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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Ярмола Олена Михайлівна

УДК 631.354.12 : 633.63

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією збиральної машини

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 _____ Ярмола О.М.

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

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Ярмола Олена Михайлівна. Удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією збиральної машини. – *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 з модернізацією збиральної машини. Обґрунтовано актуальність теми, що пов'язана з необхідністю підвищення ефективності механізованих процесів, зменшення витрат праці, пального та експлуатаційних витрат у фермерських господарствах. Проаналізовано сучасні технології вирощування цукрових буряків, особливості застосування роботизованих машин, аграрних дронів для обприскування і моніторингу полів, а також перспективи автоматизації виробничих процесів. Розроблено проектну технологію вирощування культури для умов невеликих фермерських господарств Житомирської області з урахуванням площі посіву 48 га. Складено технологічну карту виконання основних операцій, у якій передбачено використання робота для післясходової боротьби з бур'янами та аграрних дронів для обприскування посівів. У конструктивній частині роботи запропоновано модернізацію збиральної машини для викопування коренеплодів цукрових буряків у агрегаті з трактором МТЗ-80. Виконано розрахунок основних конструктивних параметрів допоміжного обладнання та елементів приводу робочих органів. Проведено техніко-економічне обґрунтування проектних рішень, яке підтверджує доцільність упровадження запропонованої технології та модернізованої машини у виробничих умовах.

Ключові слова: цукрові буряки, комплекс машин, технологічна карта, збиральна машина, аграрний дрон, роботизація.

ANNOTATION

Olena Mykhailivna Yarmola. Improvements to the range of machinery for growing sugar beet, including the robotization3 of the harvester. *– 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 robotization3 of the harvesting machine. The relevance of the topic is justified by the need to increase the efficiency of robotizati processes and to reduce labour, fuel and operating costs on farms. It analyses modern sugar beet cultivation technologies, the specific features of using robotic machinery and agricultural drones for spraying and monitoring fields, as well as the prospects for the automation of production processes. A proposed cultivation technology has been developed for small farms in the Zhytomyr region, taking into account a sowing area of 48 hectares. A flowchart detailing the main operations has been drawn up, which provides for the use of a robot for post-emergence weed control and agricultural drones for spraying crops. The design section of the study proposes the robotization3 of a harvester for digging up sugar beet roots when coupled with an MT3-80 tractor. Calculations have been carried out for the main design parameters of the auxiliary equipment and the drive components of the working parts. A technical and economic justification of the design solutions has been carried out, confirming the feasibility of implementing the proposed technology and the robotizati machine under production conditions.

Keywords: sugar beet, machine complex, process flow chart, harvester, agricultural drone, robotization.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ……...…….9
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ДЛЯ УМОВ НЕВЕЛИКИХ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ……...…….15
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ……....28
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……..……41
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……51

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Цукрові буряки є однією з важливих технічних культур аграрного виробництва України, оскільки вони виступають основною сировиною для цукрової промисловості та мають значне господарське значення. Ефективність їх вирощування залежить від багатьох чинників: якості підготовки ґрунту, правильного вибору сортів і гібридів, своєчасного внесення добрив, захисту рослин, догляду за посівами та організації збирання врожаю. Особливо важливу роль у технології вирощування цукрових буряків відіграє комплекс машин, адже ця культура потребує точного виконання механізованих операцій у встановлені агротехнічні строки.

В умовах сучасного сільськогосподарського виробництва особливої актуальності набуває питання підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку. Для невеликих фермерських господарств це має особливе значення, оскільки вони часто обмежені у фінансових ресурсах і не завжди мають можливість придбати високопродуктивні самохідні машини. Тому важливим напрямом є удосконалення наявних машин, їх адаптація до конкретних виробничих умов, зниження витрат на виконання технологічних операцій та підвищення якості роботи агрегатів.

Вирощування цукрових буряків у господарствах Житомирської області має певні особливості, пов’язані з ґрунтово-кліматичними умовами, структурою посівних площ, рівнем технічного забезпечення та можливостями фермерських господарств. Для отримання стабільного врожаю необхідно забезпечити якісну підготовку ґрунту, точний висів насіння, ефективну боротьбу з бур’янами, своєчасне внесення засобів захисту рослин і раціональну організацію збирання коренеплодів. У цьому контексті важливим є впровадження сучасних елементів механізації, автоматизації та роботизації виробничих процесів.

Перспективним напрямом розвитку технології вирощування цукрових буряків є використання аграрних дронів для моніторингу посівів та обприскування, а також застосування роботизованих машин для догляду за рослинами. Такі технічні рішення дозволяють зменшити витрати праці, підвищити точність виконання операцій, скоротити використання пального та зменшити ущільнення ґрунту важкою технікою. Разом з тим, для невеликих господарств важливо поєднувати сучасні технології з доступними і надійними технічними засобами, зокрема тракторами типу МТЗ-80 та модернізованими сільськогосподарськими машинами.

Однією з найбільш трудомістких і відповідальних операцій у технології вирощування цукрових буряків є збирання врожаю. Від якості роботи збиральної машини залежить рівень втрат коренеплодів, ступінь їх пошкодження, забрудненість землею та загальна собівартість продукції. Недосконалість конструкції окремих машин, їх зношеність або невідповідність умовам роботи можуть призводити до збільшення втрат, підвищення витрат праці та зниження економічної ефективності виробництва. Тому модернізація збиральної машини для роботи в агрегаті з трактором МТЗ-80 є актуальним завданням для фермерських господарств.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу вирощування та збирання цукрових буряків шляхом удосконалення комплексу машин і модернізації збиральної машини для умов невеликих фермерських господарств.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:** проаналізувати сучасні технології вирощування цукрових буряків; розглянути можливості застосування роботизації, аграрних дронів і автоматизованих систем у технологічному процесі; обґрунтувати технологію вирощування цукрових буряків для площі 48 га; скласти технологічну карту виконання основних операцій; розробити конструктивне удосконалення збиральної машини; виконати необхідні інженерні розрахунки; провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування та збирання цукрових буряків у невеликих фермерських господарствах.

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування цукрових буряків та конструктивні параметри модернізованої збиральної машини.

Під час виконання роботи використано методи аналізу технологічних процесів, порівняння існуючих технічних рішень, інженерних розрахунків, техніко-економічної оцінки та узагальнення виробничого досвіду. Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані рішення можуть бути використані у фермерських господарствах для підвищення продуктивності праці, зниження експлуатаційних витрат, зменшення втрат під час збирання та покращення загальної ефективності виробництва цукрових буряків.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грабар І., **Ярмола О.,** Семенчук Д. Перспективи використання бпла для підвищення ефективності збирання сільськогосподарських культур Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2026 року. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2026. С. 55-58.

2. Білецький В.Р., **Ярмола О.М.,** Терещук О.О., Креденцер В.Г. Тенденції в технології збирання 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/bileckyj_26-4.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає у можливості використання запропонованих проектних рішень у невеликих фермерських господарствах, які займаються вирощуванням цукрових буряків в умовах Житомирської області. Розроблена технологія вирощування культури на площі 48 га дозволяє раціонально організувати виконання основних механізованих операцій, забезпечити дотримання агротехнічних строків,

зменшити витрати праці та підвищити ефективність використання машинно-тракторного парку.

Запропонована технологічна карта може бути використана як практична основа для планування виробничого процесу, визначення потреби в техніці, робочій силі, паливі, добривах, засобах захисту рослин та інших матеріальних ресурсах. Включення до технології аграрних дронів для обприскування посівів і моніторингу стану поля сприяє підвищенню точності виконання операцій, оперативному виявленню проблемних ділянок, зменшенню ущільнення ґрунту та скороченню витрат пального порівняно з традиційними способами обробки посівів.

Практичну цінність має також застосування роботизованої машини для післясходової боротьби з бур’янами. Це дозволяє зменшити потребу в ручній праці, скоротити використання хімічних засобів захисту рослин, покращити якість догляду за посівами та підвищити екологічність виробництва. Таке рішення є особливо актуальним для фермерських господарств, які прагнуть упроваджувати елементи точного землеробства та автоматизації без різкого збільшення витрат на важку самохідну техніку.

Модернізація збиральної машини для роботи в агрегаті з трактором МТЗ-80 має практичне значення, оскільки дає можливість використовувати наявний у багатьох господарствах енергетичний засіб і зменшити залежність від дорогих спеціалізованих бурякозбиральних комбайнів. Удосконалена машина може забезпечити якісніше викопування коренеплодів, зменшення втрат урожаю, зниження пошкодження буряків та підвищення продуктивності збиральних робіт..

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 31 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 53 сторінки комп’ютерного тексту, містить 7 рисунків, 12 таблиць та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Цукрові буряки є важливою технічною культурою, від якої залежить сировинна база цукрової промисловості та економічна стабільність господарств, що спеціалізуються на інтенсивному рослинництві. Особливістю культури є висока вимогливість до якості підготовки ґрунту, точності сівби, своєчасного захисту рослин і акуратного збирання. Тому результат вирощування визначається не окремою машиною, а збалансованим комплексом технічних засобів, здатних забезпечити виконання всіх операцій у стислі агротехнічні строки.

Для Житомирської області буряківництво має практичне значення як складова виробництва технічних культур. У 2024 році, за даними обласної статистики, було зібрано 6,7 тис. га фабричних цукрових буряків, валовий збір становив 3135,2 тис. ц, а урожайність – 466,8 ц/га. У сезоні 2025 року, за оперативною інформацією Житомирської ОВА, площа культури зменшилася до 4,8 тис. га, проте урожайність досягла близько 495 ц/га. Це свідчить, що подальший розвиток галузі має спиратися не стільки на розширення площ, скільки на підвищення технологічності виробництва.

1.1. Особливості сучасної технології вирощування

Сучасна технологія вирощування цукрових буряків починається з правильного розміщення культури у сівозміні. Найкращими попередниками є озимі зернові, зернобобові та інші культури, після яких поле залишається достатньо чистим від бур’янів і має добрий запас вологи. Часте повернення буряків на одне поле небажане, оскільки це погіршує фітосанітарний стан ґрунту, збільшує поширення хвороб і шкідників, а також підвищує потребу в хімічному захисті.

Основний та передпосівний обробіток ґрунту має забезпечити глибоке розпушення орного шару, вирівняну поверхню поля і якісне посівне ложе. В умовах Полісся та перехідної зони Лісостепу важливо поєднувати розпушення із збереженням вологи, оскільки надмірна кількість проходів техніки спричиняє ущільнення та перевитрати пального. Доцільним є використання комбінованих агрегатів, які за один прохід виконують кілька операцій і готують поле до точного висіву.

Сівба цукрових буряків виконується пунктирним способом із застосуванням сівалок точного висіву. Якість сівби визначає рівномірність сходів, густоту стояння рослин і подальшу можливість механізованого догляду. Сучасні сівалки обладнують вакуумними висівними апаратами, датчиками контролю пропусків і двійників, електроприводами секцій та системами внесення стартових добрив. Застосування RTK-навігації дозволяє підвищити прямолінійність рядків і полегшує наступні проходи культиваторів, обприскувачів і збиральних машин.

Догляд за посівами включає міжрядний обробіток, захист від бур’янів, хвороб і шкідників, а також коригування живлення рослин. У сучасних технологіях дедалі більше значення має точність внесення матеріалів. Обприскувачі із секційним відключенням, стабілізацією штанги та контролем норми внесення зменшують перекриття і сприяють економії препаратів. Для фермерських господарств це важливо, оскільки витрати на насіння, добрива і засоби захисту займають значну частку собівартості продукції.

1.2. Комплекс машин та проблеми механізованого збирання

Комплекс машин для вирощування цукрових буряків охоплює трактори, ґрунтообробні агрегати, сівалки точного висіву, машини для внесення добрив, міжрядні культиватори, обприскувачі, збиральні машини, навантажувачі та транспортні засоби. Ефективність комплексу залежить від узгодження продуктивності кожної ланки. Навіть якісна сівба не забезпечить

високого результату, якщо догляд за посівами або збирання виконуються із запізненням чи з порушенням технологічних вимог.

Найбільш складним етапом є збирання коренеплодів. У великих господарствах застосовують високопродуктивні самохідні бурякозбиральні комбайни, які виконують видалення гички, викопування, очищення і навантаження. Проте для фермерських господарств така техніка часто є занадто дорогою, тому актуальними залишаються причіпні, напівпричіпні або модернізовані збиральні агрегати. Їх перевагою є менша вартість і можливість пристосування до наявного тракторного парку.

Основними недоліками збирання є пошкодження коренеплодів, втрати у ґрунті, надмірне забруднення вороху землею та нестабільна робота робочих органів на вологих або ущільнених ділянках. Тому модернізація збиральної машини повинна бути спрямована на поліпшення підкопування, очищення, регулювання глибини ходу робочих органів і зменшення травмування буряків. Такий підхід безпосередньо пов’язаний із темою роботи, оскільки удосконалення збиральної машини дає змогу підвищити ефективність усього машинного комплексу.

1.3. Роботизація та цифрові технології у буряківництві

Роботизація в рослинництві розвивається у двох напрямах: автоматизація традиційних машин і використання спеціалізованих польових роботів. До першого напряму належать автопілоти тракторів, системи паралельного водіння, телематика, датчики контролю робочих органів, автоматичне керування нормою внесення та електронні карти полів. Такі рішення уже можуть впроваджуватися у фермерських господарствах без повної заміни машинного парку.

Другий напрям пов’язаний із роботами для сівби, механічного прополювання та точкового знищення бур’янів. Для цукрових буряків це особливо актуально, адже культура повільно розвивається на початку вегетації і сильно реагує на конкуренцію бур’янів. Роботизовані

культиватори з камерами, RTK-навігацією і системами розпізнавання рослин можуть працювати ближче до рядка, ніж традиційні агрегати, зменшуючи потребу в ручній праці та суцільному хімічному захисті.

Масове впровадження повністю автономних роботів в Україні поки стримується високою вартістю, складністю сервісу, потребою у підготовлених операторах і нестабільністю цифрової інфраструктури. Однак окремі елементи роботизації вже є реалістичними: автоматичне водіння тракторів, камери на культиваторах, датчики навантаження, контроль перекриттів, електронні журнали робіт та дистанційний моніторинг техніки. Вони підвищують точність операцій і зменшують вплив людського фактора.

1.4. Використання аграрних дронів для моніторингу та обприскування

Аграрні дрони є одним із найперспективніших інструментів точного землеробства. У вирощуванні цукрових буряків їх доцільно використовувати передусім для моніторингу стану посівів. Аерозйомка дозволяє швидко виявити зрідження сходів, нерівномірність розвитку рослин, перезволожені ділянки, осередки хвороб, пошкодження шкідниками або помилки, допущені під час сівби. На основі знімків формують карти неоднорідності поля, які допомагають агроному визначити місця для детальнішого обстеження.

Дрони з RGB-камерами придатні для оперативного візуального контролю, а апарати з мультиспектральними сенсорами дозволяють оцінювати стан рослин за індексами вегетації. Для Житомирської області це важливо через мозаїчність ґрунтів, неоднорідний рельєф і локальні проблеми з вологозабезпеченням. Регулярний моніторинг дає змогу вчасно коригувати технологію, планувати міжрядний обробіток, підживлення або локальний захист рослин.

Дрони-обприскувачі можуть застосовуватися на складноконтурних, невеликих або перезволожених полях, де робота важкого самохідного чи причіпного обприскувача призводить до пошкодження посівів і ущільнення

ґрунту. Їх перевага полягає у мобільності, можливості локальної обробки проблемних ділянок і зменшенні потреби у заїзді важкої техніки на поле. Водночас таке застосування потребує дотримання регламентів безпеки, вимог до засобів захисту рослин та чинних правил використання повітряного простору.

В умовах воєнного стану використання БПЛА має розглядатися не лише як агротехнічна, а й як безпекова процедура. Господарства повинні враховувати місцеві обмеження, порядок погодження польотів і вимоги відповідальних органів. Тому для багатьох фермерів доцільною є сервісна модель, коли дрон-моніторинг або обприскування виконують спеціалізовані оператори з належним досвідом і дозволами.

1.5. Перспективи для фермерських господарств Житомирської області

Розвиток механізації буряківництва у фермерських господарствах Житомирської області має бути поетапним. На першому етапі найбільш доступними є GPS-навігація, електронний облік робіт, модернізація обприскувачів, якісне технічне обслуговування машин і використання дронів для періодичного моніторингу посівів. Ці заходи не потребують надмірних інвестицій, але дозволяють зменшити перевитрати пального, насіння і препаратів.

На другому етапі доцільно впроваджувати точніші системи: контроль висіву на кожній секції, карти полів, локальне внесення добрив, автоматичне відключення секцій обприскувача, камери для ведення культиватора по рядку. Важливо створювати цифрову історію поля, де фіксуються попередники, обробіток ґрунту, внесені добрива, захист рослин, погодні умови та результати збирання. Така інформація допомагає приймати обґрунтовані рішення в наступних сезонах.

Особливу увагу слід приділяти збиральній техніці. Для невеликих і середніх площ економічно доцільним є не завжди придбання нового

комбайна, а модернізація наявної машини: удосконалення підкопувальних органів, очисників, приводу, опорних коліс і механізмів регулювання. Це дозволяє зменшити втрати, знизити пошкодження коренеплодів і підвищити продуктивність агрегату в умовах різної вологості ґрунту.

Перспективною є також кооперація фермерів у використанні дорогих машин. Сервісні загони, машинно-технологічні станції або спільне придбання дронів і збиральних агрегатів дають змогу повніше завантажити техніку протягом сезону та зменшити витрати на одиницю продукції. Для буряківництва, де спеціалізовані машини працюють обмежений період року, така організаційна форма є особливо актуальною.

Висновки до розділу

Сучасна технологія вирощування цукрових буряків потребує високої точності та своєчасності всіх операцій. Найбільш важливими є якісна підготовка ґрунту, точна сівба, ефективний догляд за посівами, контрольоване застосування добрив і засобів захисту рослин, а також мінімізація втрат під час збирання.

Для фермерських господарств Житомирської області перспективними є поетапне впровадження GPS-навігації, аграрних дронів, елементів роботизації, автоматизованих обприскувачів і модернізованих збиральних машин. Удосконалення збиральної машини є практично обґрунтованим напрямом, оскільки воно безпосередньо впливає на втрати врожаю, якість коренеплодів і собівартість виконання збиральних робіт.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ДЛЯ УМОВ НЕВЕЛИКИХ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

2.1. Вихідні умови проектування технології

Проектування технології вирощування цукрових буряків для невеликого фермерського господарства повинно поєднувати класичні агротехнічні вимоги культури з можливостями точного землеробства, роботизації та енергоощадного використання машинно-тракторного парку. У цій роботі приймається виробнича площа посіву 48 га, що є типовою для господарств, які не мають власного повного комплексу спеціалізованої бурякозбиральної техніки, однак можуть ефективно використовувати трактор МТЗ-80, універсальні ґрунтообробні машини, сервісне обприскування аграрними дронами та роботизований догляд за міжряддями.

Умови Житомирської області характеризуються поєднанням достатнього зволоження, різноманітності ґрунтового покриву та потреби у чіткому дотриманні строків польових робіт. Для цукрових буряків важливими є рівномірне посівне ложе, достатній запас вологи в шарі загортання насіння, відсутність плужної підошви, оптимальна густота стояння рослин і недопущення конкуренції бур'янів у перші 45-60 діб після появи сходів. Саме тому в технології особлива увага приділяється якісному основному обробітку, точній сівбі, ранньому моніторингу сходів та механізованому догляду.

На відміну від традиційної технології, де боротьба з бур'янами значною мірою ґрунтується на суцільному хімічному захисті, проектна технологія передбачає комбінування механічного знищення бур'янів роботом FarmDroid FD20 із точковим або малонормовим застосуванням засобів захисту рослин за допомогою аграрного БПЛА DJI Agras T50. Такий підхід зменшує потребу у проходах важкої техніки по полю, знижує ущільнення ґрунту та дає

можливість працювати у стислі агротехнічні строки навіть за обмеженого штату працівників.

Основною метою розділу є розроблення такої технологічної карти, яка може бути реалізована невеликим фермерським господарством без надмірного розширення власного парку машин. Для операцій, які потребують дорогих спеціалізованих засобів, приймається сервісна або кооперaційна форма використання: робот для післясходового догляду та аграрний дрон для обприскування й моніторингу. Збирання коренеплодів планується виконувати удосконаленою у третьому розділі збиральною машиною в агрегаті з трактором МТЗ-80.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування технології

Показник	Прийняте значення	Обґрунтування
Площа посіву	48 га	Площа прийнята згідно із завданням та відповідає можливостям малого господарства.
Попередник	озима пшениця або зернобобові	Забезпечують раннє звільнення поля і дають час для якісного основного обробітку.
Тип сівби	ширина міжрядь 45 см	Дає змогу застосовувати бурякові сівалки, міжрядний догляд та роботизоване прополювання.
Проектна густота	95-100 тис. рослин/га	Забезпечує оптимальне використання площі живлення і формування вирівняних коренеплодів.
Прогнозована врожайність	50 т/га	Реалістичний рівень за умов якісного обробітку, своєчасного захисту і нормального зволоження.
Очікуваний валовий збір	2400 т	48 га × 50 т/га.
Основний трактор	МТЗ-80	Універсальний енергетичний засіб для основних польових і збиральних робіт.
Спосіб обприскування	аграрний дрон DJI Agras T50	Дає змогу обробляти поле без технологічних колій та зменшити ущільнення ґрунту.
Післясходова боротьба з бур’янами	робот FarmDroid FD20	Механічне міжрядне та внутрішньорядне прополювання за RTK-координатами рослин.

2.2. Агротехнічні вимоги до проектної технології

Цукрові буряки мають порівняно тривалий вегетаційний період і повільний початковий ріст, тому рання забур’яненість є одним із головних

чинників втрати врожаю. Культура потребує глибокого розпушеного орного шару, вирівняної поверхні поля та мінімального висушування посівного горизонту. У проектній технології це забезпечується поєднанням лущення стерні після попередника, внесенням основних добрив, зяблевою оранкою на 27-30 см, ранньовесняним закриттям вологи та передпосівною культивацією на глибину загортання насіння.

Передпосівний обробіток повинен створити дрібногрудочкувату структуру ґрунту без ущільнених грудок і глибоких колій. Насіння цукрових буряків висівають у вологий шар на глибину 2,5-3,5 см, залежно від стану ґрунту. При надто глибокому загортанні сходи з’являються нерівномірно, а при мілкому - зростає ризик пересихання насіннєвого ложа. Тому під час підготовки поля під сівбу важливе використання комбінованого агрегату або культиватора з котками, який за один прохід вирівнює, розпушує та ущільнює верхній шар.

Система удобрення у технологічній карті подається у проектному вигляді і може уточнюватися за результатами агрохімічного аналізу ґрунту. Для площі 48 га доцільно поєднати основне внесення фосфорно-калійних добрив восени, стартове живлення при сівбі та підживлення азотом у ранні фази розвитку. Обов'язковим елементом для цукрових буряків є борне живлення, оскільки дефіцит бору погіршує формування коренеплоду і знижує цукристість. Усі засоби захисту рослин і мікродобрива повинні застосовуватися лише відповідно до чинних регламентів, погодних умов та рекомендацій етикетки препарату.

Для умов невеликого фермерського господарства важливо, щоб технологія не була надмірно залежною від одного дорогого спеціалізованого агрегату. Тому машинний комплекс формується за принципом: базові енергоємні операції виконуються власним трактором МТЗ-80, високоточні та сезонно вузькі операції виконуються роботизованим або дроновим сервісом, а збирання - удосконаленою збиральною машиною, що розробляється у кваліфікаційній роботі.

2.3. Проектний комплекс машин і цифрових засобів

Проектний комплекс машин для 48 га повинен забезпечити повний цикл робіт: від післяжнивного лущення до збирання та відвезення коренеплодів. Вибір машин здійснено з урахуванням того, що господарство має трактор МТЗ-80, а спеціалізовані високотехнологічні операції може виконувати власними або залученими засобами. У складі комплексу передбачено ґрунтообробні агрегати, бурякову сівалку точного висіву, розкидач мінеральних добрив, роботизований комплекс для післясходового догляду, аграрний дрон для обприскування і удосконалену збиральну машину.

Таблиця 2.2 – Склад проектного комплексу машин для вирощування цукрових буряків на 48 га

Етап	Операція	Машина або агрегат	Енергетичний засіб	Особливість використання
Основний обробіток	Лущення стерні	дискова борона БДН-2,4 або аналог	МТЗ-80	провокування сходів бур’янів та падалиці
Основний обробіток	Зяблева оранка	плуг ПЛН-3-35	МТЗ-80	глибина 27-30 см, вирівнювання поля восени
Підготовка ґрунту	Закриття вологи	зубові борони або легкий культиватор	МТЗ-80	ранньовесняне збереження запасів вологи
Підготовка ґрунту	Передпосівна культивація	комбінований агрегат або КПС-4 з котками	МТЗ-80	формування посівного ложа 3-4 см
Сівба	Точний висів	бурякова сівалка точного висіву	МТЗ-80	міжряддя 45 см, контроль норми висіву
Догляд	Післясходове прополювання	FarmDroid FD20	автономний робот	механічне міжрядне та внутрішньорядне видалення бур’янів
Захист рослин	Обприскування	DJI Agras T50	аграрний БПЛА	малонормове внесення робочого розчину, робота без колій
Моніторинг	Оцінка стану посівів	БПЛА з RGB/мультиспектральною камерою	дроновий сервіс	карта сходів, стресу, забур’яненості й зон неоднорідності
Збирання	Підкопування і укладання у валок	удосконалена збиральна машина	МТЗ-80	прийнято відповідно до розробки третього розділу
Транспорт	Вивезення коренеплодів	тракторний причіп 2ПТС-4 або аналог	МТЗ-80/інший трактор	підвезення до місця тимчасового зберігання або відвантаження

2.4. Роботизована післясходова боротьба з бур’янами

Найбільш трудомістким періодом у технології вирощування цукрових буряків є догляд за посівами від появи сходів до змикання листків у міжряддях. У цей час культура має слабку конкурентну здатність, а запізнення з прополюванням навіть на кілька діб призводить до пригнічення рослин і втрати потенціалу врожайності. Тому в технологічній карті післясходовий механічний догляд виконується автономним польовим роботом FarmDroid FD20.

FarmDroid FD20 є сонячним польовим роботом для точного висіву і механічного видалення бур’янів. За даними виробника, машина працює з використанням високоточного RTK GPS: під час сівби вона фіксує положення кожної рослини, а в подальшому виконує прополювання між рядками і між рослинами в рядку. Виробник зазначає масу 1250 кг, добову продуктивність до 6 га, кількість рядків 2-12 та міжряддя від 22,5 см, що дає змогу адаптувати робота до посівів цукрових буряків з міжряддям 45 см [1].

У проектній технології робот використовується не для сівби, а саме для післясходової боротьби з бур’янами. Це дозволяє залишити в господарстві звичну бурякову сівалку точного висіву, а робота залучати як сервісну машину у найвідповідальніший період. На площі 48 га один робот із добовою продуктивністю до 6 га здатний виконати один повний прохід приблизно за 8 робочих діб. За потреби скорочення строків допускається кооперaційне використання двох роботів, однак у карті прийнято один роботизований комплекс із роботою у подовженому режимі.

Перевага роботизованого прополювання полягає у зменшенні хімічного навантаження, відсутності ущільнення ґрунту важкими тракторами в ранні фази розвитку культури, зниженні потреби у ручній праці та можливості виконання повторних проходів із високою точністю. Для фермерських господарств Житомирської області така технологія є перспективною у формі сервісу або спільного використання кількома господарствами, оскільки

разове придбання робота може бути економічно складним для площі лише 48 га.



Рис. 2.1. Робот FarmDroid FD20 під час роботи на посівах цукрових буряків.

2.5. Застосування аграрних дронів для обприскування та моніторингу

Аграрні дрони доцільно використовувати у проектній технології у двох напрямах: для оперативного моніторингу стану посівів і для внесення робочих розчинів у періоди, коли заїзд трактора небажаний або економічно недоцільний. Для обприскування приймається БПЛА DJI Agras T50. За офіційними технічними даними, ця модель має бак для обприскування 40 л, робоче навантаження 40 кг, ефективну ширину розпилення 4-11 м на висоті 3 м над культурами, розмір крапель 50-500 мкм і максимальну подачу 16 л/хв із двома розпилювачами або 24 л/хв із чотирма [2].

Для площі 48 га дрон є зручним рішенням, оскільки не потребує технологічних колій у посівах цукрових буряків. Відсутність колій зменшує втрату продуктивної площі, а мала висота польоту і автоматичне планування маршруту забезпечують рівномірність обробки на ділянках складної конфігурації. Практичним обмеженням є залежність від погодних умов: обробку слід виконувати за допустимої швидкості вітру, без опадів, за

температури й вологості, які відповідають регламенту застосування засобів захисту рослин.

Моніторинг посівів у технології виконується перед і після ключових операцій: перед сівбою для оцінки вирівняності поля, після сходів для перевірки густоти рослин, у період активного росту для виявлення зон стресу, забур’яненості, пошкодження шкідниками або дефіциту живлення. Отримані ортофотоплани і карти неоднорідності використовують для уточнення строків роботизованого прополювання, локального обприскування, визначення ділянок з ризиком зниження врожайності та планування логістики збирання.

Під час застосування аграрних дронів необхідно дотримуватися чинних правил польотів, вимог безпеки праці, санітарних зон, регламентів застосування засобів захисту рослин та умов експлуатації конкретної моделі БПЛА. У розділі не задаються рецептури робочих розчинів, оскільки їхній склад і норми повинні визначатися лише за зареєстрованими препаратами, етикеткою, фітосанітарним станом поля та рекомендаціями фахівця із захисту рослин.



Рис. 2.2. Аграрний дрон DJI Agras T50, прийнятий для обприскування посівів.

Таблиця 2.3 – Обґрунтування вибору робота і дрона для проектної технології

Технічний засіб	Ключові параметри	Роль у технології	Перевага для 48 га
FarmDroid FD20	маса 1250 кг; до 6 га/добу; 2-12 рядків; міжряддя від 22,5 см; RTK GPS [1]	післясходове механічне прополювання	зменшує ручну працю та кількість хімічних обробок
DJI Agras T50	бак 40 л; робоче навантаження 40 кг; ширина 4-11 м; крапля 50-500 мкм [2]	обприскування ЗЗР і позакореневе живлення	обробка без технологічних колій, швидка реакція на фітосанітарний стан
БПЛА для моніторингу	RGB/мультиспектральна камера, ортофотоплан, карти неоднорідності	контроль сходів, стресу, забур'яненості	дозволяє приймати рішення за фактичним станом поля

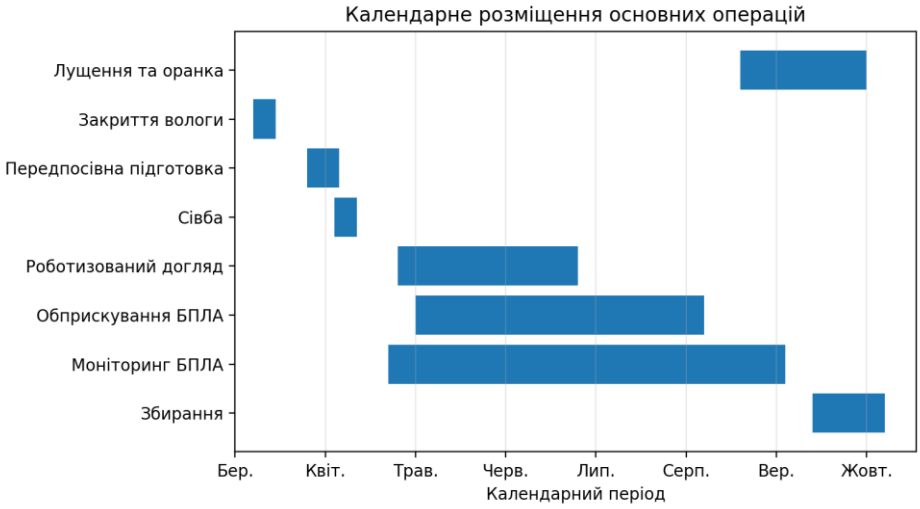


Рис. 2.3. Орієнтовний календар виконання основних операцій при вирощуванні цукрових буряків

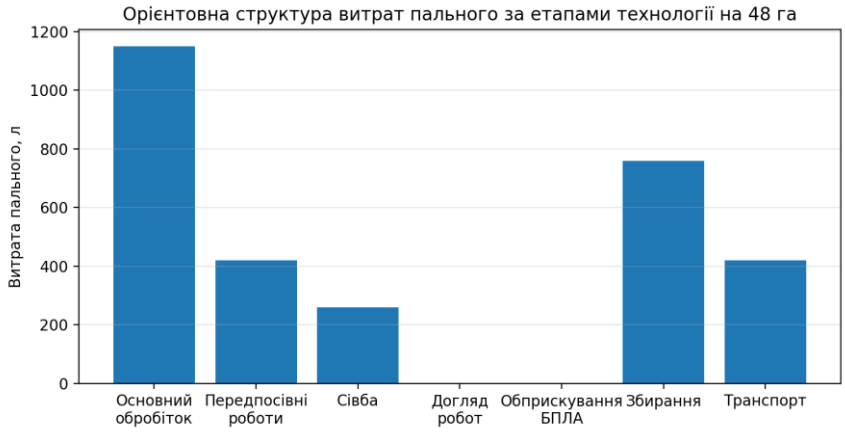


Рис. 2.4. Орієнтовний розподіл витрат пального за етапами технології

2.6. Технологічна карта вирощування цукрових буряків на площі 48 га

Технологічна карта складена для площі 48 га з урахуванням типових строків виконання робіт у зоні Полісся та Лісостепу Житомирської області. У ній прийнято поєднання традиційних машинно-тракторних агрегатів із цифровими засобами: роботизоване післясходове прополювання виконує FarmDroid FD20, а всі операції обприскування - аграрний дрон DJI Agras T50. Збирання виконується удосконаленою збиральною машиною, що агрегатується з трактором МТЗ-80.

Норми витрати матеріалів у карті подані як проектні орієнтири. Остаточні норми добрив уточнюють за агрохімічним аналізом ґрунту, а норми засобів захисту рослин - за фітосанітарним обстеженням, регламентом конкретного препарату та чинними вимогами безпеки.

2.7. Розрахунок основних матеріальних і часових показників

За проектної врожайності 50 т/га валовий збір коренеплодів з площі 48 га становитиме 2400 т. За міжряддя 45 см і густоти 95-100 тис. рослин/га на полі має сформуватися близько 4,56-4,80 млн продуктивних рослин. Для отримання такої густоти приймається висів 1,15-1,25 посівної одиниці на гектар, тобто для всієї площі необхідно близько 55-60 посівних одиниць насіння з урахуванням страхового запасу.

Загальна потреба у робочому розчині для одного дронового обприскування за норми 20 л/га становить 960 л. Для DJI Agras T50 з баком 40 л це відповідає близько 24 заправкам на всю площу. Якщо фактична норма становить 15 л/га, загальний обсяг зменшується до 720 л, а кількість заправок - до 18. Для фермерського господарства це означає, що одна обробка 48 га може бути виконана протягом одного робочого дня за умови готовності води, заряджання акумуляторів і підготовленої карти поля.

Таблиця 2.4 - Технологічна карта вирощування цукрових буряків на площі 48 га

№	Строк виконання	Операція	Агрегат, машина або засіб	Технологічні параметри / матеріали	Обсяг	Продуктивність	Тривалість / результат
1	серпень	Післяжнивне лущення стерні	МТЗ-80 + дискова борона БДН-2,4	глибина 6-8 см, подрібнення решток попередника	48 га	10-12 га/зміну	4-5 змін; створення умов для проростання бур’янів
2	серпень-вересень	Внесення фосфорно-калійних добрив	МТЗ-80 + розкидач добрив	орієнтовно NPK або PK-добрива 350-450 кг/га за аналізом ґрунту	48 га	18-22 га/зміну	2-3 зміни; запас живлення під основний обробіток
3	вересень-жовтень	Зяблева оранка	МТЗ-80 + ПЛН-3-35	глибина 27-30 см, оранка впоперек схилу за потреби	48 га	3,5-4,0 га/зміну	12-14 змін; формування глибокого орного шару
4	жовтень	Осіннє вирівнювання поля	МТЗ-80 + борони/шлейф	вирівнювання гребенів після оранки, без пересушування ґрунту	48 га	15-18 га/зміну	3 зміни; полегшення весняної підготовки
5	березень	Закриття вологи	МТЗ-80 + зубові борони	ранньовесняне боронування у фазі фізичної стиглості ґрунту	48 га	18-20 га/зміну	2-3 зміни; зменшення втрат вологи
6	кінець березня	Передпосівне внесення азоту	МТЗ-80 + розкидач	азотні добрива за результатами аналізу, орієнтовно 200-250 кг/га у фізичній масі	48 га	18-22 га/зміну	2-3 зміни; стартове забезпечення азотом
7	початок квітня	Передпосівна культивація	МТЗ-80 + комбінований агрегат	глибина 3-4 см, вирівнювання, ущільнення посівного ложа	48 га	10-12 га/зміну	4-5 змін; підготовлене посівне ложе
8	I-II декада квітня	Сівба цукрових буряків	МТЗ-80 + сівалка точного висіву	міжряддя 45 см; 1,15-1,25 посівної одиниці/га; глибина 2,5-3,5 см	48 га	14-16 га/зміну	3-4 зміни; рівномірне розміщення рослин
9	після сівби	Коткування	МТЗ-80 + кільч.-шпор.котки	за потреби після сівби на легких ґрунтах	48 га	18-20 га/зміну	2-3 зміни; поліпшення контак.
10	квітень	Перший моніторинг поля	БПЛА для моніторингу	ортофотоплан, оцінка рівномірності посіву і перезволожених зон	48 га	до 48 га/день	1 день; карта проблемних ділянок
11	кінець квітня - травень	Досходове або ранньопіслясходове обпр.	DJI Agras T50	робочий розчин орієнтовно 15-25 л/га; препарат лише згідно регламенту	48 га	10-12 га/год	1 робочий день; захист без технологічних колій
12	травень	Роботизоване прополювання, прохід 1	FarmDroid FD20	механічне міжрядне та внутрішньорядне видалення бур’янів за RTK-координатами	48 га	до 6 га/добу	близько 8 діб; знищення ранніх бур’янів
13	травень	Контроль густоти сходів	БПЛА + польове обстеження	оцінка зріджених зон, забур’яненості, пошкоджень шкідниками	48 га	48 га/день	1 день; уточнення подальшого догляду
14	травень-червень	Локальне обприскування за потреби	DJI Agras T50	малонормове внесення за картами забур’яненості; без конкретизації препарату	48 га або осередки	10-12 га/год	0,5-1 день; зменшення хімічного навантаження
15	червень	Роботизоване прополювання, прохід 2	FarmDroid FD20	повторне механічне розпушення і видалення бур’янів у міжряддях	48 га	до 6 га/добу	близько 8 діб; утримання поля чистим
16	червень	Позакореневе живлення бором	DJI Agras T50	борні мікродобрива згідно регламенту; робочий розчин 15-25 л/га	48 га	10-12 га/год	1 день; профілактика дефіциту бору
17	червень-липень	Роботизоване прополювання, прохід 3	FarmDroid FD20	остаточний прохід до змикання листків у міжряддях	48 га	до 6 га/добу	близько 8 діб; зменшення конкуренції бур’янів
18	липень	Фітосанітарний моніторинг	БПЛА + огляд поля	виявлення осередків хвороб, стресу	48 га	48 га/день	1 день; прийняття рішення
19	липень-серпень	Фунгіцидне або інсектицидне обпр. за пот.	DJI Agras T50	лише зареєстровані засоби і регламенти; без роботи при сильному вітрі	48 га	10-12 га/год	1 день; локалізація ризиків втрати врожаю
20	серпень	Передзбиральне обстеження	БПЛА + польові проби	оцінка маси коренеплодів, забур’яненості, вологості ґрунту	48 га	48 га/день	1 день; визначення черговості збирання
21	вересень-жовтень	Збирання коренеплодів	МТЗ-80 + удосконалена збиральна машина	підкопування коренів і укладання у валок; швидкість та режими згідно 3 розділу	48 га	3,5-4,0 га/зміну	12-14 змін; механізоване збирання
22	вересень-жовтень	Підбирання і навантаження коренеплодів	навантажувач + транспортні засоби	підбирання валків, доочищення і завантаження	2400 т	180-220 т/зміну	11-14 змін; підготовка до відвантаження
23	вересень-жовтень	Вивезення до кагату або пункту приймання	МТЗ-80/трактор + причепи	логістика з урахуванням продуктивності збирання	2400 т	залежить від плеча перев.	безперервно під час збирання
24	після збирання	Облік урож.і аналіз карт	дані БПЛА, ваговий облік,	порівняння карт догляду з факт. урожаєм	48 га	-	формування рекомендацій

Роботизоване прополювання є тривалішим за дронове обприскування, але не потребує пального і може виконуватися з мінімальною участю оператора. За добової продуктивності до 6 га один повний прохід по полю 48 га займає приблизно 8 діб. Три проходи потребують близько 24 діб роботи у травні-червні, що відповідає критичному періоду контролю бур'янів у посівах цукрових буряків. Перевагою є те, що робот може працювати в подовженому режимі, а оператор виконує лише налаштування, контроль і технічне обслуговування.

Для збирання приймається продуктивність удосконаленої збиральної машини в агрегаті з трактором МТЗ-80 на рівні 3,5-4,0 га за зміну. За таких умов збирання 48 га триватиме 12-14 змін без урахування вимушених простоїв через погодні умови або логістику. У технологічній схемі важливо синхронізувати роботу збирального агрегату, навантажувача і транспорту, оскільки відставання вивезення коренеплодів призводить до накопичення валків і втрат якості.

Таблиця 2.5 – Узагальнені розрахункові показники технології для площі 48 га

Показник	Формула / припущення	Значення	Практичне значення
Валовий збір	48 га × 50 т/га	2400 т	обсяг для планування транспорту і зберігання
Потреба насіння	1,2 пос. од./га × 48 га	57,6 пос. од.	доцільно закупити 58-60 пос. од.
Робочий розчин на 1 обприскування	20 л/га × 48 га	960 л	приблизно 24 заправки бака 40 л
Тривалість 1 роботизованого проходу	48 га / 6 га/добу	8 діб	планувати заздалегідь у вікні травень-червень
Тривалість 3 проходів робота	8 діб × 3	24 доби	повний контроль бур'янів у критичний період
Тривалість збирання	48 га / 3,5-4,0 га/зміну	12-14 змін	потребує погодного резерву і транспорту

2.8. Організація збирання удосконаленою машиною в агрегаті з МТЗ-80

Заключною операцією технології є збирання цукрових буряків. У межах кваліфікаційної роботи приймається, що ця операція виконується удосконаленою збиральною машиною, розробленою у третьому розділі, в агрегаті з трактором МТЗ-80. Такий варіант особливо важливий для невеликих фермерських господарств, оскільки придбання самохідного бурякозбирального комбайна для площі 48 га економічно необґрунтоване. Використання модернізованої машини дає змогу механізувати підкопування коренеплодів і укладання їх у валок з подальшим підбиранням та навантаженням.

Перед початком збирання проводиться оцінка вологості ґрунту, засміченості посіву, маси коренеплодів і прохідності поля. За надмірного перезволоження зростає залипання робочих органів, тяговий опір і забрудненість коренеплодів; за пересушеного ґрунту збільшується пошкодження коренів і втрати при підкопуванні. Оптимальним є збирання у період, коли ґрунт достатньо крихкий, а коренеплоди легко відокремлюються від ґрунтового шару.

Маршрути руху збирального агрегату доцільно планувати за картами поля, отриманими під час передзбирального дронового обстеження. Це дає можливість почати збирання з ділянок із кращою прохідністю, уникати перезволожених зон і завчасно розмістити транспортні засоби. Для зменшення простоїв необхідно, щоб продуктивність підбирання та перевезення коренеплодів відповідала продуктивності збиральної машини. Якщо навантаження і транспорт відстають, коренеплоди довше залишаються у валках, що підвищує ризик механічних пошкоджень і втрат якості.

Висновки по розділу

У розділі спроектовано сучасну технологію вирощування цукрових буряків для невеликого фермерського господарства на площі 48 га. Технологія поєднує базові машинно-тракторні агрегати на основі трактора МТЗ-80 з

роботизованим доглядом, дроновим обприскуванням і цифровим моніторингом посівів. Для післясходової боротьби з бур’янами прийнято робот FarmDroid FD20, який забезпечує механічне видалення бур’янів у міжряддях та між рослинами. Це дає змогу зменшити потребу в ручній праці та скоротити хімічне навантаження на посіви. Для обприскування прийнято аграрний дрон DJI Agras T50. На площі 48 га одна дронова обробка може бути виконана протягом одного робочого дня, а відсутність технологічних колій зменшує ущільнення ґрунту і втрати продуктивної площі. Складена технологічна карта охоплює повний цикл вирощування: післяжнивний і основний обробіток ґрунту, передпосівну підготовку, точну сівбу, роботизовані проходи догляду, дронове обприскування, моніторинг, збирання удосконаленою машиною в агрегаті з МТЗ-80 та транспортування коренеплодів. За проектної врожайності 50 т/га валовий збір з площі 48 га становитиме близько 2400 т. Для якісного виконання робіт необхідно узгодити строки роботизованого догляду, дронового захисту та збирання, а також передбачити резерв часу на погодні умови.

РОЗДІЛ 3
МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

3.1. Призначення допоміжних вузлів і систем приводу збиральних машин

Ефективність збирання цукрових буряків значною мірою визначається не лише формою основних робочих органів, а й правильним компонуванням допоміжних вузлів машини. Саме рама, ходова частина, навісний або причіпний пристрій, механізми встановлення робочої глибини, запобіжні елементи та привод робочих органів забезпечують сталість технологічного процесу, надійне утримання заданого режиму роботи та можливість агрегатування з трактором відповідного тягового класу.

Рама збиральної машини виконує роль несучої основи, на якій розміщуються викопувальні, транспортуючі та очисні органи. Через неї сприймаються сили опору ґрунту, маса вузлів, динамічні навантаження під час руху по нерівностях, а також тягове зусилля від енергетичного засобу. Тому конструкція рами повинна поєднувати достатню жорсткість, простоту виготовлення і ремонтопридатність. Для машин, що працюють у важких польових умовах, доцільно застосовувати зварні рами з профільного металопрокату, оскільки вони добре пристосовані до встановлення кронштейнів, підшипникових опор, стояків і регулювальних елементів.

За способом з’єднання з трактором сільськогосподарські машини поділяють на начіпні, напівпричіпні та причіпні. Начіпні агрегати повністю утримуються триточковою навісною системою трактора, що робить їх маневровими, але обмежує допустиму масу. Напівпричіпні машини передають частину ваги на трактор, а частину – на власні опорні колеса. Причіпні конструкції спираються на власну ходову систему і потребують окремого пристрою для переведення у транспортне положення. Для модернізованої збиральної машини, яка має декілька активних робочих органів та підвищену

масу, найбільш раціональною є напівпричіпна схема з триточковим приєднанням.

Опорні колеса у такій машині виконують дві функції: стабілізують положення рами відносно поверхні поля та частково розвантажують навісну систему трактора. Колеса можуть бути пневматичними або металевими з жорстким ободом. Пневматичні колеса краще демпфують удари та мають менший опір перекочуванню на розпушеному вологому ґрунті, однак вони дорожчі та складніші в обслуговуванні. Жорсткі металеві колеса простіші, достатньо міцні та придатні для роботи в умовах, де не потрібна висока транспортна швидкість. У даній модернізації перевага надається жорстким опорним колесам, оскільки вони відповідають вимогам простоти, надійності та низької собівартості виготовлення.

Привод активних робочих органів може здійснюватися трьома основними способами: від валу відбору потужності трактора, від гідродвигуна або від опорно-привідного колеса. ВВП забезпечує передачу значного крутного моменту й добре підходить для приводів бітерів, шнеків і очисних валків. Гідропривод має перевагу гнучкого компонування, адже гідромотор можна розмістити безпосередньо біля робочого органа, однак така система складніша та дорожча. Привод від опорного колеса доцільний лише для механізмів з малим навантаженням, де потрібно синхронізувати частоту обертання з поступальною швидкістю машини.

Для модернізованої збиральної машини вибрано механічний привод від ВВП трактора через конічний редуктор і ланцюгові передачі. Таке рішення дає змогу передати обертання на обидва боки агрегату, змінити напрямок обертання робочих органів і отримати необхідні частоти для бітера та шнекового очисника.

3.2. Обґрунтування конструктивної модернізації

Метою модернізації є підвищення якості викопування і первинного очищення коренеплодів цукрових буряків під час збирання, а також зменшення

частки ручної праці на завершальних операціях. У базовій технології значна кількість коренів після підкопування потребує додаткового підбирання, очищення від ґрунту та завантаження. Тому конструктивне вдосконалення спрямовується на створення вузла, який забезпечує стабільне підкопування рядків, виведення коренів із ґрунту, їх часткове очищення та укладання у валок для подальшого підбирання або навантаження.

Вихідними умовами для проєктування є робота машини в міжрядді 45 см, агрегатування з трактором універсально-просапного типу, використання стандартної частоти ВВП 540 об/хв, а також забезпечення робочої швидкості близько 9 км/год. Такий режим дає можливість виконувати збирання без надмірного руйнування коренеплодів і без різкого збільшення тягового опору.

Запропонована конструкція передбачає використання зварної рами прямокутної форми. До передньої поперечної балки приєднується навісний трикутник для з’єднання з верхньою і нижніми тягами трактора. На цій же частині рами розміщуються стояки підкопувальних лап, які встановлюються з кроком, що відповідає ширині міжряддя. Легкознімне кріплення робочих органів дозволяє швидко виконувати заміну або регулювання елементів залежно від вологості ґрунту, глибини залягання коренів і стану поля.

За підкопувальними органами встановлюється бітер, який сприяє відокремленню коренів від ґрунтового пласта і спрямовує їх до очисної зони. Очисна частина виконується у вигляді шнекових валків. Вони не лише видаляють налиплий ґрунт, а й переміщують коренеплоди вздовж робочої ширини у напрямку формування валка. Таке компонування забезпечує суміщення трьох операцій: підкопування, попереднього очищення та укладання коренів.

Регулювання глибини ходу підкопувальних органів пропонується виконувати зміною положення навісної системи та довжини верхньої тяги трактора. Оскільки лемеші мають властивість самовстановлення у ґрунті, цей спосіб є достатньо простим і не потребує складного гвинтового або

гідравлічного механізму. Опорні колеса додатково стабілізують агрегат і зменшують коливання рами в поздовжній площині.

Отже, вибране конструктивне рішення відповідає вимогам технологічної простоти, можливості виготовлення в умовах ремонтної майстерні та сумісності з наявними енергетичними засобами господарства. Основним модернізованим вузлом є система активного очищення і формування валка, а її працездатність забезпечується раціонально підібраним приводом.

3.3. Будова модернізованої збиральної машини

Основою машини є зварна рама прямокутного типу, виготовлена з профільних труб. Поздовжні та поперечні балки утворюють просторово стійку несучу систему, на якій розміщуються підкопувальні органи, бітер, шнековий очисник, опорні колеса і вузли приводу. Така конструкція дає змогу рівномірно розподілити навантаження між елементами рами й забезпечити достатню жорсткість під час роботи в полі.

Передня частина рами обладнується навісним трикутником із профільної труби. У верхній зоні трикутника встановлюються вушка для з’єднання з верхньою тягою трактора, а в нижній частині передбачаються осі для приєднання нижніх тяг. Завдяки такому рішенню агрегатування не потребує складних перехідних пристроїв, а переведення машини з транспортного положення у робоче здійснюється штатною навісною системою трактора.

Підкопувальні робочі органи закріплюються на передній поперечній балці за допомогою хомутів. Такий спосіб кріплення дозволяє змінювати положення лап, забезпечувати потрібний крок між ними та виконувати технічне обслуговування без демонтажу всієї рами. Робоча глибина підбирається так, щоб леміш проходив нижче основної частини коренеплоду і не пошкоджував його хвостову частину.

Бітерний вал встановлюється на парі П-подібних стояків, приварених до поздовжніх балок. Його завдання полягає у руйнуванні ґрунтового пласта після підкопування, підхопленні коренів і подачі їх у зону очищення. Для

забезпечення плавної роботи вал монтується у підшипникових опорах, а натяг ланцюга приводу може регулюватися переміщенням опорного вузла.

Очисний блок складається з трьох шнекових валків, які розміщені за бітером. Шнеки обертаються у напрямку, що забезпечує переміщення коренеплодів уздовж робочої зони та поступове відділення ґрунтових домішок. Завдяки різниці між поступальною швидкістю агрегату і коловою швидкістю шнеків корені не накопичуються перед очисником, а рівномірно переміщуються до місця укладання у валок.

Опорні колеса розміщуються на кінцях поздовжніх балок. Кожне колесо має жорсткий металевий обід, диск, ступицю та піввісь. Ступиця встановлюється на підшипниках, що зменшує опір руху і підвищує довговічність вузла. Піввісь кріпиться до стояка, який за допомогою хомутового з’єднання фіксується на рамі. Такий варіант дозволяє у разі потреби змінювати положення коліс відносно робочих органів.

Система приводу складається з карданної передачі від ВВП трактора, конічного редуктора, проміжних валів, підшипникових опор, ланцюгових муфт і ланцюгових передач. Конічний редуктор установлюється на спеціальній плиті у верхній частині рами. Він розподіляє крутний момент на праву та ліву сторони: одна гілка передає рух на бітер, друга – на шнековий очисник. Для підтримання працездатності ланцюгових передач передбачаються регулювання натягу та захисні кожухи.

Перевага такої будови полягає у технологічній доступності всіх вузлів. Основні елементи можуть бути виготовлені зі стандартного металопрокату, а деталі приводу – підібрані зі стандартних механічних передач. Це зменшує вартість модернізації, полегшує ремонт і робить машину придатною для використання в умовах господарств різного рівня технічного забезпечення.

3.4. Розрахунок основних параметрів модернізованого вузла

3.4.1. Кінематичний розрахунок приводу робочих органів

Привод активних органів здійснюється від валу відбору потужності трактора. Номінальна частота обертання ВВП приймається nВВП = 540 об/хв. Основними елементами, для яких необхідно визначити робочі частоти, є бітерний вал і шнековий очисник. Їхня колова швидкість повинна бути не меншою за швидкість поступального руху машини, інакше коренеплоди будуть накопичуватися перед робочими органами та погіршуватиметься якість очищення.

Робоча швидкість збирального агрегату приймається 9 км/год. У розрахунках її переводимо в одиниці СІ:

$$V_м = 9 \cdot 1000 / 3600 = 2{,}5 \text{ м/с}.$$

Кутова швидкість бітера визначається за залежністю:

$$\omega_б = Vм / R_б, \qquad (3.1)$$

де $\omega_б$ – кутова швидкість бітера, $с^{-1}$; $V_м$ – швидкість руху машини, м/с; $R_б$ – радіус бітера, м.

За радіуса бітера Rб = 0,23 м отримаємо:

$$\omega_б = 2{,}5 / 0{,}23 = 10{,}86 \text{ с}^{-1}.$$

Щоб забезпечити випереджальну дію робочого органа, приймаємо частоту обертання бітера $n_б$ = 120 об/хв, що відповідає кутовій швидкості:

$$\omega_б = \pi \cdot n_б / 30 = 3{,}14 \cdot 120 / 30 = 12{,}56 \text{ с}^{-1}.$$

Частоту обертання шнеків очисника визначаємо аналогічно. Для шнека з радіусом $R_ш$ = 0,07 м кутова швидкість становитиме:

$$\omega_ш = V_м / R_ш = 2{,}5 / 0{,}07 = 35{,}7 \text{ с}^{-1}. \qquad (3.2)$$

Відповідна частота обертання:

$$n_ш = 30 \cdot \omega_ш / \pi = 30 \cdot 35{,}7 / 3{,}14 = 341{,}2 \text{ об/хв}.$$

Оскільки шнековий очисник одночасно очищує корені та переміщує їх уздовж осі валка, приймаємо робочу частоту з невеликим запасом:

$$n_ш = 350 \text{ об/хв}.$$

Для зміни напрямку передачі руху та зменшення частоти обертання після ВВП застосовується конічний редуктор з передатним відношенням ір = 2. Тоді частота обертання його вихідного вала дорівнює:

$$n_р = n_{ВВП} / i_р = 540 / 2 = 270 \text{ об/хв.}$$

Передатне відношення ланцюгової передачі приводу бітера визначається як відношення частоти вихідного вала редуктора до прийнятої частоти бітера:

$$i_б = n_р / n_б = 270 / 120 = 2{,}25. \quad (3.3)$$

Для приводу шнекового очисника передатне відношення становитиме:

$$i_ш = n_р / n_ш = 270 / 350 = 0{,}771. \quad (3.4)$$

Отримані значення показують, що привод бітера повинен зменшувати частоту обертання, а привод шнеків – дещо її підвищувати відносно вихідного вала редуктора. Тому для кожної гілки приводу підбираються окремі зірочки ланцюгових передач.

3.4.2. Розрахунок ланцюгової передачі приводу бітера

Ланцюгова передача приводу бітера передає крутний момент від вихідного вала редуктора до бітерного вала. Для розрахунку приймаємо: передатне відношення $i_б = 2{,}25$; частота обертання ведучої зірочки $n_1 = 270$ об/хв; частота обертання веденої зірочки $n_2 = 120$ об/хв; крутний момент на ведучому валу $M_1 = 276$ Н·м.

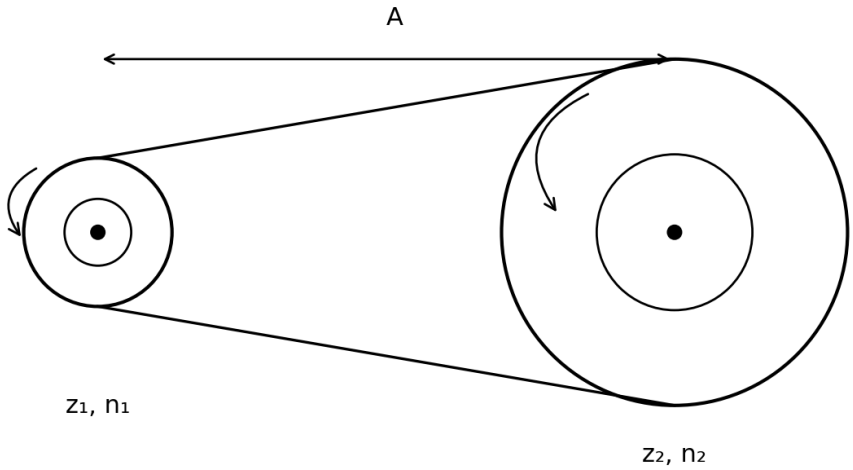


Рис. 3.1. Розрахункова схема ланцюгової передачі

Кількість зубів ведучої зірочки приймаємо $z_1 = 13$. Тоді розрахункова кількість зубів веденої зірочки:

$$z_2 = z_1 \cdot iб = 13 \cdot 2{,}25 = 29{,}25.$$

З урахуванням стандартного ряду приймаємо $z_2 = 29$ зубів.

Для уточнення умов роботи передачі визначаємо коефіцієнт експлуатаційного навантаження:

$$K_e = k_д \cdot k_A \cdot k_н \cdot k_р \cdot k_с \cdot k_п, \quad (3.5)$$

де $k_д$ – динамічний коефіцієнт; k_A – коефіцієнт впливу міжосьової відстані; $k_н$ – коефіцієнт нахилу лінії центрів; $k_р$ – коефіцієнт періодичності регулювання натягу; $k_с$ – коефіцієнт способу мащення; $k_п$ – коефіцієнт режиму роботи.

Для польових умов приймаємо: kд = 1,5; kA = 1; kн = 1; kр = 1,25; kс = 1,5; kп = 1,25. Тоді:

$$Ke = 1{,}5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}25 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}25 = 3{,}51.$$

Орієнтовний крок ланцюга визначаємо за умовою допустимого тиску в шарнірах:

$$t \geq 2{,}8 \cdot \sqrt[3]{(M_1 \cdot Ke / (z_1 \cdot [p]))}, \quad (3.6)$$

де [p] – допустимий тиск у шарнірах ланцюга. Для попереднього вибору приймаємо [p] = 22,7 МПа. Після підстановки даних маємо:

$$t \geq 2{,}8 \cdot \sqrt[3]{(276 \cdot 3{,}51 / (13 \cdot 22{,}7 \cdot 10^6))} = 23{,}8 \text{ мм}.$$

Найближчим більшим стандартним значенням є крок t = 25,4 мм. Для такого ланцюга перевіряємо середній тиск у шарнірах:

$$p = 2{,}8^3 \cdot M_1 \cdot Ke / (z_1 \cdot t^3) = 20{,}1 \text{ МПа}.$$

Оскільки p = 20,1 МПа < [p] = 22,7 МПа, вибраний крок ланцюга задовольняє умову працездатності. Приймаємо роликовий приводний ланцюг з кроком 25,4 мм, діаметром валика 7,95 мм та розрахунковим руйнівним зусиллям F = 49050 Н.

Ділильний діаметр ведучої зірочки визначаємо за формулою:

$$d_1 = t / \sin(180° / z_1). \quad (3.7)$$

$$d_1 = 25{,}4 / \sin(180° / 13) = 106{,}1 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр ведучої зірочки:

$$D_{зов1} = t / \operatorname{tg}(180° / z_1) + 0{,}6t = 118{,}29 \text{ мм}.$$

Для веденої зірочки з кількістю зубів $z_2 = 29$ ділильний діаметр становить:

$$d_2 = t / \sin(180° / z_2) = 234{,}9 \text{ мм}. \quad (3.8)$$

Зовнішній діаметр веденої зірочки:

$$D_{зов2} = t / \operatorname{tg}(180° / z_2) + 0{,}6t = 248{,}79 \text{ мм}. \quad (3.9)$$

Додатково перевіряємо тиск у шарнірах за коловим зусиллям. Колове зусилля на ведучій зірочці:

$$F_к = 2M_1 / d_1 = 2 \cdot 276 / 0{,}106 = 5207{,}5 \text{ Н}.$$

Середній тиск у шарнірах ланцюга:

$$p = F_к \cdot K_e / (B \cdot d_в) = 21{,}99 \text{ МПа}.$$

Допустиме значення $[p] = 22{,}7$ МПа, тому умова міцності шарнірів виконується.

Попередня міжосьова відстань для ланцюгової передачі може бути прийнята за залежністю:

$$A = 30t = 30 \cdot 25{,}4 = 762 \text{ мм}. \quad (3.10)$$

З урахуванням компонування модернізованої машини та розташування підшипникових опор приймаємо конструктивну міжосьову відстань $A = 520$ мм. Перевіряємо її за мінімально допустимим значенням:

$$A_{min} = 0{,}6(D_{зов1} + D_{зов2}) + 50. \quad (3.11)$$

$$A_{min} = 0{,}6(118{,}29 + 248{,}79) + 50 = 270{,}25 \text{ мм}.$$

Оскільки $A = 520$ мм $> A_{min} = 270{,}25$ мм, прийнята міжосьова відстань є допустимою.

Довжина ланцюга, виражена у кількості кроків, визначається за формулою:

$$L_т = 2A_т + 0{,}5z_c + \Delta^2 / A_т, \quad (3.12)$$

де:

$$A_т = A / t = 520 / 25{,}4 = 20{,}47; \quad (3.13)$$

$$z_c = z_1 + z_2 = 13 + 29 = 42; \quad (3.14)$$

$$\Delta = (z_2 - z_1) / 2\pi = (29 - 13) / 6{,}28 = 2{,}55. \quad (3.15)$$

Тоді:

$$L_т = 2 \cdot 20{,}47 + 0{,}5 \cdot 42 + 2{,}55^2 / 20{,}47 = 62{,}29.$$

Приймаємо ціле значення Lт = 63 кроки. Розрахункова довжина ланцюга:

$$L = L_т \cdot t = 63 \cdot 25{,}4 = 1600{,}2 \text{ мм}. \quad (3.16)$$

Частота входження ланок у зачеплення із зірочкою:

$$\nu = 4 \cdot z_1 \cdot n_1 / (60 \cdot L_т) = 4 \cdot 13 \cdot 270 / (60 \cdot 63) = 3{,}7 \text{ с}^{-1}.$$

Для роликового ланцюга допустиме значення становить $[\nu] = 20$ с$^{-1}$, тому умова $\nu \leq [\nu]$ виконується.

Середня швидкість ланцюга дорівнює:

$$V = z_1 \cdot n_1 \cdot t / (60 \cdot 10^3) = 13 \cdot 270 \cdot 25{,}4 / (60 \cdot 10^3) = 1{,}486 \text{ м/с}. \quad (3.17)$$

Сила відцентрових навантажень:

$$F_v = qV^2, \quad (3.18)$$

де q = 5 кг/м – маса одного метра ланцюга. Тоді:

$$F_v = 5 \cdot 1{,}486^2 = 11{,}04 \text{ Н}.$$

Зусилля від провисання ланцюга визначаємо за залежністю:

$$F_f = kf \cdot q \cdot g \cdot A. \quad (3.19)$$

$$F_f = 1 \cdot 5 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}52 = 25{,}5 \text{ Н}.$$

Коефіцієнт запасу міцності ланцюга:

$$k = F / (F_к + F_v + F_f). \quad (3.20)$$

$$k = 49050 / (5207{,}5 + 11{,}04 + 25{,}5) = 9{,}35.$$

Для ланцюга з кроком 25,4 мм при частоті $n_1 = 270$ об/хв допустимий запас становить $[k] = 8{,}3$. Оскільки $k = 9{,}35 > [k] = 8{,}3$, передача має достатній запас міцності.

3.4.3. Перевірка шпонкового з’єднання привідної зірочки

Зірочка ланцюгової передачі встановлюється на валу за допомогою шпонкового з’єднання. Таке з’єднання повинно надійно передавати крутний момент від вала до зірочки без зрізу шпонки та без надмірного зминання контактних поверхонь.

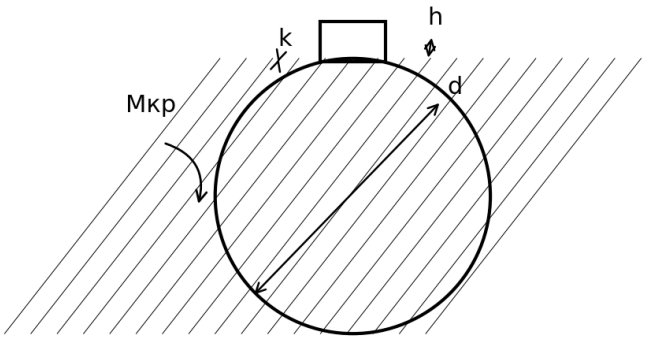


Рис. 3.2. Схема шпонкового з’єднання привідної зірочки

Для вала діаметром d = 30 мм приймаємо призматичну шпонку стандартного розміру: ширина b = 10 мм, висота h = 8 мм, конструктивна довжина l = 50 мм. Робоча довжина шпонки визначається як:

$$l_p = l - b = 50 - 10 = 40 \text{ мм} = 0{,}04 \text{ м}.$$

Для перевірки зминання приймаємо робочу висоту контакту k = 5 мм = 0,005 м. Напруження зминання розраховується за формулою:

$$\sigma_{зм} = 2M / (d \cdot l_p \cdot k) \le [\sigma_{зм}]. \quad (3.21)$$

Напруження зрізу шпонки:

$$\tau_{зр} = 2M / (d \cdot l_p \cdot b) \le [\tau_{зр}]. \quad (3.22)$$

Підставляємо M = 276 Н·м; d = 0,03 м; l_p = 0,04 м; k = 0,005 м; b = 0,01 м:

$$\sigma_{зм} = 2 \cdot 276 / (0{,}03 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}005) = 92 \cdot 10^6 \text{ Па} = 92 \text{ МПа}.$$

$$\tau_{зр} = 2 \cdot 276 / (0{,}03 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}01) = 46 \cdot 10^6 \text{ Па} = 46 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруження для даного типу з’єднання приймаємо $[\sigma_{зм}]$ = 110 МПа та $[\tau_{зр}]$ = 60 МПа. Оскільки $\sigma_{зм}$ = 92 МПа < 110 МПа, а $\tau_{зр}$ = 46 МПа < 60 МПа, вибране шпонкове з’єднання забезпечує передачу крутного моменту з необхідним запасом міцності.

3.5. Технологічна оцінка запропонованої модернізації

Запропонована модернізація збиральної машини спрямована на підвищення стабільності виконання операцій підкопування, очищення та валкоутворення. Підкопувальні органи вивільняють корені з ґрунту, бітерний вал інтенсифікує руйнування ґрунтового пласта, а шнековий очисник забезпечує переміщення коренеплодів і видалення частини домішок.

Узгодження частоти обертання цих органів зі швидкістю руху агрегату дає змогу зменшити втрати, пошкодження коренів і забивання робочої зони.

Вибір приводу від ВВП трактора є доцільним, оскільки він забезпечує достатній запас потужності для роботи активних органів у змінних польових умовах. Конічний редуктор дозволяє компактно розподілити обертальний рух на дві гілки, а ланцюгові передачі спрощують компонування, дають можливість змінювати передатні відношення заміною зірочок і не потребують високої точності монтажу, характерної для зубчастих передач.

Розрахунок ланцюгової передачі підтвердив, що вибраний крок 25,4 мм забезпечує допустимий тиск у шарнірах і достатній коефіцієнт запасу міцності. Перевірка шпонкового з’єднання показала, що прийняті розміри шпонки забезпечують роботу без перевищення допустимих напружень зминання та зрізу. Отже, запропоновані параметри можуть бути використані для виготовлення модернізованого вузла збиральної машини.

Очікуваний виробничий ефект полягає у зменшенні трудомісткості збирання, підвищенні якості формування валка та полегшенні подальшого підбирання або завантаження коренеплодів у транспортний засіб. Крім того, використання простих металоконструкцій і стандартних елементів приводу знижує вартість модернізації та робить її придатною для впровадження в умовах аграрних підприємств.

Висновки по розділу

Обґрунтовано конструктивну модернізацію збиральної машини для цукрових буряків, яка передбачає застосування зварної рами, триточкового приєднання, опорних коліс, бітерного вала та шнекового очисника. Запропонована схема дає змогу поєднати підкопування, попереднє очищення і укладання коренеплодів у валок, що зменшує частку ручної праці та підвищує технологічну ефективність процесу збирання. Для приводу робочих органів прийнято використання валу відбору потужності трактора з частотою 540 об/хв, конічного редуктора з передатним відношенням 2 та ланцюгових передач для

бітера й шнекового очисника. Визначено основні кінематичні параметри: частота обертання бітера становить 120 об/хв, частота обертання шнеків очисника – 350 об/хв, частота вихідного вала редуктора – 270 об/хв. Розрахована ланцюгова передача приводу бітера має крок 25,4 мм, зірочки із кількістю зубів $z_1 = 13$ та $z_2 = 29$, міжосьову відстань 520 мм і довжину ланцюга 1600,2 мм.

Перевірка міцності ланцюга та шпонкового з’єднання показала, що обрані конструктивні параметри відповідають умовам працездатності та можуть бути використані під час виготовлення модернізованої збиральної машини.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1. Вихідні положення та методика економічної оцінки

Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень виконується для підтвердження доцільності удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків у невеликому фермерському господарстві. У попередніх розділах прийнято площу посіву 48 га, проектну врожайність 50 т/га, застосування роботизованої післясходової боротьби з бур’янами, обприскування аграрним дроном та збирання удосконаленою збиральною машиною в агрегаті з трактором МТЗ-80. У цьому розділі визначено вплив запропонованих рішень на виробничі витрати, втрати продукції, собівартість коренеплодів і строк окупності модернізації.

Для розрахунків прийнято порівняльний підхід: базовий варіант характеризує традиційну технологію з використанням звичайних машинно-тракторних агрегатів, тракторного обприскувача та менш досконалої збиральної машини; проектний варіант передбачає залучення робота для післясходового догляду, дрона для обприскування та моніторингу, а також використання модернізованої збиральної машини. Оскільки площа 48 га є відносно невеликою, придбання дорогого робота і аграрного дрона у власність не розглядається як основний варіант. Раціональнішим є сервісне або кооперaційне використання таких засобів, а капітальні вкладення господарства пов’язані насамперед із модернізацією збиральної машини.

Усі вартісні показники наведено як проектні розрахункові величини, які можуть уточнюватися під час складання фактичного бізнес-плану залежно від цін на пальне, засоби захисту рослин, оплату праці, запасні частини та послуги підрядників. Розрахунки не включають земельну оренду, податки, адміністративні витрати та витрати на зберігання, оскільки метою є порівняння саме технічних рішень у межах виробничої технології.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічних розрахунків

Показник	Значення	Одиниця виміру
Площа вирощування цукрових буряків	48	га
Проектна біологічна врожайність	50	т/га
Валовий біологічний урожай	2400	т
Розрахункова ціна реалізації коренеплодів	1800	грн/т
Втрати під час збирання у базовому варіанті	6,0	%
Втрати під час збирання у проектному варіанті	3,5	%
Розрахункова вартість модернізації збиральної машини	150000	грн

4.2. Обґрунтування капітальних вкладень у модернізацію збиральної машини

Основним власним інвестиційним рішенням у роботі є модернізація збиральної машини для викопування та укладання коренеплодів цукрових буряків у валок. Її застосування в агрегаті з трактором МТЗ-80 дозволяє використовувати наявний у господарстві енергетичний засіб і не потребує придбання дорогого самохідного бурякозбирального комбайна. Модернізація спрямована на поліпшення якості підкопування, очищення коренів від ґрунту та зменшення втрат під час збирання.

До складу капітальних витрат віднесено придбання металопрокату, виготовлення елементів рами і кронштейнів, встановлення приводу робочих органів, придбання ланцюгових передач, підшипникових вузлів, редуктора, опорних коліс, а також витрати на слюсарно-зварювальні роботи, складання, регулювання і виробниче випробування. Такий підхід є прийнятним для фермерського господарства, оскільки значну частину робіт можна виконати в ремонтній майстерні або на базі місцевого сервісного підприємства.

Таблиця 4.2 - Орієнтовна структура капітальних витрат на модернізацію збиральної машини

Стаття витрат	Сума, тис. грн	Частка, %
Металопрокат, листовий метал, труби і кронштейни	38,0	25,3
Редуктор, зірочки, ланцюги, муфти, підшипникові вузли	47,0	31,3

Продовження таблиці 4.2

Опорні колеса, осі, кріпильні та регулювальні елементи	21,0	14,0
Слюсарно-зварювальні та складальні роботи	24,0	16,0
Монтаж, налаштування, фарбування, випробування	12,0	8,0
Непередбачені витрати та транспортні витрати	8,0	5,4
Разом	150,0	100,0

Таким чином, модернізація є відносно невеликим інвестиційним проектом. Її перевага полягає у тому, що вона не створює надмірного фінансового навантаження для господарства, а економічний результат формується не лише за рахунок зниження витрат на збирання, а й за рахунок збереження частини врожаю, яка втрачається при менш якісному викопуванні та очищенні коренеплодів.

4.3. Розрахунок виробничих витрат за базовим і проектним варіантами

Виробничі витрати на вирощування цукрових буряків поділено на кілька груп: підготовка ґрунту і внесення добрив, сівба, догляд за посівами, захист рослин, моніторинг, збирання та транспортне забезпечення. У проектному варіанті частина традиційних проходів тракторних агрегатів замінюється роботом і аграрним дроном. Це зменшує витрати пального і ущільнення ґрунту, але потребує оплати сервісних послуг або кооперaційного використання цифрової техніки.

Найбільший економічний ефект від роботизованого догляду полягає не у повному усуненні витрат на боротьбу з бур’янами, а у зменшенні ручної праці, зниженні гербіцидного навантаження та стабілізації густоти посіву. Дронове обприскування у проектному варіанті дає змогу виконувати операцію швидко, без технологічних колій і з меншими витратами води. Особливо важливо, що воно не потребує заїзду важкої техніки у поле в періоди підвищеної вологості ґрунту.

Для порівняння прийнято прямі виробничі витрати без урахування земельної оренди та загальногосподарських витрат. Така форма розрахунку дає

можливість оцінити саме вплив проектних технічних рішень на собівартість продукції.

Таблиця 4.3 – Порівняння прямих виробничих витрат на площі 48 га

Стаття витрат	Базовий варіант, тис. грн	Проектний варіант, тис. грн	Відхилення, тис. грн
Основний і передпосівний обробіток, добрива, сівба	1080,0	1080,0	0,0
Догляд за посівами, боротьба з бур'янами, захист рослин	494,4	427,2	-67,2
Моніторинг посівів і коригування операцій	28,8	19,2	-9,6
Збирання коренеплодів	168,0	132,0	-36,0
Транспортне забезпечення та інші технологічні операції	316,8	316,8	0,0
Разом прямі виробничі витрати	2088,0	1975,2	-112,8

За наведеними розрахунками прямі виробничі витрати у проектному варіанті зменшуються на 112,8 тис. грн, або на 5,4 %. Найпомітніша економія досягається у групі догляду за посівами та захисту рослин, оскільки роботизоване механічне знищення бур'янів дозволяє зменшити частину витрат на ручні роботи та хімічний захист, а дронове обприскування скорочує витрати на пальне і проїзди тракторного агрегату.

4.4. Економічний ефект від зменшення втрат урожаю і підвищення якості робіт

Ключовим технічним результатом модернізації збиральної машини є зменшення втрат коренеплодів під час викопування, очищення і укладання у валок. У базовому варіанті розрахункові втрати прийнято на рівні 6,0 % від біологічного урожаю. У проектному варіанті завдяки кращому підкопуванню, стабільнішому веденню робочих органів і очищенню коренеплодів втрати прийнято на рівні 3,5 %. Різниця у 2,5 відсоткового пункту для площі 48 га є суттєвою, оскільки культура має високу масу врожаю на одиницю площі.

Товарний збір коренеплодів визначається за формулою: $Q = S \cdot Y \cdot (1 - L / 100)$, де S - площа посіву, га; Y – біологічна врожайність, т/га; L - втрати під час збирання, %. Для базового варіанта $Q_б = 48 \cdot 50 \cdot (1 - 0,06) = 2256$ т. Для

проектного варіанта $Q_п$ = 48 · 50 · (1 - 0,035) = 2316 т. Отже, додатково збережений урожай становить 60 т.

Грошовий дохід визначається за формулою: Д = Q · Ц, де Ц - розрахункова ціна реалізації, грн/т. За ціни 1800 грн/т додатковий дохід від зменшення втрат становить 60 · 1800 = 108000 грн. Цей результат не потребує збільшення площі посіву або додаткових витрат на вирощування, тому він безпосередньо підвищує ефективність використання вже вкладених ресурсів.

Таблиця 4.4 – Узагальнені економічні результати базового і проектного варіантів

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Одиниця
Біологічний урожай	2400	2400	т
Розрахункові втрати під час збирання	6,0	3,5	%
Товарний збір коренеплодів	2256	2316	т
Розрахунковий виторг від реалізації	4060,8	4168,8	тис. грн
Прямі виробничі витрати	2088,0	1975,2	тис. грн
Розрахунковий прибуток	1972,8	2193,6	тис. грн
Собівартість 1 т товарної продукції	925,5	852,8	грн/т
Рентабельність виробництва	94,5	111,1	%

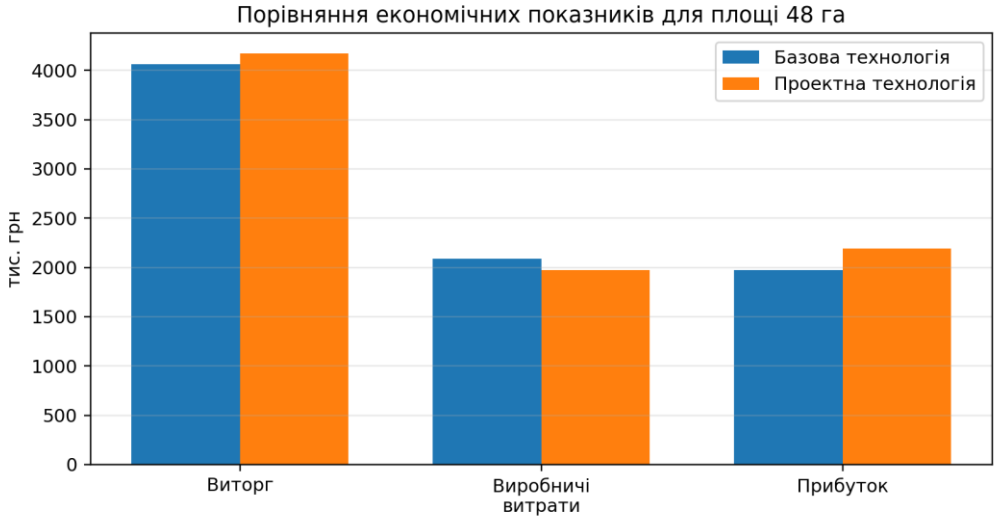


Рис. 4.1. Порівняння виторгу, виробничих витрат і прибутку за варіантами технології.

4.5. Розрахунок строку окупності та аналіз стійкості проекту

Річний економічний ефект проектного варіанта визначається як різниця між прибутком за проектною та базовою технологіями. За результатами розрахунків прибуток базового варіанта становить 1972,8 тис. грн, а проектного – 2193,6 тис. грн. Отже, річний приріст прибутку дорівнює 220,8 тис. грн.

Строк окупності капітальних вкладень у модернізацію збиральної машини визначається за формулою: $Т_{ок} = К / Е_р$, де К - капітальні вкладення, грн; Ер - річний економічний ефект, грн. Для прийнятих умов $Т_{ок} = 150000 / 220800 = 0,68$ року. Це означає, що витрати на модернізацію можуть окупитися протягом одного виробничого сезону, якщо буде забезпечено проектну врожайність, належну якість збирання і реалізацію продукції за прийнятою розрахунковою ціною.

Для невеликого господарства важливо оцінити стійкість проекту до зміни врожайності та ціни реалізації. Навіть за зниження ціни або врожайності економічний ефект зберігається, оскільки модернізована машина не тільки підвищує товарний збір, а й зменшує витрати на збирання. Найбільш чутливим показником є величина фактичних втрат під час збирання: чим якісніше відрегульовані робочі органи, тим вища економічна віддача модернізації.

Таблиця 4.5 – Орієнтовна чутливість строку окупності до зміни вихідних умов

Сценарій	Урожайність, т/га	Ціна, грн/т	Економічний ефект, тис. грн	Строк окупності, року
Базовий розрахунок	50	1800	220,8	0,68
Зниження ціни реалізації на 10 %	50	1620	210,0	0,71
Зниження врожайності до 45 т/га	45	1800	202,4	0,74
Зменшення ефекту від зниження втрат на 25 %	50	1800	193,8	0,77
Підвищення витрат на сервісні послуги на 10 %	50	1800	202,2	0,74

4.6. Організаційні переваги проектних рішень для фермерського господарства

Економічна доцільність запропонованої технології не обмежується тільки прямим розрахунком прибутку. Роботизований догляд за посівами, дронове обприскування і модернізована збиральна машина формують організаційні переваги, які особливо важливі для фермерських господарств Житомирської області. До таких переваг належать зменшення потреби у сезонних працівниках, скорочення кількості проходів важкої техніки, оперативне реагування на забур’яненість і хвороби, а також кращий контроль строків виконання робіт.

Використання аграрних дронів дає змогу уникати втрат урожаю від технологічних колій і зменшувати ризик переущільнення вологого ґрунту. Для умов Полісся і північного Лісостепу це має практичне значення, оскільки весняні й літні опади часто обмежують можливість своєчасного заїзду тракторного обприскувача. Дрон може виконувати локальне обприскування швидше, а також забезпечувати моніторинг поля перед прийняттям рішення про хімічний захист.

Застосування робота для післясходової боротьби з бур’янами є перспективним насамперед у господарствах, які прагнуть зменшити залежність від гербіцидів і ручної праці. Для площі 48 га найдоцільнішим є не індивідуальне придбання робота, а залучення послуги або спільне використання з іншими господарствами. За такого підходу роботизація стає доступною навіть для невеликих виробників.

Модернізована збиральна машина в агрегаті з МТЗ-80 є найбільш реалістичним технічним рішенням для господарства, яке не має можливості придбати самохідний комбайн. Вона забезпечує використання наявного трактора, зменшує потребу у наймі дорогих збиральних послуг, підвищує автономність господарства і дозволяє краще узгодити строки збирання з фактичним станом поля.

Висновки по розділу

Проведене техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків на площі 48 га. Проектна технологія передбачає раціональне поєднання наявного трактора МТЗ-80, модернізованої збиральної машини, роботизованого післясходового догляду та дронового обприскування.

Капітальні вкладення у модернізацію збиральної машини прийнято на рівні 150,0 тис. грн. Для невеликого господарства це значно доступніше, ніж придбання спеціалізованого самохідного бурякозбирального комбайна, а сервісне використання робота і дрона знижує інвестиційне навантаження.

За проектною технологією прямі виробничі витрати зменшуються з 2088,0 до 1975,2 тис. грн, тобто на 112,8 тис. грн. Додатково за рахунок зниження втрат під час збирання з 6,0 до 3,5 % зберігається близько 60 т коренеплодів, що за розрахункової ціни 1800 грн/т дає 108,0 тис. грн додаткового виторгу.

Розрахунковий прибуток проектного варіанта становить 2193,6 тис. грн проти 1972,8 тис. грн у базовому варіанті. Собівартість 1 т товарної продукції зменшується з 925,5 до 852,8 грн/т, а рентабельність підвищується з 94,5 до 111,1 %.

Строк окупності вкладень у модернізацію становить близько 0,68 року. Отже, запропоновані проектні рішення є економічно доцільними, технологічно доступними для невеликих фермерських господарств і можуть бути рекомендовані для впровадження за умови уточнення фактичних цін та виробничих показників перед початком сезону.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією збиральної машини. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності виробництва цукрових буряків у невеликих фермерських господарствах, зменшення витрат праці, пального та експлуатаційних витрат, а також покращення якості виконання основних технологічних операцій.

У першому розділі проаналізовано сучасні технології вирощування цукрових буряків. Встановлено, що ефективність виробництва значною мірою залежить від якісної підготовки ґрунту, точного висіву, своєчасного догляду за посівами, захисту рослин і правильної організації збирання врожаю. Розглянуто перспективи використання роботизованих машин, аграрних дронів для обприскування та моніторингу полів, а також елементів точного землеробства в умовах Житомирської області.

У другому розділі розроблено технологію вирощування цукрових буряків для площі 48 га та складено технологічну карту виконання основних операцій. У технології передбачено застосування робота для післясходової боротьби з бур’янами та аграрних дронів для обприскування посівів. Такі рішення дають змогу зменшити потребу в ручній праці, скоротити ущільнення ґрунту, підвищити точність обробітку й ефективність догляду за рослинами.

У третьому розділі обґрунтовано модернізацію збиральної машини для роботи в агрегаті з трактором МТЗ-80. Розроблено допоміжне обладнання, елементи рами, начіпного пристрою, опорних коліс і приводу робочих органів. Виконані розрахунки ланцюгової передачі, шпонкового з’єднання та інших конструктивних елементів підтверджують працездатність запропонованого технічного рішення.

У четвертому розділі проведено техніко-економічне обґрунтування проектних рішень. Встановлено, що впровадження удосконаленого комплексу

машин сприяє зниженню експлуатаційних витрат, скороченню витрат праці, підвищенню продуктивності робіт і зменшенню втрат урожаю під час збирання.

Отже, у роботі досягнуто поставленої мети – обґрунтовано удосконалений комплекс машин для вирощування цукрових буряків і запропоновано модернізацію збиральної машини для умов невеликих фермерських господарств Житомирської області. Запропоновані рішення мають практичне значення та можуть бути використані для підвищення ефективності виробництва, зменшення собівартості продукції й покращення якості механізованих робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Роїк М. В., Гізбуллін Н. Г., Сінченко В. М., Присяжнюк О. І. та ін. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.

2. Буряківництво і біоенергетика в Україні: історія, наука, виробництво, люди : монографія / за ред. М. В. Роїка. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 352 с.

3. 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.

4. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2006.

5. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків / Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. URL: https://bio.gov.ua (дата звернення: 8.06.2026).

6. Технологія вирощування цукрових буряків від сівби до збирання // SuperAgronom.com. URL: https://superagronom.com (дата звернення: 8.06.2026).

7. Українські аграрії скоротили посівні площі під цукровим буряком // SuperAgronom.com. URL: https://superagronom.com (дата звернення: 8.06.2026).

8. Врожай Житомирщини 2025. Результати збору у регіоні // Житомирська обласна військова адміністрація. URL: https://oda.zht.gov.ua (дата звернення: 8.06.2026).

9. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.

10. Експлуатація машинно-тракторного парку : навч. посіб. / В. Ю. Ільченко, П. І. Карасьов, А. С. Лімонт та ін. Київ : Урожай, 1993. 288 с.

11. Машиновикористання в землеробстві : підручник / В. Ю. Ільченко, Ю. П. Нагірний, П. А. Джолос та ін. Київ : Урожай, 1996. 384 с.

12. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. В. І. Кравчука. Київ : Аграрна освіта, 2009.

13. 2. Заєць М. Л., Куликівський В. Л. Вплив параметрів дискових сошників на здатність прорізання рослинних решток у системі NO-TILL. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2025. № 3 (130). С. 107–112.

14. Заєць М. Л. Функція управління системою машин для збирання цукрових буряків Наукові читання–2021: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 33-35.

15. DJI. DJI Agras T50. Specifications. URL: https://ag.dji.com/t50/specs (accessed: 18.06.2026).

16. DJI. DJI Agras T50. Product information. URL: https://ag.dji.com/t50 (accessed: 18.06.2026).

17. FarmDroid. FarmDroid FD20. Autonomous Farming Robot for Precision Agriculture. URL: https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/ (accessed: 18.06.2026).

18. FarmDroid. FarmDroid FD20 Product Sheet. URL: https://farmdroid.com/product-sheet/ (accessed: 18.06.2026).

19. FAO. The State of Food and Agriculture 2022. Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. URL: https://www.fao.org (accessed: 8.06.2026).

20. FAO. Digital Agriculture and Artificial Intelligence. Innovation at FAO. URL: https://www.fao.org/innovation/digital-agriculture-and-ai-innovation/en (accessed: 8.06.2026).

21. FAO. Digital agriculture in action: Artificial intelligence for agriculture. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://openknowledge.fao.org (accessed: 8.06.2026).

22. OECD. The Digitalisation of Agriculture: A Literature Review and Emerging Policy Issues. Paris : OECD Publishing, 2022. URL: https://www.oecd.org (accessed: 8.06.2026).

23. Lowenberg-DeBoer J., Huang I. Y., Grigoriadis V., Blackmore S. Economics of robots and automation in field crop production. Precision Agriculture. 2020. Vol. 21. P. 278–299.

24. Kverneland Group. Seeders: precision drills for maize, sugar beet, vegetables and more. URL: https://ien.kverneland.com/seeders (accessed: 18.06.2026).

25. Kverneland Group. Tillage Tools. URL: https://ien.kverneland.com/tillage-tools (accessed: 18.06.2026).

26. HOLMER Maschinenbau GmbH. Terra Dos sugar beet harvester. URL: https://www.holmer-maschinenbau.com/en/products/terra-dos (accessed: 18.06.2026).

27. 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.

28. HOLMER Maschinenbau GmbH. Harvesting and cleaning systems for sugar beet harvesters. URL: https://www.holmer-maschinenbau.com/en/products/terra-dos/harvesting-and-cleaning (accessed: 18.06.2026).

29. John Deere. Precision Agriculture Technology. URL: https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/ (accessed: 18.06.2026).

30. John Deere. Automation Systems. Precision Ag Technology. URL: https://www.deere.com (accessed: 18.06.2026).

31. ITU, FAO. Meeting the European Union’s digital agriculture objectives: compendium for pre-accession countries and territories. Rome : FAO, 2024. URL: https://www.fao.org (accessed: 18.06.2026).