні, основне внесення добрив і глибокий осінній обробіток. Головна особливість проекту полягає у включенні до комплексу машин модернізованого культиватора-розрихлювача-підживлювача, який виконує міжрядне розпушення ґрунту з одночасним локальним внесенням рідкого підживлення. Додатково передбачено використання агродрона для обприскування та безпілотного літального апарата з вбудованим штучним інтелектом для моніторингу стану посівів.

У розрахунках прийнято, що господарство працює за інтенсивною технологією, має доступ до тракторів класу 1,4-3,0, широкозахватних ґрунтообробних машин, пунктирної сівалки, модернізованого культиватора для міжрядного обробітку, агродрона та бурякозбирального комбайна. Розрахункові норми продуктивності, витрат палива та строків виконання операцій прийнято як типові для польових умов середньої складності; під час виробничого застосування вони уточнюються за фактичним станом ґрунту, рельєфом поля, забур’яненістю, вологістю та технічним станом машин.

Таблиця 2.1 – Вихідні проектні показники технології вирощування цукрових буряків

Показник	Прийняте значення	Пояснення для розрахунку
Площа посіву	200 га	єдиний масив або кілька полів у межах одного виробничого підрозділу
Зона вирощування	Лісостеп Житомирської області	достатнє зволоження, підвищена вимога до структури ґрунту і строків робіт
Попередник	озима пшениця	дає можливість рано звільнити поле і підготувати зяб
Міжряддя	45 см	поширена схема для бурякових сівалок і культиваторів
Розрахункова густота	100-110 тис. рослин/га	орієнтир для інтенсивної технології
Планова врожайність	55 т/га	для визначення обсягів збирання і транспортування
Валовий збір	11 000 т	200 га × 55 т/га
Ключова модернізована машина	культиватор-розрихлювач-підживлювач 5,4 м	міжрядне розпушення та локальне внесення рідкого підживлення
Цифрові засоби	агродрон та дрон з ШІ	моніторинг, карти-завдання, локальне обприскування

2.2. Обґрунтування технологічної схеми вирощування

Технологічна схема вирощування цукрових буряків у проекті побудована за принципом поєднання традиційних механізованих операцій із елементами точного землеробства. Основний обробіток ґрунту передбачає лущення стерні, внесення добрив, глибоке рихлення або оранку та вирівнювання поверхні поля. Така послідовність забезпечує накопичення вологи, заробляння пожнивних решток, руйнування ущільненого прошарку та створення умов для рівномірного розвитку коренеплодів.

Весняний блок робіт має бути максимально стислим у часі. Ранньовесняне боронування закриває вологу, а передпосівна культивація виконується на глибину загортання насіння, щоб уникнути пересушування посівного шару. Для цукрових буряків особливо важливо не допускати надмірної кількості проходів агрегатів, оскільки ущільнення ґрунту у фазі

формування кореня знижує продуктивність рослин і збільшує втрати під час збирання.

Після появи сходів технологія переходить у фазу активного догляду. На цій стадії поєднуються механічний міжрядний обробіток, локальне підживлення, агродронне обприскування та цифровий моніторинг. Розроблений культиватор-розрихлювач-підживлювач використовується у другому міжрядному обробітку, коли коренева система вже достатньо сформована, а міжряддя дозволяють працювати без пошкодження рослин. Розпушувальні органи поліпшують повітряний режим ґрунту, руйнують ущільнення у міжряддях, а система підживлення подає рідкі добрива безпосередньо в зону активного живлення.

Використання агродрона розглядається як доповнення до традиційного обприскувача. Його доцільно застосовувати на перезволожених ділянках, у зонах із плямистим поширенням бур’янів або шкідників, а також для оперативного локального внесення препаратів за картами-завданнями. Усі операції із засобами захисту рослин повинні виконуватися лише сертифікованими препаратами, згідно з етикеткою, регламентами безпеки та погодними обмеженнями; у цьому розділі наведено технологічну схему без деталізації небезпечних речовин і способів їх приготування.

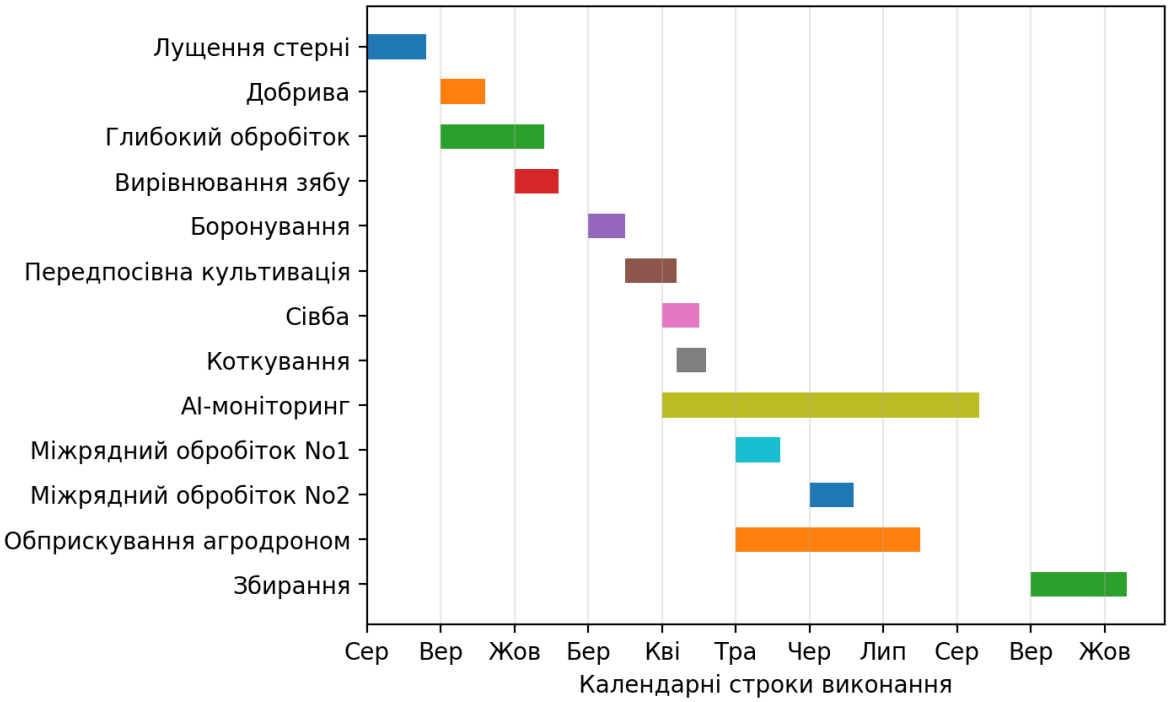


Рис. 2.1. Календарне розміщення основних технологічних операцій

2.3. Розрахунок матеріальних потреб для площі 200 га

Матеріальна потреба визначається за площею посіву, прийнятими нормами внесення і плановою врожайністю. Для технологічного проектування важливо не тільки встановити загальну кількість матеріалів, а й пов’язати їх із конкретними операціями технологічної карти. Насіння використовується під час пунктирної сівби, основні добрива вносяться восени або частково навесні, рідке підживлення подається через модернізований культиватор, а робочий розчин для агродрона планується окремо, з урахуванням малооб’ємного внесення.

Таблиця 2.2 – Орієнтовна потреба у матеріалах для вирощування цукрових буряків на площі 200 га

Матеріал або ресурс	Норма на 1 га	Площа/обсяг	Загальна потреба	Призначення
Насіння дражоване	1,2 посівної одиниці/га	200 га	240 посівних одиниць	точна сівба з міжряддям 45 см
Мінеральні добрива	450 кг/га у фізичній масі	200 га	90 т	основне і стартове живлення

Продовження таблиці 2.1

Рідке підживлення	120 л/га	200 га	24 м³	локальне внесення культиватором-розрихлювачем-підживлювачем
Робочий розчин для агродрона	20 л/га	200 га	4 м³	оперативне обприскування за картами-завданнями
Дизельне паливо та енергія	133,2 л-екв./га	200 га	26,64 тис. л-екв.	виконання всього комплексу польових робіт
Коренеплоди для транспортування	55 т/га	200 га	11 000 т	плановий валовий збір

2.4. Методика розрахунку технологічної карти

Технологічна карта є основним розрахунковим документом, що поєднує послідовність операцій, склад машинно-тракторних агрегатів, строки виконання, продуктивність, потребу в робочому часі, паливі та праці. Для машин із захватом розрахункова годинна продуктивність визначалась за формулою: $W = B \times v \times \eta / 10$, де W – продуктивність, га/год; B – робоча ширина захвату, м; v – робоча швидкість, км/год; η – коефіцієнт використання робочого часу зміни. Для операцій, у яких продуктивність задається не шириною захвату, а паспортним або організаційним показником, продуктивність прийнята безпосередньо у га/год або т/год.

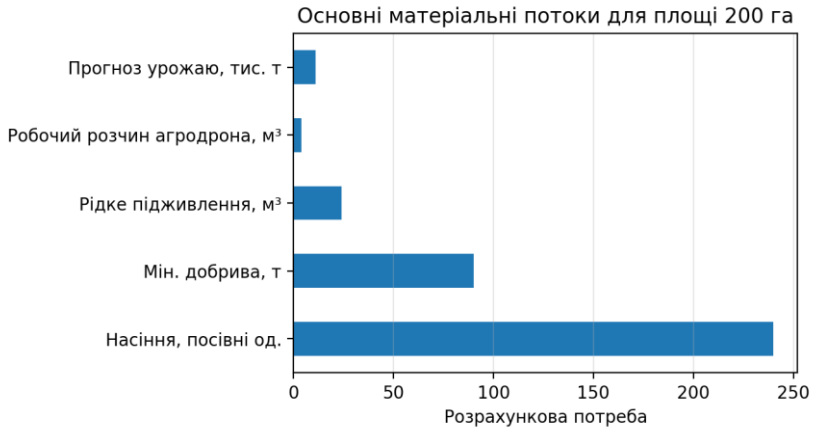


Рис. 2.2. Основні матеріальні потоки проектованої технології

Затрати часу визначалися за формулою $T = F / W$, де F – обсяг робіт у гектарах, га-обльотах або тоннах. Витрати палива чи енергетичного

еквівалента розраховані як G = q×F, де q - питома витрата на одиницю роботи. Такий підхід дозволяє порівняти між собою традиційні механізовані операції, роботу агродрона, цифровий моніторинг і транспортні процеси.

Для модернізованого культиватора-розрихлювача-підживлювача прийнято ширину захвату 5,4 м, що відповідає 12 рядкам з міжряддям 45 см. У другому міжрядному обробітку швидкість зменшено до 5,5 км/год, оскільки одночасно виконуються глибше розпушення та локальне внесення рідкого підживлення. Розрахункова продуктивність агрегату становить 2,14 га/год, а тривалість виконання операції на площі 200 га - близько 93,5 год. Це означає, що за 10-годинної робочої зміни один агрегат може завершити операцію приблизно за 10 змін, або за 5-6 календарних днів при двозмінній організації роботи. Підсумок за технологічною картою: загальна потреба у машинному часі становить 1194,0 год, паливно-енергетичні витрати – 26,64 тис. л-екв., а сукупні затрати праці з урахуванням транспортних робіт – 1560,7 люд.-год. Найбільше навантаження припадає на збирання і транспортування, що пояснюється високим валовим збором коренеплодів. У період догляду за посівами основну частку часу формують міжрядні обробітки та агродронні операції.

2.5. Аналіз завантаження машин та енергетичних витрат

Аналіз технологічної карти показує, що загальна структура витрат часу є нерівномірною протягом сезону. Осінній блок робіт вимагає значної тягової потужності та палива, але має достатньо розтягнуті календарні строки. Найбільш критичними є весняний період сівби та період догляду за посівами, коли запізнення навіть на кілька діб може призвести до втрати вологи, переростання бур’янів або пошкодження рослин. Тому для площі 200 га доцільно мати не менше одного резервного трактора класу 1,4 для догляду за посівами та забезпечити готовність культиватора до роботи до початку фази 2-4 пар листків.

Таблиця 2.3 – Розрахункова технологічна карта вирощування цукрових буряків на площі 200 га

№	Операція	Строк	Агрегат / засіб	Обсяг	W, га(т)/год	T, год	q	G, л-екв.	Праця, люд.-год
1	Лущення стерні після попередника	серпень	Трактор 120-150 к.с. + дискова борона 6,0 м	200 га	4.68	42.7	7.50	1500	42.7
2	Внесення основних мінеральних добрив	вересень	Трактор 80-100 к.с. + розкидач 18 м	200 га	12.60	15.9	2.50	500	15.9
3	Глибоке рихлення/оранка на 28-30 см	вересень-жовтень	Трактор 180-220 к.с. + чизель/плуг 4,0 м	200 га	2.02	99.2	20.00	4000	99.2
4	Вирівнювання зябу комбінованим агрегатом	жовтень	Трактор 150 к.с. + культиватор 6,0 м	200 га	4.05	49.4	6.00	1200	49.4
5	Ранньовесняне боронування	березень	Трактор 80-100 к.с. + зчіпка борін 12 м	200 га	9.60	20.8	3.00	600	20.8
6	Передпосівна культивація на 3-4 см	березень-квітень	Трактор 120 к.с. + компактор 6,0 м	200 га	3.84	52.1	6.50	1300	52.1
7	Сівба пунктирна з одночасним прикочуванням	квітень	Трактор 80-100 к.с. + сівалка 12x45 см	200 га	2.33	85.7	5.00	1000	85.7
8	Післяпосівне коткування	квітень	Трактор 80 к.с. + котки 6,0 м	200 га	4.68	42.7	3.00	600	42.7
9	AI-моніторинг посівів дроном, 5 обльотів	квітень-серпень	Дрон із камерою RGB/NDVI та бортовим ШІ	1000 га-обліт	70.00	14.3	0.15	150	14.3
10	Міжрядний обробіток No1	травень	Т-70С/МТЗ-82 + культиватор 5,4 м	200 га	2.43	82.3	6.00	1200	82.3
11	Міжрядний обробіток No2 з підживленням	червень	Т-70С + культиватор-розрихлювач-підживлювач 5,4 м	200 га	2.14	93.5	8.00	1600	93.5
12	Обприскування агродроном за картами-завданнями	травень-липень	Агродрон-обприскувач, норма виливу 20 л/га	200 га	10.00	20.0	0.60	120	20.0
13	Контрольний наземний огляд і коригування карт	травень-серпень	Агроном + планшет з GIS-додатком	200 га	50.00	4.0	0.10	20	4.0
14	Скошування гички/дефоліація	вересень-жовтень	Трактор 150 к.с. + гичкозбиральна машина 6 рядків	200 га	1.13	176.4	10.00	2000	176.4
15	Викопування та навантаження коренеплодів	вересень-жовтень	Самохідний бурякозбиральний комбайн 6 рядків	200 га	0.94	211.6	35.00	7000	211.6
16	Транспортування коренеплодів до кагатного майданчика	вересень-жовтень	Автомобілі/тракторні причепи, 20 т	11000 т	60.00	183.3	0.35	3850	550.0

Модернізований культиватор-розрихлювач-підживлювач є ключовою машиною у фазі догляду. Його технологічна перевага полягає в тому, що один прохід замінює дві окремі операції: міжрядне розпушення і локальне внесення рідкого підживлення. За рахунок цього зменшується кількість проходів по полю, скорочується ущільнення ґрунту, а поживні речовини розміщуються ближче до активної зони кореневої системи. У конструктивному розділі доцільно деталізувати робочі органи, які забезпечують стабільну глибину розпушення, мінімальний тяговий опір і рівномірну подачу рідини.

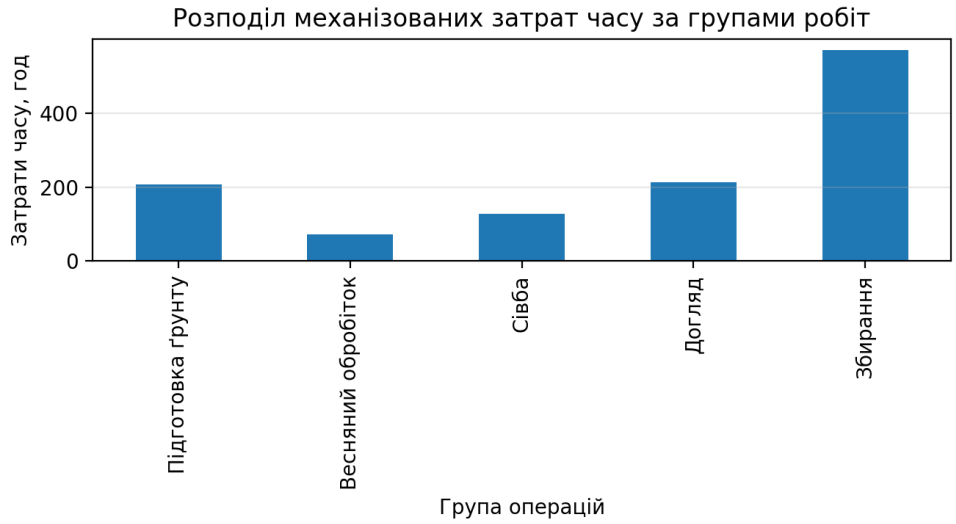


Рис. 2.3. Розподіл затрат часу за групами технологічних операцій

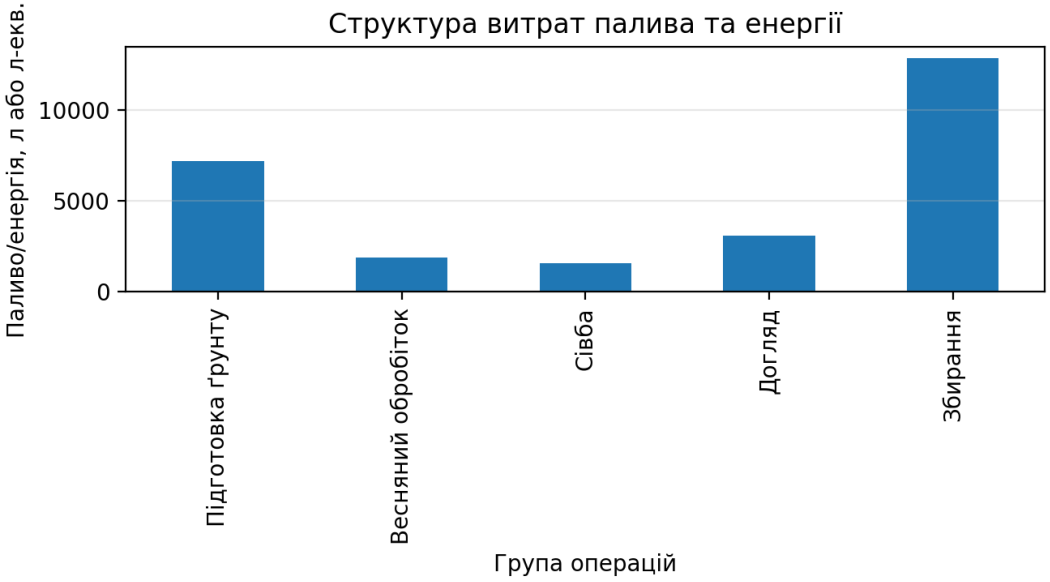


Рис. 2.4. Структура паливно-енергетичних витрат за групами робіт

Таблиця 2.4 – Підсумкові показники за групами технологічних операцій

Група операцій	Затрати часу, год	Частка часу, %	Паливо/енергія, л-екв.	Праця, люд.-год
Підготовка ґрунту	207.2	17.4	7200	207.2
Весняний обробіток	72.9	6.1	1900	72.9
Сівба	128.5	10.8	1600	128.5
Догляд	214.1	17.9	3090	214.1
Збирання	571.3	47.8	12850	938.0
Усього	1194.0	100,0	26640	1560.7

2.6. Включення агродрона та дрона з вбудованим штучним інтелектом

У проектованій технології дрон із вбудованим штучним інтелектом використовується не як окрема демонстраційна операція, а як постійний інструмент прийняття рішень. Заплановано п’ять обльотів: після появи сходів, перед першим міжрядним обробітком, перед другим обробітком із підживленням, у фазі активного наростання листкової поверхні та перед збиранням. На основі знімків RGB/NDVI і алгоритмів розпізнавання формуються карти нерівномірності сходів, забур’яненості, перезволожених зон, пошкоджень шкідниками та ділянок із пригніченим ростом.

Отримані дані використовуються для коригування маршруту наземного огляду, вибору ділянок для агродронного обприскування, а також уточнення режиму міжрядного обробітку. Наприклад, у зонах із підвищеною забур’яненістю агроном може призначити локальний обліт або обробку, а на ділянках із ущільненням ґрунту - проконтролювати якість роботи розрихлювальних лап. Такий підхід зменшує витрати робочого розчину, дає змогу швидше виявити проблемні ділянки та підвищує керованість технології.

Агродронне обприскування включено до технологічної карти як операцію з продуктивністю 10 га/год і нормою виливу 20 л/га. На площі 200

га це становить 20 год чистого технологічного часу та 4 м³ робочого розчину. Практичне використання агродрона особливо доцільне тоді, коли в'їзд штангового обприскувача небажаний через вологий ґрунт або високий ризик механічного пошкодження рослин. Водночас агродрон не повинен розглядатися як повна заміна всіх наземних машин: найкращий ефект досягається за комбінованої схеми, де дрон виконує моніторинг і локальні операції, а наземні агрегати забезпечують основний обсяг ґрунтообробних робіт.



Рис. 2.5. Схема використання дрона зі штучним інтелектом та агродрона-обприскувача

2.7. Організація виконання робіт на площі 200 га

Для ефективної реалізації технології роботи організовують за потоковим принципом. Осінні операції виконують відразу після збирання попередника, а глибокий обробіток завершують до перезволоження ґрунту, щоб не погіршити структуру орного шару.

Навесні боронування, передпосівну культивацію та сівбу доцільно виконувати в одному технологічному вікні. Один сівалковий агрегат продуктивністю 2,33 га/год засіває 200 га приблизно за 86 год, тому за несприятливого прогнозу погоди бажано передбачити резервний агрегат або подовжену зміну.

Період догляду за посівами потребує точної координації: перший міжрядний обробіток проводять після чіткого позначення рядків, а другий - у фазі ефективного використання локального підживлення. Дані дрона зі штучним інтелектом передаються агроному до виходу агрегату в поле і допомагають уточнити швидкість руху, глибину обробітку та ділянки особливої уваги.

Збирання і транспортування є найбільш ресурсомісткими операціями. За врожайності 55 т/га з площі 200 га потрібно вивезти близько 11 тис. т коренеплодів, тобто орієнтовно 550 рейсів транспортом вантажністю 20 т.

Висновки до розділу 2

У другому розділі спроектовано технологію вирощування цукрових буряків для умов Лісостепу Житомирської області на площі 200 га. Технологія охоплює післяжнивний і основний обробіток ґрунту, весняну підготовку, точну сівбу, міжрядний догляд, локальне підживлення, агродронне обприскування, цифровий моніторинг, збирання та транспортування. Ключовою машиною прийнято модернізований культиватор-розрихлювач-підживлювач, що поєднує розпушення міжрядь і рідке підживлення.

Розрахована технологічна карта показала, що загальна потреба в машинному часі становить близько 1194 год, паливно-енергетичні витрати - 26,64 тис. л-екв., а затрати праці – 1560,7 люд.-год. Найбільшу частку ресурсів формують збирання і транспортування. Інтеграція дрона зі штучним інтелектом і агродрона-обприскувача підвищує точність управління посівами, дозволяє швидше виявляти проблемні ділянки та створює передумови для роботизації вирощування цукрових буряків.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА РОБОЧОГО ОРГАНУ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Метою конструктивної частини роботи є обґрунтування модернізованого робочого органу культиватора-рослинопідживлювача, який забезпечує якісне глибоке розпушування міжрядь цукрових буряків та одночасне внесення рідких мінеральних добрив у кореневмісний шар ґрунту. Запропонована модернізація спрямована на підвищення ефективності міжрядного обробітку, зменшення втрат добрив, покращення аерації ґрунту і створення сприятливих умов для росту коренеплодів у період активної вегетації.

У процесі вирощування цукрових буряків особливо важливими є своєчасне руйнування ґрунтової кірки, розпушування ущільненого шару в міжряддях, знищення бур’янів та локальне підживлення рослин. Виконання цих операцій одним проходом агрегату дає змогу скоротити кількість заїздів техніки на поле, зменшити ущільнення ґрунту ходовими системами трактора, знизити витрати пального та підвищити продуктивність технологічного процесу.

3.1 Обґрунтування необхідності модернізації та формування вимог до робочого органу

Цукрові буряки належать до просапних культур, урожайність яких значною мірою залежить від якості догляду за посівами після появи сходів. У цей період коренева система рослин швидко розвивається, а міжряддя потребують регулярного механічного обробітку. Недостатнє розпушування призводить до утворення щільного шару ґрунту, погіршення водно-повітряного режиму, сповільнення поглинання елементів живлення та зростання кількості бур’янів.

Традиційні робочі органи культиваторів виконують переважно поверхневий обробіток міжрядь. Вони ефективно підрізають бур’яни і розпушують верхній шар ґрунту, однак не завжди забезпечують внесення рідких добрив на задану глибину. При використанні аміачної води або інших рідких азотних добрив важливо не лише подати розчин у міжряддя, а й надійно заробити його в ґрунт, щоб уникнути випаровування, втрат азоту та негативного впливу на навколишнє середовище.

Серійний культиватор-рослинопідживлювач УСМК-5,4Б може застосовуватися для міжрядного обробітку цукрових буряків, однак базова конструкція його розпушувальних органів не повною мірою відповідає сучасним вимогам до локального внесення рідких добрив. Основними недоліками типових робочих органів є нестабільність глибини загортання добрив, підвищене перемішування ґрунту в зоні рядка, можливість забивання рослинними рештками та недостатнє кришення ущільненого шару на глибині понад 10–12 см.

Модернізований робочий орган повинен працювати в обмеженому просторі міжряддя і не пошкоджувати культурні рослини. Тому його форма, кут входження в ґрунт, ширина ріжучої частини та розміщення каналу подачі добрив мають бути узгоджені з шириною міжрядь, фазою розвитку буряків, глибиною залягання активної частини кореневої системи і тяговими можливостями трактора.

До модернізованого робочого органу висуваються такі агротехнічні та конструктивні вимоги:

– забезпечення глибини розпушування та внесення рідких добрив до 0,20 м без виносу добрив на поверхню;

– стабільне утримання заданої глибини ходу під час роботи на різних за щільністю ділянках поля;

– мінімальне зміщення ґрунту в бік рядків, щоб не засипати молоді рослини і не пошкоджувати їх кореневу систему;

– зменшення питомого тягового опору за рахунок раціональної форми долота і похилих елементів стійки;

– надійне закривання борозни після проходу робочого органу, що особливо важливо при внесенні аміачної води;

– технологічна простота виготовлення, можливість установлення на секційну рамку серійного культиватора та зручність технічного обслуговування.

Отже, необхідність модернізації зумовлена потребою поєднати в одному робочому органі функції глибокого міжрядного розпушування, локального підживлення і якісного закриття сліду. Такий підхід підвищує ефективність використання добрив, зменшує кількість проходів агрегату полем і сприяє покращенню агрофізичного стану ґрунту.

3.2 Визначення та обґрунтування конструктивних параметрів робочого органу

Конструкція запропонованого робочого органу формується з урахуванням характеру взаємодії металевої поверхні з ґрунтовим пластом. Під час руху долото відокремлює ґрунтову скибу, піднімає її, частково руйнує і переміщує в бік, після чого ґрунт осідає та закриває канал внесення добрив. Саме тому геометрія долота і стійки має забезпечувати не різке руйнування ґрунту, а кероване розпушування без надмірного викидання землі на поверхню.

Основним елементом є долотоподібна лапа з вузькою ріжучою частиною. Вона зменшує площу контакту з ґрунтом, завдяки чому знижується опір руху та полегшується заглиблення. Стійка виконується похилою, що сприяє самоочищенню робочого органу від рослинних решток і зменшує ймовірність налипання ґрунту. Канал для подачі рідких добрив доцільно розміщувати за стійкою або в її захищеній зоні, щоб струмінь добрива потрапляв у щілину, утворену долотом, і відразу перекривався ґрунтом.

Таблиця 3.1 – Основні вихідні параметри для конструктивного обґрунтування

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Прийняте значення
Глибина міжрядного розпушування	a	м	0,20
Конструктивна ширина ріжучої частини долота	b	мм	70
Активна ширина зони різання	B	м	0,03
Потиличний кут долота	Q	град.	10
Горизонтальна проекція похилої стійки	b_1	м	0,16
Вертикальна проекція стійки	H	м	0,165
Коефіцієнт ковзання ґрунту по стійці	i	–	0,20
Кількість модернізованих органів на культиваторі	z	шт.	12

Глибина 0,20 м прийнята як така, що забезпечує розпушування ущільненої зони міжряддя та розміщення добрив нижче поверхневого шару ґрунту. За меншої глибини можливі втрати азоту внаслідок випаровування, а за надмірного заглиблення збільшується тяговий опір і витрати пального. Ширина ріжучої частини 70 мм забезпечує достатнє формування щілини, але не створює надмірної зони руйнування, що могло б пошкодити кореневу систему рослин у рядку.

Потиличний кут Q = 10° необхідний для зменшення тертя задньої поверхні долота об ґрунт. Якщо цей кут буде замалим, долото працюватиме із підвищеним тертям і швидше зношуватиметься. Якщо кут буде надмірно великим, зменшиться міцність ріжучої частини та погіршиться стабільність ходу на заданій глибині.

Загальна схема робочого органу з основними геометричними параметрами наведена на рис. 3.1. На схемі показано форму стійки, глибину занурення, ширину ріжучої частини, кутові параметри долота та напрямок переміщення ґрунту під час роботи.

Прийнята схема дає змогу поєднати розпушування і підживлення в одному технологічному проході. Під час руху агрегату долото утворює щілину в ґрунті, а добриво подається в зону, яка знаходиться нижче активного шару випаровування. Після проходу робочого органу ґрунт частково осипається назад у борозну і перекриває внесений розчин. Це

зменшує втрати поживних речовин та підвищує рівномірність живлення рослин.

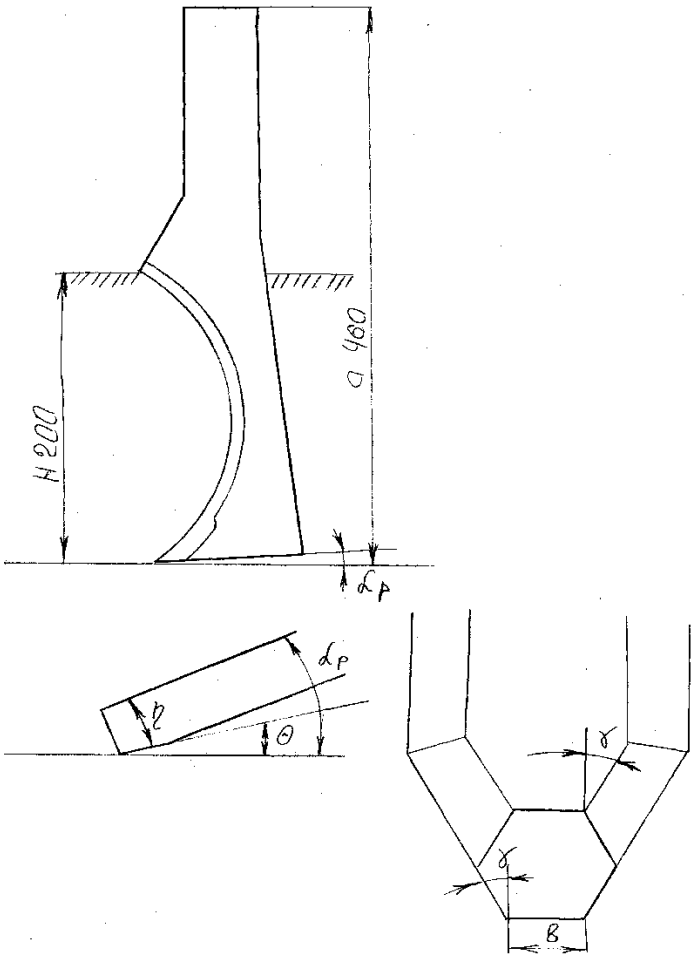


Рис. 3.1. Конструктивна схема модернізованого робочого органу.

3.3 Розрахунок тягового опору модернізованого робочого органу

Тяговий опір є одним із головних показників, за яким оцінюють можливість агрегатування модернізованого культиватора з трактором. Загальний опір складається з опору різанню ґрунту долотом, опору підніманню і переміщенню ґрунтового шару, опору похилих частин стійки, тертя ґрунту об робочі поверхні та бокового опору в прорізах. Для розрахунку приймаємо, що робочий орган рухається з усталеною швидкістю, а ґрунт має однорідні фізико-механічні властивості в межах глибини обробітку.

Опір різанню долотом визначаємо за залежністю:

$$P_p = Kp \cdot B \cdot a \qquad (3.1)$$

де $P_р$ – сила опору різанню, кН; $K_р$ – коефіцієнт різання ґрунту, кН/м²; B – активна ширина зони різання, м; a – глибина обробітку, м.

За прийнятих значень $K_р$ = 24,1 кН/м², B = 0,03 м, a = 0,20 м одержимо:

$$P_р = 24{,}1 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}20 = 0{,}145 \text{ кН} \approx 0{,}14 \text{ кН}$$

Отримане значення характеризує опір безпосереднього врізання долота в ґрунт. Воно є відносно невеликим завдяки вузькій формі ріжучої частини, однак у реальних умовах до нього додаються інші складові опору, які виникають під час піднімання, деформації та переміщення ґрунтової маси.

Опір, пов’язаний з підніманням ґрунту по поверхні робочого органу, визначається через нормальну силу тиску N і кут тертя ґрунту по металу:

$$P_{вв} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi \qquad (3.2)$$

де $P_{вв}$ – сила опору підніманню ґрунту, кН; N – нормальна сила тиску ґрунту на робочу поверхню; φ – кут зовнішнього тертя ґрунту. За прийнятими вихідними параметрами сила опору підніманню становить $P_{вв}$ = 0,015 кН. Невелике значення цієї складової пояснюється тим, що розпушувальний орган не піднімає суцільний пласт на значну висоту, а лише руйнує й розкриває щілину в міжрядді.

Оскільки стійка має похиле положення, під час її руху частина ґрунту ковзає вздовж робочої поверхні. Для урахування цього явища вводиться коефіцієнт ковзання і. Силу опору зрізанню похилими елементами визначаємо за формулою:

$$P_{рн} = K_р \cdot a \cdot b_1 \cdot (1 - i) \qquad (3.3)$$

де $P_{рн}$ – опір похилої стійки, кН; b_1 – горизонтальний розмір проекції похилої стійки, м; і – коефіцієнт ковзання ґрунту по стійці. З урахуванням прийнятих конструктивних параметрів та фактичного характеру контакту ґрунту зі стійкою приймаємо $P_{рн}$ = 0,30 кН.

Опір тертя похилих стійок залежить від площі їх контакту з ґрунтом, кута нахилу та властивостей ґрунтової маси. Для подальшого розрахунку, відповідно до прийнятої схеми взаємодії, величину тертя однієї похилої стійки приймаємо Ртрн = 0,012 кН. Незважаючи на малу величину цієї

складової, її необхідно враховувати, оскільки робочий орган має дві бічні поверхні, які контактують із ґрунтом.

Боковий опір у прорізах визначаємо за залежністю:

$$P_б = m_{бокн} \cdot a + m_{бокv} \cdot a^2 \quad (3.4)$$

де Рб – бокова складова опору, кН; mбокн – коефіцієнт бокового опору ґрунту; mбокv – коефіцієнт, що враховує зміну опору залежно від умов руху; а – глибина обробітку, м. Після підстановки вихідних даних отримуємо:

$$P_б = 0,5 \cdot 0,02 + 9 \cdot 0,02^2 = 0,13 \text{ кН}$$

Сумарний тяговий опір одного модернізованого робочого органу визначаємо додаванням усіх складових, які діють на долото та стійку:

$$P_1 = P_р + P_{вв} + 2P_{рн} + 2P_{трн} + 2P_б \quad (3.5)$$

$$P_1 = 0,14 + 0,015 + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,012 + 2 \cdot 0,13 = 1,039 \text{ кН}$$

Отже, опір одного робочого органу становить приблизно 1,04 кН. Для культиватора УСМК-5,4, на якому встановлено 12 таких робочих органів, сумарний тяговий опір без урахування додаткових бритв і ротаційних органів дорівнює:

$$P_{заг} = P_1 \cdot z \quad (3.6)$$

$$P_{заг} = 1,039 \cdot 12 = 12,46 \text{ кН}$$

Порівняння розрахункового опору з тяговими можливостями трактора Т-70С показує, що модернізований культиватор може працювати з цим трактором. Запас тягового зусилля дає змогу компенсувати короткочасне зростання опору на ущільнених ділянках, при підвищеній вологості або під час роботи на важчих за механічним складом ґрунтах. Разом з тим для стабільної роботи агрегату необхідно дотримуватися рекомендованої швидкості руху та своєчасно контролювати гостроту ріжучих кромок доліт.

3.4 Перевірка міцності стійки робочого органу

Найбільш навантаженою частиною модернізованого робочого органу є зона кріплення стійки до секційної рамки культиватора. Саме в цьому місці зосереджуються згинальні навантаження, які виникають від дії ґрунтового

опору на долото та похилу частину стійки. Якщо міцність цього вузла буде недостатньою, можливі залишкові деформації, порушення глибини ходу або руйнування кріпильних елементів.

Для спрощеної перевірки стійку розглядаємо як консольний елемент, на який діють сили опору в нижній і середній частинах. Такий підхід дає змогу визначити найбільший згинальний момент у верхній зоні кріплення, де стійка переходить у вузол фіксації на секційній рамці. Схема розподілу згинального моменту наведена на рис. 3.2.

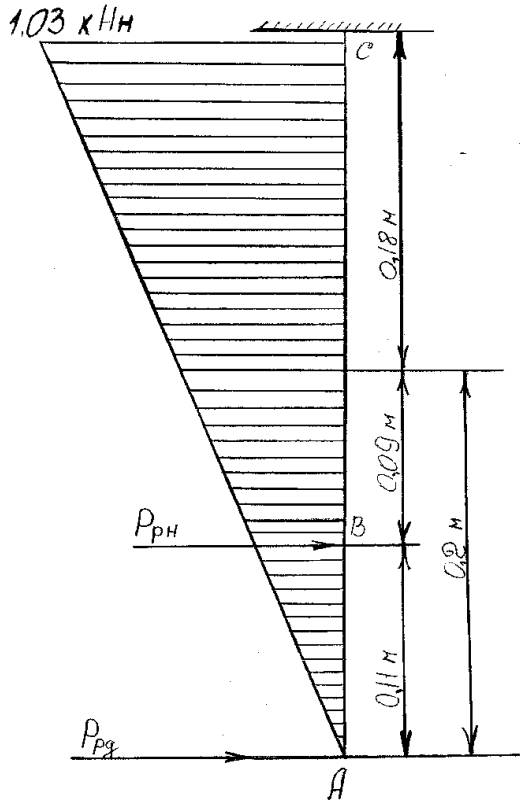


Рис. 3.2. Епюра згинального моменту стійки робочого органу

Максимальний згинальний момент у небезпечному перерізі визначаємо як суму моментів від сили різання долота та від сил, що діють на похилу частину стійки:

$$M_{max} = Pp \cdot l + P_{рн} \cdot l_1 \qquad (3.7)$$

де M_{max} – найбільший згинальний момент, кН·м; Рр – сила опору, що діє на долото; l – довжина стійки, м; Ррн – зосереджена сила від похилої частини стійки та бокового опору; l_1 – плече прикладання цієї сили, м.

Для розрахунку приймаємо: $P_р = 0{,}60$ кН, $l = 0{,}46$ м, $l_1 = 0{,}38$ м. Сила, що враховує дію похилої стійки та двох бічних складових опору, становить:

$$P_{рн} = 0{,}60 + 2 \cdot 0{,}13 = 0{,}86 \text{ кН}$$

Тоді максимальний згинальний момент дорівнює:

$$M_{max} = 0{,}60 \cdot 0{,}46 + 0{,}86 \cdot 0{,}38 = 0{,}60 \text{ кН·м}$$

Напруження згину в небезпечному перерізі визначається за загальною залежністю:

$$\sigma = M_{max} / W \qquad (3.8)$$

де σ – розрахункове напруження згину, МПа; W – момент опору поперечного перерізу стійки, мм³. Для перевірки міцності необхідно, щоб виконувалася умова:

$$\sigma \leq [\sigma] \qquad (3.9)$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу стійки. Для виготовлення стійки доцільно застосувати конструкційну сталь типу Ст3 або іншу сталь з близькими механічними властивостями, яка добре зварюється, доступна у виробництві та забезпечує достатній запас міцності для роботи в ґрунті.

За результатами перевірки встановлено, що розрахункові напруження у стійці не перевищують допустимих значень для прийнятого матеріалу. Отже, конструкція має необхідний запас міцності. Водночас під час виготовлення робочого органу потрібно звернути увагу на якість зварних швів, відсутність гострих переходів у зоні кріплення та правильне затягування болтових з’єднань, оскільки саме ці фактори часто визначають довговічність вузла в польових умовах.

3.5 Розрахунок болтового з’єднання на зріз

Кріплення долота до стійки передбачає використання двох болтів М10. Під час роботи на ці болти передається сила опору різанню, яка прагне змістити долото відносно стійки. Тому болтове з’єднання необхідно перевірити на зріз. Надійність цього вузла має важливе значення, оскільки послаблення або руйнування кріплення може спричинити втрату долота,

порушення технологічної глибини обробітку і пошкодження суміжних елементів культиватора.

Умова міцності болтів на зріз має вигляд:

$$\tau = P / (n \cdot F) \leq [\tau] \quad (3.10)$$

де τ – розрахункове напруження зрізу, Н/мм²; P – зовнішнє навантаження, що діє на з'єднання, Н; n – кількість болтів; F – площа поперечного перерізу одного болта, мм²; $[\tau]$ – допустиме напруження зрізу для матеріалу болта.

Площа поперечного перерізу болта визначається за формулою:

$$F = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (3.11)$$

Для болтів М10 діаметр d = 10 мм, кількість болтів n = 2. При симетричному навантаженні сила розподіляється між двома болтами, тому фактичне напруження зрізу є значно меншим за граничне для сталі. Це підтверджує придатність вибраного болтового з'єднання для роботи модернізованого робочого органу.

За розрахунком болти М10 витримують прикладене навантаження із запасом міцності. Для підвищення експлуатаційної надійності рекомендується застосовувати болти з пружинними шайбами або іншими елементами стопоріння, які запобігають самовідгвинчуванню під дією вібрації. Під час щозмінного технічного обслуговування необхідно перевіряти затягування кріплень і стан отворів у долоті та стійці.

Висновки по розділу

У третьому розділі виконано конструктивне обґрунтування модернізованого робочого органу культиватора для міжрядного обробітку цукрових буряків. Запропонована конструкція призначена для глибокого розпушування ґрунту та одночасного внесення рідких добрив у зону міжряддя на глибину до 0,20 м. Такий спосіб роботи підвищує ефективність використання добрив, зменшує втрати поживних речовин і поліпшує умови розвитку кореневої системи рослин.

Визначено основні параметри робочого органу, зокрема глибину обробітку, ширину ріжучої частини, геометрію стійки та кількість робочих органів на культиваторі. Проведено розрахунок тягового опору, за яким опір одного модернізованого органу становить 1,039 кН, а сумарний опір культиватора з 12 органами – 12,46 кН. Це підтверджує можливість агрегатування модернізованого культиватора з трактором Т-70С.

Перевірка стійки на згин і болтового з’єднання на зріз показала, що прийняті конструктивні рішення забезпечують необхідну міцність і працездатність у польових умовах. Отже, запропонована модернізація є технічно доцільною та може бути використана для підвищення якості міжрядного обробітку посівів цукрових буряків.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1. Завдання та методика техніко-економічної оцінки

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення доцільності впровадження проектних рішень у технології вирощування цукрових буряків на площі 200 га. У РОБОТІ порівнюється базовий варіант технології, за якого міжрядний обробіток, підживлення та контроль фітосанітарного стану виконуються окремими операціями, з проектним варіантом, де застосовується модернізований культиватор-розрихлювач-підживлювач, моніторинг посівів дроном зі вбудованим штучним інтелектом та можливість обприскування агродроном за картами-завданнями.

Економічний ефект формується за рахунок трьох основних складових: зменшення кількості проходів агрегатів полем, локалізації підживлення у зоні розвитку кореневої системи та точнішого застосування засобів захисту рослин. Модернізація культиватора дає змогу поєднати глибоке розпушування міжрядь із внесенням рідкого підживлення. Завдяки цьому зменшується ущільнення ґрунту, скорочуються витрати палива і робочого часу, а рослини краще використовують вологу та елементи живлення.

Розрахунки виконано за проектними цінами та нормативними припущеннями, які можуть уточнюватися відповідно до фактичних даних конкретного господарства. Для коректного порівняння враховано лише ті статті витрат, які змінюються внаслідок упровадження модернізованого культиватора, дрон-моніторингу та агродронного обприскування. Витрати на основний обробіток ґрунту, сівбу, збирання та транспортування коренеплодів в обох варіантах прийнято однаковими.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для економічних розрахунків

Показник	Позначення	Значення	Пояснення
Площа посіву цукрових буряків	S	200 га	прийнято за завданням
Середня урожайність у базовому варіанті	$Y_б$	50,0 т/га	для умов Лісостепу Житомирської області
Очікувана урожайність у проектному варіанті	$Y_п$	51,4 т/га	за рахунок якісного міжрядного розпушення і локального підживлення
Розрахункова ціна реалізації коренеплодів	Ц	2 100 грн/т	умовна ціна для проектного розрахунку
Ціна дизельного пального	$Ц_п$	60 грн/л	без урахування мастильних матеріалів
Коефіцієнт на мастильні матеріали	$k_м$	1,12	додається до вартості дизельного пального
Годинна тарифна ставка механізатора	$Т_{ст}$	110 грн/год	з подальшим урахуванням нарахувань
Коефіцієнт нарахувань на оплату праці	$k_{зп}$	1,22	соціальні нарахування та додаткові виплати

Річний економічний ефект проектного рішення визначаємо за формулою:

$$Е_р = (В_б - В_п) + (Yп - Y_б) \cdot S \cdot Ц, \quad (4.1)$$

де $В_б$ і $В_п$ – річні змінні витрати відповідно для базового та проектного варіантів, грн; $Y_п$ і $Y_б$ – урожайність цукрових буряків у проектному та базовому варіантах, т/га; S – площа вирощування, га; Ц – ціна реалізації коренеплодів, грн/т. Строк окупності додаткових капітальних вкладень визначаємо як відношення суми вкладень до річного економічного ефекту.

$$Т_{ок} = К / Е_р, \quad (4.2)$$

У разі потреби за формулою (4.2) можна оцінювати не тільки модернізацію культиватора, а й різні варіанти придбання або сезонної оренди дронів. У даному розділі прийнято, що агродрон та дрон зі штучним інтелектом залучаються як сервісна послуга, оскільки для площі 200 га це зменшує початкове інвестиційне навантаження на господарство.

4.2. Обґрунтування витрат на модернізацію культиватора

Основним конструктивним рішенням є модернізація культиватора для міжрядного обробітку, який у проектному варіанті виконує функції

розпушення ґрунту на глибину до 18-20 см і локального внесення рідкого підживлення. Порівняно з традиційною схемою, де підживлення виконується окремим агрегатом або менш точно розподіляється по поверхні, такий підхід підвищує агротехнічну ефективність операції. Робочий орган діє у зоні міжряддя, не пошкоджує рядок рослин і формує розпушений шар, у який надходять добрива.

До складу витрат на модернізацію включено виготовлення або придбання робочих органів, монтаж системи подачі рідкого добрива, встановлення трубопроводів, дозувальних елементів, кронштейнів, захисних елементів, а також витрати на слюсарно-зварювальні роботи і технологічні випробування. Оскільки агрегат використовується щорічно, одноразові вкладення розподіляються на термін експлуатації через річні відрахування.

Таблиця 4.2 – Орієнтовні капітальні вкладення у модернізацію культиватора

Стаття вкладень	Сума, грн	Частка, %
Комплект глибокорозпушувальних робочих органів, 12 шт.	74 400	45,9
Система локального внесення рідкого підживлення	42 000	25,9
Кронштейни, метал, захисні елементи, фарбування	16 500	10,2
Монтаж, регулювання, слюсарно-зварювальні роботи	21 100	13,0
Технологічні випробування та налаштування	8 000	4,9
Разом капітальні вкладення	162 000	100,0

Для подальших розрахунків річні відрахування на модернізацію прийнято у розмірі 27 % від капітальних вкладень. До цієї величини входять амортизація, технічне обслуговування, поточний ремонт, зберігання та інші витрати, пов’язані з підтриманням агрегата у працездатному стані.

$$А_{пр} = 0{,}27 \cdot К = 0{,}27 \cdot 162\,000 = 43\,740 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

Важливо, що модернізація не потребує придбання нового трактора або повної заміни наявного культиватора. Тому проектне рішення є доступнішим для господарств середнього розміру, які мають власну машинно-тракторну базу та прагнуть підвищити ефективність технології без надмірних інвестицій.

4.3. Порівняння експлуатаційних показників базової та проектної технології

У технологічній карті вирощування цукрових буряків найбільше на економічний результат впливають операції догляду за посівами. Саме на цьому етапі модернізований культиватор-розрихлювач-підживлювач забезпечує найбільшу перевагу. У базовому варіанті прийнято два проходи звичайного культиватора і окреме підживлення, а у проектному - один комбінований прохід модернізованого агрегата та один коригувальний міжрядний обробіток за потреби.

Крім того, у базовій технології фітосанітарний стан поля контролюється переважно наземними оглядами, а обприскування здійснюється суцільно. У проектному варіанті дрон зі штучним інтелектом формує карти неоднорідності посівів, зони забур'янення, нестачі живлення та стресу рослин. На основі цих карт агродрон може виконувати локальне або диференційоване внесення препаратів, що знижує перевитрати робочого розчину і засобів захисту рослин.

Таблиця 4.3 – Порівняння експлуатаційних показників за операціями догляду

Операція	Базовий варіант	Люд.-год	Паливо, л	Проектний варіант	Люд.-год	Паливо, л
Звичайний міжрядний обробіток	2 проходи	138	2320	1 коригувальний прохід	65	960
Глибоке розпушення з підживленням	окреме підживлення	87	840	1 комбінований прохід	77	1440
Обприскування посівів	3 суцільні наземні проходи	50	1800	2 наземні проходи + агродрон	33	1200
Моніторинг стану поля	наземний огляд	44	-	дрон зі ШІ, 6 обльотів	12	-
Разом за операціями, що змінюються	-	319	4960	-	187	3600

За даними таблиці 4.3 витрати робочого часу за операціями, на які впливає проектне рішення, зменшуються з 319 до 187 люд.-год, тобто на 132

люд.-год. Витрати дизельного пального зменшуються з 4960 до 3600 л, або на 1360 л. Частина економії досягається за рахунок суміщення операцій, а частина - завдяки зменшенню кількості суцільних проходів обприскувача після впровадження моніторингу дроном зі штучним інтелектом.

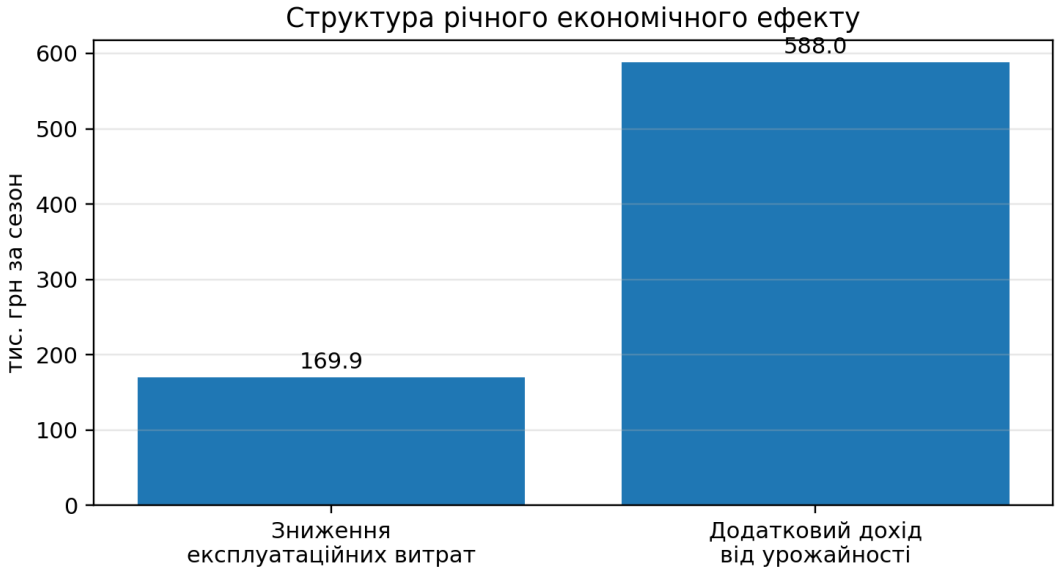


Рис. 4.1. Структура річного економічного ефекту проектного рішення.

4.4. Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Витрати на паливо і мастильні матеріали визначаємо за добутком витрати палива, ціни дизельного пального і коефіцієнта на мастильні матеріали. Для базового варіанта отримуємо 4960 л, для проектного - 3600 л. При ціні дизельного пального 60 грн/л і коефіцієнті 1,12 економія становить:

$$E_{пмм} = (4960 - 3600) \cdot 60 \cdot 1{,}12 = 91\ 392 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

Витрати на оплату праці визначено за фактичними затратами часу у люд.-годинах, тарифною ставкою та коефіцієнтом нарахувань. У проектному варіанті менша кількість проходів агрегатів і автоматизований дрон-моніторинг скорочують трудомісткість, хоча потребують кваліфікованого оператора для контролю польотів і аналізу карт.

$$E_{зп} = (319 - 187) \cdot 110 \cdot 1{,}22 = 17\ 714 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

Найбільш істотною статтею економії є зменшення витрат засобів захисту рослин. У базовому варіанті прийнято суцільну схему обробки з

витратами 8000 грн/га. За рахунок дрон-моніторингу, уточнення зон засміченості та диференційованого внесення частину препаратів можна використовувати цілеспрямовано. У розрахунку прийнято зменшення витрат ЗЗР на 9 %, що відповідає економії 144000 грн на площі 200 га.

Таблиця 4.4 – Порівняння змінних витрат за базовим і проектним варіантами

Стаття витрат	Базова технологія, грн	Проектна технологія, грн	Економія (+) / перевитрата (-), грн
Паливо і мастильні матеріали	333 312	241 920	91 392
Оплата праці з нарахуваннями	42 810	25 095	17 714
ТО, ремонт і амортизація агрегатів	116 000	91 500	24 500
Засоби захисту рослин	1 600 000	1 456 000	144 000
Дрон-моніторинг і агродрон	0	64 000	-64 000
Річні відрахування на модернізацію	0	43 740	-43 740
Разом	2 092 122	1 922 255	169 866

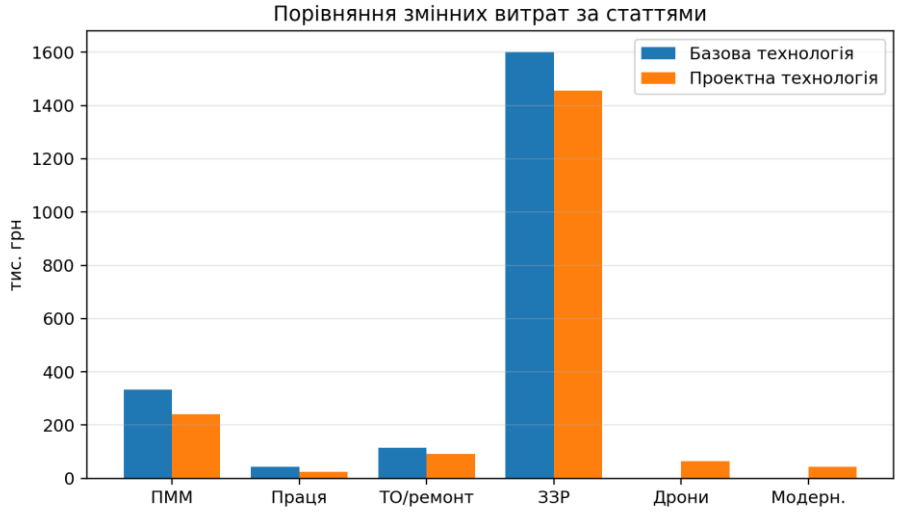


Рис. 4.2. Порівняння змінних витрат базової та проектної технологій.

З таблиці 4.4 видно, що проектна технологія має додаткові витрати на дрон-моніторинг, агродронне обприскування та річні відрахування за модернізацією культиватора. Однак ці витрати перекриваються економією палива, зменшенням трудомісткості, меншими витратами на технічне обслуговування агрегатів і раціональнішим використанням засобів захисту рослин. Загальна економія змінних витрат становить 169 866 грн за сезон, або 849 грн/га.

4.5. Визначення додаткового доходу від підвищення урожайності

Покращення умов росту цукрових буряків є не менш важливим джерелом ефекту, ніж пряме скорочення експлуатаційних витрат. Глибоке міжрядне розпушення руйнує ущільнений прошарок у зоні міжряддя, поліпшує повітряний режим ґрунту і сприяє кращому проникненню вологи. Одночасне локальне внесення рідкого підживлення забезпечує надходження елементів живлення ближче до активної частини кореневої системи. Дрон-моніторинг додатково дає змогу швидше виявляти проблемні ділянки поля.

Для розрахунку прийнято помірний приріст урожайності 1,4 т/га. За площі 200 га додатковий валовий збір становитиме:

$$\Delta Q = (Y_{п} - Y_{б}) \cdot S = 1{,}4 \cdot 200 = 280 \text{ т.} \quad (4.6)$$

Додатковий дохід від реалізації цієї кількості коренеплодів визначаємо за формулою:

$$Д_{д} = \Delta Q \cdot Ц = 280 \cdot 2\,100 = 588\,000 \text{ грн.} \quad (4.7)$$

Отримане значення не означає гарантованого приросту за будь-яких погодних умов. Воно є проектним показником, який відображає очікувану дію комплексу чинників: якісного міжрядного розпушування, кращого розміщення підживлення, меншого ущільнення ґрунту, своєчасного виявлення осередків бур’янів, хвороб і стресу рослин.

4.6. Розрахунок річного економічного ефекту та строку окупності

Підставивши отримані значення у формулу (4.1), визначимо річний економічний ефект від упровадження проектних рішень:

$$Е_{р} = 169\,866 + 588\,000 = 757\,866 \text{ грн.} \quad (4.8)$$

Економічний ефект у перерахунку на 1 га посіву становить:

$$Е_{га} = 757\,866 / 200 = 3\,789 \text{ грн/га.} \quad (4.9)$$

Строк окупності капітальних вкладень на модернізацію культиватора становитиме:

$$Т_{ок} = 162\,000 / 757\,866 = 0{,}21 \text{ року.} \quad (4.10)$$

Коефіцієнт економічної ефективності проектних вкладень дорівнює:

$$E_к = 757\,866 / 162\,000 = 4{,}68. \quad (4.11)$$

Таблиця 4.5 – Узагальнені показники економічної ефективності

Показник	На площу 200 га	На 1 га
Економія експлуатаційних витрат	169 866	849
Додатковий дохід від приросту урожайності	588 000	2 940
Річний економічний ефект	757 866	3 789
Капітальні вкладення у модернізацію	162 000	810
Строк окупності, року	0,21	-
Коефіцієнт економічної ефективності	4,68	-

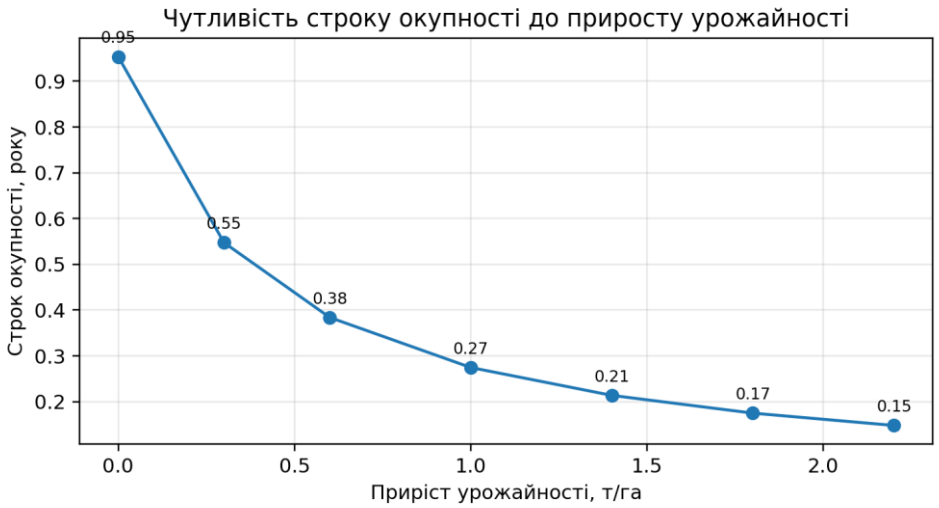


Рис. 4.3. Залежність строку окупності модернізації від приросту урожайності

4.7. Оцінка ризиків і організаційні умови впровадження

На фактичний економічний результат впливають погодні умови, ціна реалізації коренеплодів, рівень забур’янення, точність ведення агрегата в міжряддях і якість налаштування системи подачі рідкого підживлення. Для зниження ризиків необхідно контролювати глибину розпушування, рівномірність подачі добрива, чистоту трубопроводів і форсунок, а також виконувати дрон-моніторинг у стабільних погодних умовах. За площі 200 га доцільною є сервісна модель використання агродрона, оскільки вона

дозволяє отримати переваги роботизованих технологій без значних одноразових інвестицій.

Висновки по розділу

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень для комплексу машин із вирощування цукрових буряків на площі 200 га. Основними джерелами ефекту є поєднання міжрядного глибокого розпушування з локальним підживленням, скорочення кількості проходів агрегатів, використання дрон-моніторингу зі штучним інтелектом і можливість агродронного обприскування.

Порівняння базової та проектної технологій показало зменшення затрат робочого часу з 319 до 187 люд.-год і витрат пального з 4960 до 3600 л. Загальна економія змінних витрат становить 169 866 грн, додатковий дохід від приросту урожайності - 588 000 грн, а річний економічний ефект - 757 866 грн. За капітальних вкладень 162 000 грн строк окупності дорівнює 0,21 року, що підтверджує доцільність модернізації культиватора та впровадження елементів роботизації у технологію вирощування цукрових буряків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності механізованого вирощування цукрових буряків шляхом проєктування раціонального комплексу машин та модернізації культиватора для міжрядного обробітку. Актуальність теми зумовлена важливим значенням цукрових буряків для сировинної бази цукрової промисловості України та необхідністю зниження витрат на виконання технологічних операцій.

У першому розділі проаналізовано існуючі технології вирощування цукрових буряків, динаміку посівних площ у світі та Україні, сучасний стан механізації й перспективи розвитку галузі. Встановлено, що ефективне буряківництво базується на використанні високопродуктивної техніки, точного висіву, якісного догляду за посівами, своєчасного збирання та впровадження елементів точного землеробства, зокрема дронів і систем моніторингу.

У другому розділі спроєктовано технологію вирощування цукрових буряків в умовах Лісостепу Житомирської області та розраховано технологічну карту для площі 200 га. Визначено перелік основних операцій, строки їх виконання, склад машинно-тракторних агрегатів, потребу в паливі, трудових і матеріальних ресурсах. У технології передбачено застосування модернізованого культиватора-розрихлювача-підживлювача, агродрона для обприскування та дрона зі штучним інтелектом для моніторингу стану поля.

У третьому розділі виконано конструктивну розробку робочого органу культиватора для міжрядного обробітку. Запропонований робочий орган забезпечує глибоке розпушування ґрунту та можливість одночасного внесення рідких добрив у зону розвитку кореневої системи рослин. У результаті розрахунків визначено основні конструктивні параметри, тяговий опір, навантаження на елементи конструкції та перевірено міцність відповідальних деталей. Розрахунки підтвердили достатній запас міцності конструкції.

У четвертому розділі проведено техніко-економічне обґрунтування прийнятих проєктних рішень. Встановлено, що впровадження запропонованого комплексу машин і модернізованого культиватора дозволяє зменшити витрати на міжрядний обробіток, скоротити кількість проходів агрегатів полем, знизити витрати пального, зменшити ущільнення ґрунту та підвищити якість догляду за посівами.

Запропонований комплекс машин відповідає агротехнічним вимогам і умовам господарювання в зоні Лісостепу Житомирської області. Його використання забезпечує своєчасне виконання технологічних операцій, підвищення продуктивності праці, раціональне використання добрив і покращення умов розвитку рослин.

Отже, мету кваліфікаційної роботи досягнуто: розроблено проєкт комплексу машин для вирощування цукрових буряків із модернізацією культиватора для міжрядного обробітку. Запропоновані технічні та технологічні рішення мають практичне значення і можуть бути використані для підвищення ефективності виробництва цукрових буряків, зниження собівартості продукції та впровадження елементів сучасного точного землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буряківництво : навч. посіб. / І. Д. Примак, В. П. Федоренко, Л. А. Козак та ін. Біла Церква : БНАУ, 2009. 464 с.

2. Буряки цукрові: селекція, насінництво та технологія вирощування : монографія / за ред. Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Київ : ІБКіЦБ НААН, 2022. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/vidanna/2022/2022_other_p1.pdf (дата звернення: 16.06.2026).

3. Методичні рекомендації з проведення комплексу весняно-польових робіт при вирощуванні енергетичних буряків цукрових / Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Київ, 2020. URL: https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/metod_buryaky.pdf (дата звернення: 16.06.2026).

4. Технології вирощування цукрових буряків. Київ : Syngenta, 2014. URL: https://www.syngenta.ua/sites/g/files/kgtney1466/files/media/document/2016/12/20/sugar_beet_30-12-2014-fin.pdf (дата звернення: 16.06.2026).

5. Вирощування цукрових буряків на біопаливо. Пропозиція. URL: https://propozitsiya.com/articles/vy-ro-shchu-van-nya-tsu-k-ro-vykh-bu-ryakiv-na-biopa-ly-vo-0 (дата звернення: 16.06.2026).

6. Цукровий буряк: технологія вирощування та система удобрення. Sunagro. URL: https://www.sunagro.com.ua/upload/culture/sections/5/50fc4ab3a0de4f10ab232f9353c0.pdf (дата звернення: 16.06.2026).

7. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Іщенко В. В. та ін. Сільськогосподарські машини : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Агроосвіта, 2015. 679 с. URL: https://repo.ocsnau.net/id/eprint/293/1/Войтюк%20%282015%29%20Сільськогосподарські%20машини.pdf (дата звернення: 16.06.2026).

8. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.

9. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. / Р. В. Кириченко та ін. Харків : ДБТУ, 2024. URL: https://repo.btu.kharkiv.ua/bitstreams/1424838f-fc6a-43c8-a16e-0a4da5193b79/download (дата звернення: 16.06.2026).

10. Заєць М. Технологія вертикального обробітоку грунту як спосіб отримання стабільних врожаїв. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 21-22. https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2960.

11. Боженко В. О. Сільськогосподарські машини та їх використання : навч. посіб. Вінниця, 2009. URL: https://iafk.vn.ua/sites/iafk.vn.ua/files/inline-files/bozhenko-silskogospodarski-mashini-2009.pdf (дата звернення: 16.06.2026).

12. Культиватор УСМК-5,4 з підкормкою рослин: технічні характеристики. ТІТ. URL: https://t-i-t.com.ua/kultivator-s-podkormkoy-rasteniy-usmk-54-/ (дата звернення: 16.06.2026).

13. Універсальний міжрядний культиватор УСМК-5,4. Agrodiler. URL: https://agrodiler.com/kultivator-mezhduryadnyy/usmk-5-4/ (дата звернення: 16.06.2026).

14. Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України. URL: https://naas.gov.ua/ustanovy/natsional%60nyy-naukovyy-tsentr-instytut-mekhanizatsiyi-ta-elektryfikatsiyi-sil%60s%60kogo-gospodarstva/ (дата звернення: 16.06.2026).

15. Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України: загальна інформація. URL: https://imaap.org.ua/info/index.php?id=5 (дата звернення: 16.06.2026).

16. Державна служба статистики України. Посівні площі основних сільськогосподарських культур. Єдиний державний вебпортал відкритих

даних. URL: https://data.gov.ua/dataset/fbef4abf-8ba3-4d45-85db-c63c95e4fec7/resource/cb758623-467d-451b-9fb8-234d9bd3465b (дата звернення: 16.06.2026).

17. Про затвердження форм державного статистичного спостереження щодо площ, валових зборів та урожайності сільськогосподарських культур : наказ Державної служби статистики України від 04.04.2024 № 91. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/v0091832-24 (дата звернення: 16.06.2026).

18. Посівні площі сільськогосподарських культур за категоріями господарств під урожай 2024 року. Головне управління статистики у Чернігівській області. URL: https://www.chernigivstat.gov.ua/statdani/S_hos/S63.htm (дата звернення: 16.06.2026).

19. Площі цукрових буряків за роки незалежності України скоротились більш ніж уп’ятеро, але врожайність зросла майже вдвічі. AgroTimes. 2025. URL: https://agrotimes.ua/agronomiya/ploshhi-czukrovyh-buryakiv-za-roky-nezalezhnosti-ukrayiny-skorotylys-bilsh-nizh-upyatero-ale-vrozhajnist-zrosla-majzhe-vdvichi/ (дата звернення: 16.06.2026).

20. Вирощування, рентабельність та схеми захисту цукрового буряку. Kurkul. 2024. URL: https://kurkul.com/spetsproekty/1543-yak-virostiti-ta-skilki-mojna-zarobiti-na-tsukrovomu-buryaku--daydjest (дата звернення: 16.06.2026).

21. FAOSTAT. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/faostat/en/ (accessed: 16.06.2026).

22. FAO. Sugarbeet. Crop information. Land & Water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/sugarbeet/en/ (accessed: 16.06.2026).

23. FAO. The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Rome : FAO, 2022. URL: https://www.fao.org/3/cb9479en/online/sofa-2022/digital-revolution-agricultural-practices.html (accessed: 16.06.2026).

24. USDA Foreign Agricultural Service. Ukraine: Sugar Annual. Kyiv : USDA FAS, 2024. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Sugar+Annual_Kyiv_Ukraine_UP2024-0010 (accessed: 16.06.2026).

25. USDA Foreign Agricultural Service. Ukraine: Sugar Annual. Kyiv : USDA FAS, 2025. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Sugar+Annual_Kyiv_Ukraine_UP2025-0015.pdf (accessed: 16.06.2026).

26. OECD. The digitalisation of agriculture: A literature review and emerging policy issues. Paris : OECD Publishing, 2024. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/04/the-digitalisation-of-agriculture_dd2a1973/285cc27d-en.pdf (accessed: 16.06.2026).

27. UNDP. Precision Agriculture for Smallholder Farmers. New York : United Nations Development Programme, 2021. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2021-10/UNDP-Precision-Agriculture-for-Smallholder-Farmers.pdf (accessed: 16.06.2026).

28. FarmDroid FD20: Autonomous Farming Robot for Precision Agriculture. FarmDroid. URL: https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/ (accessed: 16.06.2026).

29. Robotics in Sugar Beet Cultivation. SugarBeet Expo. URL: https://www.sugarbeet-expo.de/en/news/robotics-in-sugar-beet-cultivation (accessed: 16.06.2026).

30. Hatzenbichler. Sugar beet interrow cultivator. URL: https://www.hatzenbichler.com/en/sugar-beet-interrow-cultivator (accessed: 16.06.2026).

31. Hatzenbichler. Camera steering assistant. URL: https://www.hatzenbichler.com/en/camera-steering-assistant (accessed: 16.06.2026).

32. BEDNAR. ROW-MASTER RN_S Row-Crop Cultivator for Sugar Beet. URL: https://www.bednar.com/en/row-master-rn_s/ (accessed: 16.06.2026).

33. Südzucker Group. Weed control spot on: Südzucker, Amazone and FarmDroid test innovative solution. 2021. URL: https://www.suedzuckergroup.com/en/press/sudzucker-amazone-and-farmdroid-test-innovative-solution-weed-control (accessed: 16.06.2026).

34. EU CAP Network. Robotics and Artificial Intelligence in farming and forestry. European Commission. 2025. URL: https://eu-cap-network.ec.europa.eu/support/innovation-knowledge-exchange-eip-agri/digitalisation/digital-tools-automation-and-platforms/precision-farming-livestock-farming-forestry-and-food-processing_en (accessed: 16.06.2026).

35. de Silva R., Cielniak G., Gao J. Vision based Crop Row Navigation under Varying Field Conditions in Arable Fields. 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2209.14003 (accessed: 16.06.2026).

36. 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.

37. Nunes E. C. Employing Drones in Agriculture: An Exploration of Various Drone Types and Key Advantages. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2307.04037 (accessed: 16.06.2026).

38. Kumar P., Nelson A., Kapetanovic Z., Chandra R. Affordable Artificial Intelligence — Augmenting Farmer Knowledge with AI. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2303.06049 (accessed: 16.06.2026).

39. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

40. Russwurm F., Osinenko P., Streif S. Optimal control of centrifugal spreader. 2021. URL: https://arxiv.org/abs/2105.13124 (accessed: 16.06.2026).

41. 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.

42. Digital Innovation for a Sustainable European Agri-Food Sector. EIT Digital, 2024. URL: https://28digital.eu/fileadmin/2024/ecosystem/downloads/EIT-Digital_AgriTech-Report-web.pdf (accessed: 16.06.2026).