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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Креденцер Валерій Григорович

УДК 631.3:633.63

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування комплексу машин для виробництва цукрових буряків з модернізацією підбирача-навантажувача коренеплодів

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 _____ Креденцер В.Г.

Керівник роботи
Грудовий Р.С.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Креденцер Валерій Григорович. Обґрунтування комплексу машин для виробництва цукрових буряків з модернізацією підбирача-навантажувача коренеплодів. *– 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 обґрунтування комплексу машин для вирощування цукрових буряків з модернізацією підбирача-навантажувача коренеплодів. Проаналізовано сучасний стан технології вирощування цукрових буряків у світі та Україні, а також визначено основні напрями підвищення ефективності виробництва цієї культури. Особливу увагу приділено рівню механізації, автоматизації та роботизації технологічних процесів, зокрема використанню роботизованих засобів для боротьби з бур'янами та агродронів для обприскування посівів. Для умов Лісостепу Житомирської області розроблено технологію вирощування цукрових буряків на площі 200 га з підбором сучасних тракторів, ґрунтообробних машин, сівалки, збиральної та транспортної техніки. Складено технологічну карту вирощування культури, визначено строки виконання основних операцій і побудовано графік завантаження машинно-тракторного парку. У конструктивній частині запропоновано модернізацію підбирача-навантажувача коренеплодів, спрямовану на підвищення якості очищення буряків від ґрунтових і рослинних домішок. Виконані розрахунки підтверджують працездатність запропонованих конструктивних рішень і доцільність їх застосування під час збирання цукрових буряків. Запропоновані рішення дають змогу підвищити продуктивність технологічного процесу, зменшити втрати коренеплодів, скоротити витрати праці та покращити якість сировини для подальшої переробки.

Ключові слова: цукрові буряки, комплекс машин, технологічна карта, механізація, агродрон, підбирач-навантажувач.

ANNOTATION

Valerii Hryhorovych Kredentser. Justification for a set of machines for sugar beet production, including the modernisation of the root crop pick-up and loader. – *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 qualification thesis examines the rationale for a set of machines for growing sugar beet, including the modernisation of the root crop harvester-loader. It analyses the current state of sugar beet cultivation technology worldwide and in Ukraine, and identifies the main avenues for improving the efficiency of this crop's production. Particular attention is paid to the level of mechanisation, automation and robotisation of technological processes, in particular the use of robotic equipment for weed control and agricultural drones for crop spraying. For the conditions of the Forest-Steppe zone in Zhytomyr Oblast, a sugar beet cultivation technology has been developed for an area of 200 ha, involving the selection of modern tractors, tillage machinery, seed drills, and harvesting and transport equipment. A technological chart for growing the crop has been drawn up, the timing of key operations has been determined, and a schedule for utilising the machinery and tractor fleet has been drawn up. The design section proposes the modernisation of the root crop pick-up loader, aimed at improving the quality of cleaning beetroot of soil and plant debris. The calculations carried out confirm the feasibility of the proposed design solutions and the advisability of their application during the harvesting of sugar beet. The proposed solutions make it possible to increase the productivity of the technological process, reduce root crop losses, cut labour costs and improve the quality of the raw material for further processing.

Keywords: sugar beet, machinery complex, process flow chart, mechanisation, agricultural drone, pick-up loader.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ У СВІТІ ТА УКРАЇНІ……..……...….8
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ……15
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОГО ПІДБИРАЧА-НАВАНТАЖУВАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ……...……29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..……42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..44

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Цукрові буряки є однією з найважливіших технічних культур в аграрному виробництві України, оскільки вони забезпечують сировинну базу для цукрової промисловості, мають значне господарське значення та сприяють підвищенню економічної ефективності сільськогосподарських підприємств. Вирощування цієї культури потребує чіткого дотримання агротехнічних строків, високої якості виконання технологічних операцій, раціонального використання техніки, трудових ресурсів, пального, добрив і засобів захисту рослин. Особливо важливе значення має правильне обґрунтування комплексу машин, оскільки від його складу, продуктивності та технічного стану залежить своєчасність виконання польових робіт, рівень урожайності, втрати коренеплодів під час збирання та собівартість кінцевої продукції.

У сучасних умовах аграрне виробництво поступово переходить до застосування точного землеробства, автоматизованих систем керування агрегатами, роботизованих машин і безпілотних літальних апаратів. Для вирощування цукрових буряків це має особливе значення, адже культура є досить вимогливою до якості підготовки ґрунту, точності висіву, контролю забур’яненості, захисту від шкідників і хвороб, а також до дбайливого збирання та навантаження коренеплодів. Використання сучасної техніки, роботів для боротьби з бур’янами та агродронів для обприскування дає змогу зменшити витрати ручної праці, підвищити точність виконання операцій, скоротити ущільнення ґрунту та знизити витрати пального.

Незважаючи на високий рівень розвитку сучасної сільськогосподарської техніки, окремі операції у технології вирощування та збирання цукрових буряків залишаються досить енергоємними й потребують удосконалення. Однією з таких операцій є підбирання, очищення та навантаження коренеплодів після викопування. Під час виконання цієї операції можливі втрати врожаю, пошкодження коренеплодів, потрапляння значної кількості ґрунтових і

рослинних домішок у транспортні засоби. Тому модернізація підбирача-навантажувача коренеплодів є актуальним напрямом підвищення ефективності збирання цукрових буряків і покращення якості сировини для подальшої переробки.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності обґрунтування раціонального комплексу машин для вирощування цукрових буряків в умовах Лісостепу Житомирської області та вдосконалення конструкції підбирача-навантажувача коренеплодів з метою підвищення продуктивності, якості очищення і зменшення втрат під час збирання.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу вирощування та збирання цукрових буряків шляхом обґрунтування комплексу машин і модернізації підбирача-навантажувача коренеплодів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати сучасний стан технології вирощування цукрових буряків у світі та Україні; охарактеризувати рівень механізації, автоматизації та роботизації процесів у буряківництві; розробити технологію вирощування цукрових буряків для умов Лісостепу Житомирської області; скласти технологічну карту вирощування культури на площі 200 га; підібрати сучасний комплекс машин для виконання основних технологічних операцій; обґрунтувати застосування робота для боротьби з бур’янами та агродрона для обприскування посівів; розробити графік завантаження техніки протягом виробничого сезону; запропонувати модернізацію підбирача-навантажувача коренеплодів і виконати необхідні конструктивні розрахунки.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування та збирання цукрових буряків у сільськогосподарському підприємстві.

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування цукрових буряків і конструктивні параметри модернізованого підбирача-навантажувача коренеплодів.

У роботі використано методи аналізу технологічних процесів, порівняння сучасних машин і агрегатів, розрахунку продуктивності техніки, складання технологічної карти, графічного планування завантаження машинно-тракторного парку та інженерних розрахунків елементів модернізованої конструкції.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Р.С., **Креденцер В.Г.,** Пеценко А.В. Технологічні особливості збирання цукрових буряків залежно від ґрунтово-кліматичних умов. 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. 188-191.

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 роботи полягає в тому, що запропонований комплекс машин і модернізований підбирач-навантажувач можуть бути використані для підвищення ефективності вирощування й збирання цукрових буряків, зменшення витрат праці, скорочення втрат коренеплодів, покращення якості очищення сировини та забезпечення більш раціонального використання техніки в умовах господарств Лісостепу Житомирської області.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 31 найменування. Загальний обсяг роботи становить 46 сторінок комп’ютерного тексту, містить 20 рисунків, 12 таблиць та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ У СВІТІ ТА УКРАЇНІ

1.1. Значення культури та сучасні світові тенденції

Цукрові буряки є однією з базових технічних культур помірної кліматичної зони. Їх вирощують для одержання коренеплодів із високим умістом сахарози, які після збирання швидко надходять на переробку. На відміну від багатьох зернових культур, буряки мають значну масу врожаю з одиниці площі, потребують добре організованої логістики та високої точності виконання технологічних операцій. Тому ефективність виробництва залежить не лише від урожайності, а й від злагодженості комплексу машин: від передпосівного обробітку до очищення, підбирання, навантаження і транспортування коренеплодів.

У світовому виробництві цукру переважає тростина, однак буряковий напрям залишається стратегічним для Європи, частини Азії та Північної Америки. За даними FAOSTAT, представленими у базі Our World in Data, статистика виробництва цукрових буряків охоплює період 1961-2024 рр. і подається у тоннах [1]. У 2024 р. світове виробництво цукрових буряків оцінювалося приблизно у 293,6 млн т. Провідними виробниками є країни з розвиненим землеробством, достатньою вологозабезпеченістю та потужною переробною промисловістю.

Європейський Союз залишається одним із ключових центрів бурякового цукровиробництва. За інформацією Eurostat, у 2024 р. у ЄС цукрові буряки вирощували на площі близько 1,6 млн га, а валовий збір зріс до 121,6 млн т. Близько трьох чвертей виробництва ЄС забезпечили Німеччина, Франція, Польща та Нідерланди [3]. Така концентрація пояснюється наявністю родючих ґрунтів, розгалуженої мережі цукрових заводів, високопродуктивної техніки та практики контрактного вирощування.

Сучасна технологія вирощування цукрових буряків у світі рухається у напрямі інтенсифікації та цифровізації. Вирішальними чинниками є точна сівба, оптимізоване живлення, контроль ущільнення ґрунту, зниження втрат під час збирання, а також скорочення частки ґрунтових домішок у воросі коренеплодів. Для господарств важливо не лише отримати високий урожай, а й доставити його на переробку з мінімальними втратами цукру та механічними пошкодженнями.



Рис. 1.1. Провідні виробники цукрових буряків у світі, 2024 р.

1.2. Технологічна схема вирощування та комплекс машин

Технологія вирощування цукрових буряків є послідовною системою операцій, кожна з яких впливає на кінцеву врожайність і якість коренеплодів. Культура чутлива до структури ґрунту, глибини ущільнення, рівномірності посівного ложа, точності висіву, забезпечення елементами живлення та своєчасного захисту від бур’янів, шкідників і хвороб. Через повільний початковий розвиток рослин особливо важливим є період від появи сходів до змикання рядків.

У машинній технології основними вимогами є дотримання агротехнічних строків, рівномірність обробітку, точність проходів агрегатів, мінімальне пошкодження коренеплодів та обмеження ущільнення ґрунту. Склад комплексу машин залежить від розміру господарства, типу ґрунтів, системи обробітку, наявності зрошення та способу організації збирання. Для теми даної кваліфікаційної роботи особливе значення має завершальна ланка

технологічного процесу: очищення, підбирання і навантаження коренеплодів, оскільки саме на цьому етапі формується фактична якість сировини, що надходить на переробку.

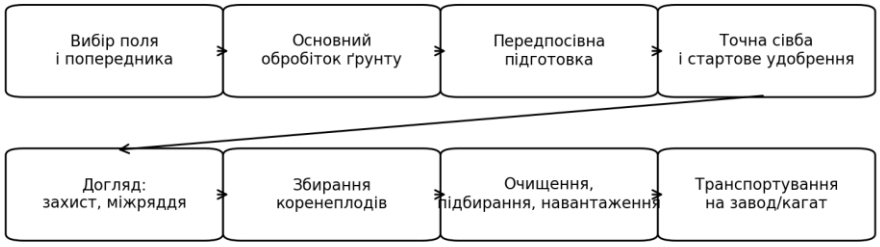


Рис. 1.2. Узагальнена технологічна схема вирощування і збирання цукрових буряків.

Таблиця 1.1 – Типовий комплекс машин для вирощування цукрових буряків

Операція	Мета операції	Типові машини та агрегати	Критичні показники якості
Основний обробіток	Розпушення орного шару, накопичення вологи	Плуги, чизелі, глибокорозпушувачі, комбіновані агрегати	Глибина, вирівняність, відсутність плужної підошви
Передпосівна підготовка	Створення дрібногрудочкуватого посівного ложа	Культиватори, компактори, передпосівні агрегати	Однорідність шару 3-5 см, збереження вологи
Сівба	Рівномірне розміщення насіння у рядку	Пневматичні точні сівалки, GPS-навігація	Глибина, крок висіву, прямолінійність рядків
Удобрення і захист	Оптимізація живлення та зниження втрат від шкідників і хвороб	Розкидачі, обприскувачі, аплікатори КАС, датчики норми	Рівномірність внесення, мінімізація перекриттів
Міжрядний догляд	Контроль бур’янів і руйнування ґрунтової кірки	Культиватори з камерним веденням, ротаційні борони, роботизовані прополювачі	Точність руху в міжрядді, відсутність пошкодження рослин
Збирання	Викопування, доочищення та формування потоку коренеплодів	Самохідні бурякозбиральні комбайни, причіпні збиральні машини	Втрати, пошкодження, якість обрізування гички
Підбирання і навантаження	Піднімання з валка/кагату, очищення від ґрунту, завантаження в транспорт	Підбирачі-навантажувачі, очищувачі-навантажувачі типу Maus, транспортери	Чистота вороху, продуктивність, дбайливе переміщення

1.3. Стан виробництва цукрових буряків в Україні

Україна має сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування цукрових буряків у Лісостепу та частково на Поліссі. Найбільше значення мають регіони, де поруч із сировинною базою збережено цукрові заводи та сформовано логістичні ланцюги. За звітом USDA FAS за 2025 р., приблизно 88 % площ виробництва цукрових буряків в Україні належить або обробляється сільськогосподарськими підприємствами, переважно великими вертикально інтегрованими компаніями [2]. Така структура сприяє використанню потужної техніки, контрактного вирощування та централізованого планування переробної кампанії.

У маркетинговому році 2024/25 площа збирання цукрових буряків в Україні становила близько 254 тис. га, а виробництво - 12,798 млн т. Порівняно з 2023/24 р. площа майже не змінилася, але валовий збір зменшився приблизно на 3 % через дещо нижчу врожайність у ключових регіонах [2]. Для 2025/26 р. прогнозується скорочення площі до 220 тис. га і виробництва до 10,6 млн т, що пов’язують із невизначеністю зовнішньої торгівлі та квотами на експорт цукру до ЄС.

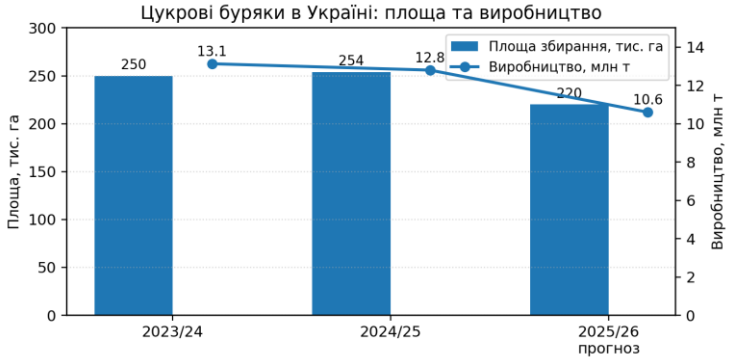


Рис. 1.3. Динаміка площі збирання та виробництва цукрових буряків в Україні (побудовано за даними USDA FAS Sugar Annual: Ukraine, 2025).

Українська бурякова галузь характеризується високою залежністю від переробних підприємств. Через значну масу коренеплодів і відносно короткий період зберігання економічно недоцільно транспортувати сировину на далекі відстані. Тому господарства, які вирощують буряки, зазвичай розміщені у зоні тяжіння цукрових заводів. У цих умовах якість роботи підбирачів-

навантажувачів стає важливою не лише для агрономічного результату, а й для економіки переробки: надлишок ґрунту збільшує транспортні витрати, ускладнює приймання сировини та прискорює зношування обладнання заводу.

1.4. Механізація, автоматизація та роботизація процесів

Рівень механізації основних операцій у сучасному буряківництві є дуже високим. Передпосівний обробіток, точна сівба, внесення добрив, хімічний захист, збирання та навантаження виконуються машинними агрегатами. У країнах ЄС і Північної Америки стандартом стали високопродуктивні самохідні комбайни з бункерами, 6-, 9- і 12-рядні збиральні системи, системи автоматичного водіння, контролю робочої швидкості, моніторингу завантаження і телематики. У трендах розвитку збиральної техніки DLG окремо підкреслено роль електроніки, сенсорів, систем допомоги оператору, телеметрії та 10-метрових очищувачів-навантажувачів типу Maus у логістиці буряків [5].

Автоматизація охоплює передусім навігацію, контроль норми внесення, керування секціями сівалки та обприскувача, автоматичне ведення агрегату в міжряддях, облік урожайності, дистанційний контроль параметрів машин і планування логістики. У великих господарствах України поширені GPS-навігація, автопілоти, карти завдань для диференційованого внесення добрив і ЗЗР, супутниковий моніторинг стану посівів, а також програмне управління автопарком. Разом з тим рівень цифровізації є нерівномірним: повні комплекси точного землеробства застосовують переважно агрохолдинги та технічно оснащені середні підприємства.

Роботизація у буряківництві найактивніше розвивається у сфері механічного та точкового контролю бур’янів. Причина полягає в тому, що культура повільно росте на ранніх фазах і потребує багаторазового догляду до змикання рядків. Європейські проєкти, зокрема Robs4Crops, випробовують комбінації автономних платформ, точних сівалок, камерних прополювачів, штригельних борін і міжрядних культиваторів для зменшення хімічного

навантаження [6]. Наукові дослідження також демонструють практичні випробування роботизованих систем у посівах цукрових буряків [7].

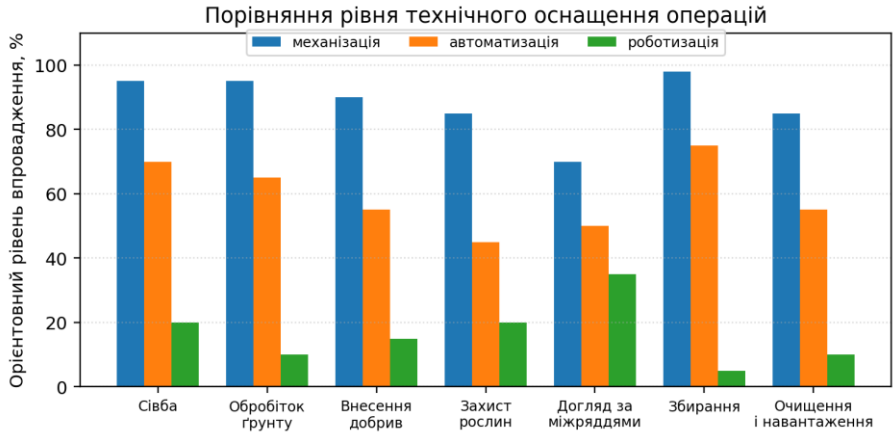


Рис. 1.4. Орієнтовний рівень механізації, автоматизації та роботизації операцій у буряківництві.

Таблиця 1.2 – Стан і перспективи технічного розвитку процесів вирощування цукрових буряків.

Напрям	Поточний стан	Технічні рішення	Очікуваний ефект
Механізація	Майже всі основні операції виконуються машинно; ручна праця зберігається лише у допоміжних роботах	Потужні трактори, точні сівалки, самохідні обприскувачі, бурякозбиральні комбайни, підбирачі-навантажувачі	Скорочення строків робіт, стабільна продуктивність, менша залежність від трудових ресурсів
Автоматизація	Найбільш поширена в навігації, сівбі, захисті рослин і збиранні	GPS/RTK, автопілоти, керування секціями, датчики завантаження, телематика, карти-завдання	Менше перекриттів, економія пального і матеріалів, точніше дотримання агровимог
Роботизація	Перехід від дослідних проєктів до комерційних рішень, насамперед у боротьбі з бур'янами	Автономні платформи, камерне розпізнавання рослин, міжрядні роботи, точкове внесення препаратів	Зменшення ручної праці і гербіцидного навантаження, підвищення екологічності виробництва
Цифрова логістика	Активно розвивається у великих господарствах і переробних компаніях	Системи планування маршрутів, облік кагатів, контроль завантаження, інтегровані вагові дані	Зменшення простоїв комбайнів і транспорту, нижча собівартість доставки
Модернізація навантаження	Потребує удосконалення через втрати, домішки ґрунту і пошкодження коренеплодів	Вібраційні та пруткові очисні транспортери, пасивні ролики-струшувачі, незалежні стрічки елеваторів	Підвищення чистоти вороху, менша маса ґрунту у перевезеннях, стабільніша робота заводу

Висновки по розділу

Проведений аналіз показує, що цукрові буряки залишаються важливою технічною культурою для країн із помірним кліматом, а ефективність їх виробництва визначається не окремою машиною, а узгодженістю всього машинного комплексу. Світова практика демонструє перехід до високопродуктивної самохідної техніки, автоматичного керування, сенсорного контролю якості роботи та цифрової логістики.

Для України буряківництво має значний потенціал завдяки родючим ґрунтам, досвіду вирощування та наявності переробної бази. Водночас галузь залежить від територіального розміщення цукрових заводів, транспортних витрат, погодних умов і зовнішньоторговельної кон’юнктури. Особливо важливим є зменшення втрат та забруднення вороху на завершальних операціях, оскільки ґрунтові домішки, пошкодження і затримки у транспортуванні прямо впливають на економіку виробництва цукру.

Отже, модернізація підбирача-навантажувача коренеплодів є доцільним напрямом удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків. Підвищення інтенсивності очищення, стабільності подавання та дбайливості транспортування коренеплодів дає змогу поліпшити якість сировини, зменшити транспортні витрати і підвищити загальну ефективність бурякової технології.

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

2.1. Вихідні умови та агротехнічні вимоги до проектованої технології

Цукрові буряки належать до культур інтенсивного типу, для яких результативність вирощування визначається не окремою операцією, а узгодженістю всього комплексу машин: від післяжнивного обробітку ґрунту до збирання, доочищення та завантаження коренеплодів. Для умов Лісостепу Житомирської області доцільно проектувати технологію, що поєднує якісний основний обробіток, точну сівбу, мінімізацію ущільнення ґрунту, роботизоване знищення бур’янів і своєчасний фітосанітарний захист посівів. Лісостепова зона характеризується помірно теплим кліматом, достатнім або нестійким зволоженням, тривалим вегетаційним періодом і поширенням сірих лісових ґрунтів та чорноземів опідзолених, що є придатними для буряків за умови підтримання родючості та оптимальної реакції ґрунтового розчину [1; 7].

Проект виконується для площі 200 га. Попередником прийнято озиму пшеницю, оскільки вона рано звільняє поле, дає можливість провести лущення стерні, основний обробіток, накопичити вологу та знизити забур’яненість. Планова урожайність коренеплодів приймається 55 т/га, що відповідає інтенсивній технології з високою якістю підготовки ґрунту, використанням сучасних гібридів, контрольованим живленням та своєчасним захистом рослин.

2.1.1. Агротехнічні вимоги до умов вирощування

Для цукрових буряків особливо важливо сформувати рівномірне посівне ложе, оскільки дрібне насіння розміщується на невеликій глибині, а початковий розвиток рослин повільний. Нерівномірне загортання насіння призводить до розтягнутих сходів, різної маси коренеплодів, підвищеної забур’яненості та ускладнення механізованого збирання. Тому в проектованій технології передпосівна культивація виконується безпосередньо перед сівбою, а наступне

коткування використовується лише за потреби для вирівнювання верхнього шару ґрунту.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування технології вирощування цукрових буряків

Показник	Проектне значення
Площа посіву	200 га
Попередник	озима пшениця або зернобобові культури
Планова урожайність	55 т/га коренеплодів
Валовий збір	близько 11 000 т
Оптимальна реакція ґрунту	pH 6,5-7,0; за кислих ґрунтів передбачають вапнування
Мінеральне живлення	N90P80K120 у д. р., коригується за агрохіманалізом
Густота стояння	100-110 тис. рослин/га перед збиранням
Основний спосіб боротьби з бур’янами	автономне механічне прополювання FarmDroid FD20
Спосіб внесення ЗЗР/мікродобрив	агродрон DJI Agras T50, низькооб’ємна технологія

Ґрунт повинен мати достатні запаси продуктивної вологи, добру аерацію та відсутність переущільненого шару на глибині розміщення основної маси коренів. Для сірих лісових і опідзолених ґрунтів Житомирської області важливим є контроль кислотності. За зниженого pH передбачають вапнування у сівозміні, оскільки культура найкраще реалізує потенціал урожайності за реакції ґрунтового розчину близької до нейтральної [8].

Захист рослин у даному проекті ґрунтується на принципах інтегрованого управління: профілактика через сівозміну, чисте поле після попередника, механічне знищення бур’янів роботом, моніторинг шкідників і хвороб, а також точне внесення препаратів агродроном лише за потреби. Такий підхід дозволяє не збільшувати пестицидне навантаження і водночас зберігати високу технологічну дисципліну.

Таблиця 2.2 – Основні агротехнічні вимоги до проектованої технології.

Показник	Оптимальна вимога	Значення для проекту
Попередник	культура, що рано звільняє поле	озима пшениця
Глибина основного обробітку	28-32 см, без утворення плужної підошви	глибоке рихлення або оранка
Стан посівного ложа	вирівняне, дрібногрудкувате, вологе	культивація 3-4 см перед сівбою
Рядковість	45 або 50 см залежно від техніки	45 см для узгодження з роботом
Контроль бур’янів	до змикання листків	4 проходи FarmDroid FD20
Збирання	мінімальні втрати та пошкодження	комбайн + модернізований ППК-6

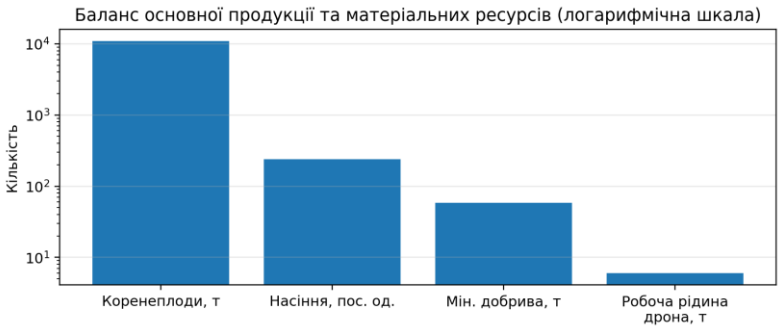


Рис. 2.1. Баланс продукції та основних ресурсів для площі 200 га.

У технології передбачається поступова відмова від суцільного гербіцидного навантаження. Основним засобом контролю бур'янів є роботизоване механічне прополювання, а агродрон використовується для оперативного внесення мікродобрив, біопрепаратів, фунгіцидів та інсектицидів відповідно до регламентів і фактичного фітосанітарного стану поля. Такий підхід знижує кількість проходів важких машин, скорочує ущільнення ґрунту, підвищує точність операцій і дає змогу швидко реагувати на погодні вікна.

2.2. Обґрунтування комплексу машин для площі 200 га

Комплекс машин сформовано з урахуванням площі 200 га, обмеженої тривалості оптимальних агротехнічних строків, потреби в точності сівби та необхідності зменшення втрат під час збирання. Для важких операцій приймається трактор потужністю 300-360 к. с., для допоміжних робіт - трактор 150-180 к. с. Робот FarmDroid FD20 обрано як базовий засіб сівби та боротьби з бур'янами, тому що він використовує високоточну RTK-навігацію, запам'ятовує координати висіяного насіння і може виконувати прополювання між рядками та в рядку без використання камер [3; 4]. Для 200 га доцільно застосовувати флот із п'яти роботів, оскільки один робот рекомендовано використовувати приблизно на 20-40 га цукрових буряків за сезон залежно від комплектації та організації робіт [4; 5].

Для обприскування обрано агродрон DJI Agras T50. Його перевагою є відсутність колій у посівах, можливість роботи на перезволожених ділянках, швидке реагування на осередкове ураження хворобами та використання карт-

завдань. За офіційними характеристиками DJI Agras T50 має бак 40 л, корисне навантаження для обприскування 40 кг, ефективну ширину розпилення 4-11 м і максимальну витрату робочої рідини 16 л/хв з двома розпилювачами або 24 л/хв з чотирма [6]. У технологічній карті прийнято планову продуктивність 12 га/год, що враховує заправляння, розвороти, перенесення між ділянками та погодні обмеження.

Таблиця 2.3 – Підібраний комплекс машин для вирощування цукрових буряків на площі 200 га

Група машин	Обрана техніка	Призначення	Кількість
Енергозасіб високої потужності	Fendt 936 Vario / аналог 300-360 к.с.	Основний обробіток, глибоке рихлення, важкі агрегати	1
Трактор середнього класу	John Deere 6155M / аналог 150-180 к.с.	Розкидання добрив, боронування, коткування, допоміжні роботи	1-2
Дискова борона	Amazone Catros+ 6003-2TX, 6 м	Лущення стерні та подрібнення рослинних решток	1
Передпосівний культиватор	Väderstad NZ Aggressive 800, 8 м	Вирівнювання і підготовка посівного ложа	1
Робот для бур’янів	FarmDroid FD20, RTK, сонячне живлення	Сівба, міжрядне та внутрішньорядне механічне прополювання	5
Агродрон	DJI Agras T50	Низькооб’ємне внесення мікродобрив, фунгіцидів, інсектицидів	1 комплект
Бурякозбиральний комбайн	ROPA Panther 2S / Holmer Terra Dos	Викопування і первинне очищення коренеплодів	1
Підбирач-навантажувач	ППК-6 модернізований	Підбирання з валка/кагату, сепарація домішок, завантаження	1

Кількість техніки підібрано так, щоб найважливіші роботи виконувалися в оптимальні строки. Для 200 га критичними є строки сівби, перші прополювання та збирання. Якщо затримати сівбу на 7-10 діб, рослини використовують меншу частину весняної вологи; якщо запізнитися з першою хвилею боротьби з бур’янами, культура втрачає конкурентоздатність. Тому роботизований флот обрано не як демонстраційний елемент, а як виробничу систему, здатну за тиждень пройти всю площу одним циклом.

Таблиця 2.4 – Розрахунок виробничої спроможності ключових машин

Засіб	Прийнята кількість	Одинична продуктивність	Продуктивність флоту	Оцінка для 200 га
FarmDroid FD20	5 шт.	до 6 га/добу	до 30 га/добу	6,7 доби на один прохід
DJI Agras T50	1 комплект	до 21 га/год теоретично	12 га/год проектно	16-17 год на один прохід
Комбайн бурякозбиральний	1 шт.	1,3 га/год проектно	1,3 га/год	154 год на 200 га
ППК-6 модернізований	1 шт.	120 т/год	120 т/год	92 год на 11 000 т
Автотранспорт	4 од.	15 т/год умовно	60 т/год	183 год на 11 000 т

Таблиця 2.5 – Порівняльна характеристика робота та агродрона, прийнятих у технології

Показник	FarmDroid FD20	DJI Agras T50
Функція в технології	сівба та механічне прополювання між рядками і в рядку	точне внесення робочої рідини та гранул
Навігація	RTK GPS, запам’ятовування координат насіння	RTK/GNSS, радар і бінокулярне бачення
Робоча ширина/захват	до 3,0-3,5 м залежно від комплектації	ефективна ширина обприскування 4-11 м
Продуктивність	до 6 га/добу; рекомендовано 20-40 га/робот за сезон	до 21 га/год у сприятливих умовах; у карті прийнято 12 га/год
Перевага для 200 га	зменшення ручної праці та гербіцидного навантаження	швидкий захист культури без ущільнення ґрунту

2.3. Проектована технологічна карта вирощування цукрових буряків

Технологічну карту складено за принципом потокової організації робіт. Для кожної операції визначено орієнтовний строк виконання, склад агрегату, обсяг, продуктивність і потребу в робочому часі. У розрахунках прийнято, що основні польові операції виконуються в межах оптимальних строків, а роботизовані та дронові роботи можуть виконуватися з меншою залежністю від наявності тракторних агрегатів. Норми продуктивності є проектними і можуть

уточнюватися залежно від конфігурації поля, довжини гонів, вологості ґрунту, організації заправлення та транспортного забезпечення.

Таблиця 2.6 – Технологічна карта вирощування цукрових буряків на площі 200 га (початок)

№	Операція	Строк	Склад агрегату	Обсяг	Продуктивність	Тривалість	Персонал	Примітка
1	Лущення стерні після озимої пшениці	III декада липня - серпень	Fendt 724 Vario + Amazone Catros+ 6003-2TX	200 га	6,5 га/год	31	1 механізатор	провокація сходів бур’янів, заробка решток
2	Внесення фосфорно-калійних добрив	вересень	John Deere 6155M + Amazone ZA-TS 4200	200 га	18 га/год	11	1 механізатор	P80K120 за результатами агрохіманалізу
3	Глибокий основний обробіток / оранка	вересень - жовтень	Fendt 936 Vario + Lemken Juwel 8 або Horsch Tiger 4 MT	200 га	1,8 га/год	111	1 механізатор	глибина 28-32 см; недопущення плужної підошви
4	Вирівнювання зябу, закриття вологи	березень	John Deere 6155M + борона/шлейф 12 м	200 га	10 га/год	20	1 механізатор	за фізичної стиглості ґрунту
5	Внесення стартового азоту	березень - початок квітня	John Deere 6155M + Amazone ZA-TS 4200	200 га	18 га/год	11	1 механізатор	N70-90, без надмірного ущільнення
6	Передпосівна культивація	I-II декада квітня	Fendt 724 Vario + Väderstad NZ Aggressive 800	200 га	7,5 га/год	27	1 механізатор	глибина 3-4 см, дрібногруддкувата структура
7	Сівба з RTK-навігацією	II декада квітня	5 роботів FarmDroid FD20	200 га	до 30 га/добу флотом	7 діб	оператор-наглядач	міжряддя 45 см, густота 100-110 тис. рослин/га
8	Коткування посівів	після сівби	John Deere 6155M + Cambridge roller 9 м	200 га	12 га/год	17	1 механізатор	вирівнювання посівного ложа, збереження вологи
9	Роботизоване прополювання №1	фаза сходів - 2 пари листків	5 FarmDroid FD20	200 га	до 30 га/добу флотом	7 діб	оператор-наглядач	міжрядне і внутрішньорядне механічне знищення бур’янів
10	Роботизоване прополювання №2	травень	5 FarmDroid FD20	200 га	до 30 га/добу флотом	7 діб	оператор-наглядач	повторний прохід за новою хвилею бур’янів
11	Роботизоване прополювання №3	кінець травня - червень	5 FarmDroid FD20	200 га	до 30 га/добу флотом	7 діб	оператор-наглядач	підтримання чистоти рядків до змикання листків
12	Роботизоване прополювання №4	червень	5 FarmDroid FD20	200 га	до 30 га/добу флотом	7 діб	оператор-наглядач	за потреби на забур’янених ділянках
13	Фітосанітарний моніторинг	травень - серпень	мультиспектральний БПЛА або оглядові маршрути	200 га	50-70 га/год	3-4	агроном	карта проблемних зон, рішення щодо захисту
14	Оприскування біопрепаратами/мікродобривами	червень	DJI Agras T50	200 га	12 га/год планово	17	сертифікований пілот	низькооб’ємне внесення за регламентом препарату
15	Оприскування проти хвороб листків	липень	DJI Agras T50	200 га	12 га/год планово	17	сертифікований пілот	за прогнозом церкоспорозу та погодними умовами
16	Оприскування проти шкідників/стресів	серпень	DJI Agras T50	200 га	12 га/год планово	17	сертифікований пілот	точкове або суцільне внесення після обстеження
17	Зрізування гички	вересень	Гичкозрізувач 6-рядний + трактор 150-180 к.с.	200 га	3,0 га/год	67	1 механізатор	висота зрізу без втрати головки коренеплоду
18	Викопування коренеплодів	вересень - жовтень	ROPA Panther 2S / Holmer Terra Dos, 6 рядків	200 га	1,3 га/год	154	1 комбайнер	мінімізація пошкоджень і забруднення ґрунтом
19	Підбирання, доочищення і навантаження	жовтень	модернізований підбирач-навантажувач ППК-6	11 000 т	120 т/год	92	1 механізатор + 1 допоміжний	застосування удосконаленого пруткового елеватора
20	Транспортування на приймальний пункт	жовтень	4 автосамоскиди 20-25 т або тракторні напівпричепи	11 000 т	60 т/год флотом	183	4 водії	організація безперервної роботи навантажувача

Таблиця 2.7 – Орієнтовна потреба в основних ресурсах і очікуваний результат

Ресурс / результат	Норма на 1 га	Потреба на 200 га	Примітка
Насіння цукрових буряків	1,1-1,2 пос. од.	220-240 пос. од.	з урахуванням страхового запасу
Азотні добрива, д. р.	90 кг	18,0 т д. р.	частина восени/навесні за аналізом ґрунту
Фосфорні добрива, д. р.	80 кг	16,0 т д. р.	основне внесення восени
Калійні добрива, д. р.	120 кг	24,0 т д. р.	важливо для цукристості та водного режиму
Робоча рідина для дрона	10 л/га за один прохід	2,0 м³ за прохід	прийнято для низькооб’ємної технології
Коренеплоди	55 т/га	11 000 т	плановий валовий збір
Гичка та рослинні рештки	15-20 т/га	3 000-4 000 т	можуть використовуватися як органічна маса

За планової урожайності 55 т/га технологічний потік збирання повинен бути організований так, щоб за добу з поля вивозилася маса коренеплодів, яка відповідає добовій продуктивності комбайна і підбирача-навантажувача. Якщо навантажувач працює швидше, ніж підходить транспорт, утворюються простої; якщо транспорт працює швидше, але коренеплоди забруднені, зростає витрата пального на перевезення домішок. Тому модернізація підбирача-навантажувача має практичне значення не лише для якості сировини, а й для ритмічності логістики.



Рис. 2.4. Логістичний ланцюг збирання, підбирання та транспортування коренеплодів.

Особливістю карти є перенесення основного навантаження з хімічного контролю бур’янів на роботизовану механічну дію. Робот виконує не один, а

кілька проходів, оскільки бур’яни з’являються хвилями. З технологічної точки зору це дає змогу утримати поле чистим до змикання листків буряків, коли культура сама починає затінювати міжряддя. Операції з агродроном не дублюють боротьбу з бур’янами, а забезпечують фітосанітарний захист і живлення рослин у періоди, коли заїзд самохідного або причіпного обприскувача небажаний через ризик пошкодження листкового апарату та ущільнення ґрунту.

2.4. Організація роботизованої боротьби з бур’янами

Для площі 200 га приймається флот із п’яти роботів FarmDroid FD20. Після створення карти поля й налаштування базової RTK-станції роботи виконують сівбу та фіксують координати кожної насінини. Це принципово важливо для подальшого внутрішньорядного прополювання: робочі органи проходять дуже близько до культурної рослини, але не пошкоджують її, оскільки робот знає місце розташування посівного матеріалу. Такий підхід особливо цінний для цукрових буряків, які на ранніх фазах розвитку мають слабку конкурентоспроможність щодо бур’янів.

Проектом передбачено чотири проходи роботів: перший - після появи сходів і чіткої ідентифікації рядків, другий - у фазі 2-4 листків, третій - перед активним наростанням листкової маси, четвертий - за потреби на ділянках з підвищеним забур’яненням. При добовій продуктивності флоту до 30 га весь масив 200 га може бути оброблений за 7 діб одним проходом. Оскільки роботи працюють автономно, потреба в персоналі зводиться до оператора-наглядача, який контролює налаштування, переміщення між полями, технічний стан і безпечність роботи.

Використання роботів не усуває необхідності агрономічного контролю. Перед кожним проходом уточнюють стан сходів, вологість ґрунту та наявність кірки. На перезволоженому ґрунті роботу відкладають, щоб не замазувати рядки та не погіршувати аерацію. У разі нерівномірних сходів перевагу

надають міжрядному режиму, а внутрішньорядну дію вмикають після стабілізації густоти рослин.



Рис. 2.5. Орієнтовна структура завантаження машин у проектованій технології

2.5. Оприскування агродроном та цифровий контроль посівів

Агродрон DJI Agras T50 у проектованій технології застосовується для внесення мікродобрив, біологічних препаратів, фунгіцидів та інсектицидів за результатами фітосанітарного моніторингу. Внесення гербіцидів не є основним напрямом, оскільки боротьбу з бур'янами виконує робот. Дрон працює з низькою нормою робочої рідини, тому рішення про перелік препаратів, концентрацію і строки внесення повинне прийматися лише за офіційним регламентом застосування препарату, погодними умовами та з дотриманням правил безпеки.

Планово передбачено три проходи дроном: у червні для мікродобрив і біостимуляції після змикання рядків, у липні для профілактики хвороб листкового апарату, у серпні для захисту від пізніх хвороб або шкідників за результатами обстеження. Оскільки фактичні фітосанітарні умови змінюються за роками, кількість проходів може бути зменшена або збільшена після оцінки економічного порогу шкодочинності.

Для безпечної експлуатації агродрона до роботи допускається підготовлений оператор. Обприскування проводять за швидкості вітру, що не спричиняє знесення робочої рідини, з урахуванням санітарних зон, ліній

електропередач, доріг, водойм та меж населених пунктів. Заправна зона повинна бути обладнана ємністю для чистої води, мірною тарою, сорбентом для аварійних розливів і засобами індивідуального захисту персоналу.

2.6. Графік завантаження техніки

Графік завантаження показує, що традиційні тракторні агрегати найбільше навантажені восени під час основного обробітку та в період збирання, а автономні роботи концентрують значну кількість робото-годин у квітні-червні. Проте ці години майже не перетворюються на прямі трудові витрати механізаторів, оскільки оператор контролює флот дистанційно і втручається переважно під час налаштування, переміщення або технічного обслуговування. Дрон має незначну частку в загальних агрегато-годинах, але є критичним елементом оперативності захисту посівів.

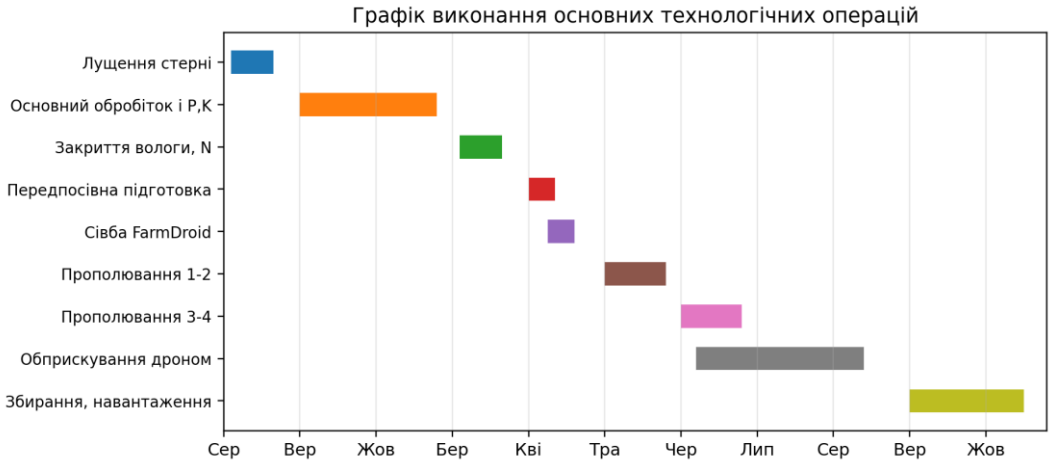


Рис. 2.6. Календарний графік виконання основних технологічних операцій.

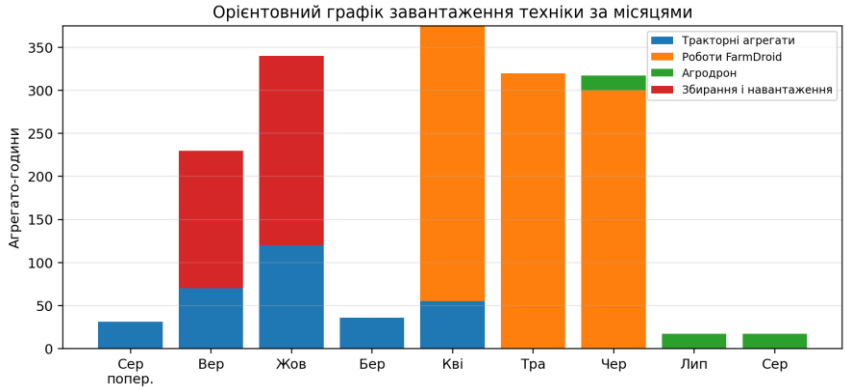


Рис. 2.7. Орієнтовний графік завантаження техніки за місяцями.

Таблиця 2.8 – Розподіл завантаження техніки за місяцями

Місяць	Тракторні агрегати, год	Роботи, год	Дрон, год	Збирання/ навантаження, год	Ключові роботи
Серпень попереднього року	31	0	0	0	лущення стерні
Вересень	95	0	0	0	добрива, початок основного обробітку
Жовтень	28	0	0	0	завершення зяблевого обробітку
Березень	36	0	0	0	закриття вологи, стартове живлення
Квітень	55	320	0	0	підготовка, сівба, коткування
Травень	0	320	0	0	перше і друге прополювання
Червень	0	300	17	0	третє-четверте прополювання, перше внесення дроном
Липень	0	0	17	0	фунгіцидний захист за потреби
Серпень	0	0	17	0	пізній захист / мікродобрива
Вересень	70	0	0	160	початок збирання
Жовтень	120	0	0	220	основне збирання, навантаження, транспорт

2.7. Очікувана ефективність прийнятої технології.

Запропонована технологія забезпечує повний цикл вирощування цукрових буряків на площі 200 га з акцентом на точність, зменшення ущільнення ґрунту та раціональне використання праці. Найбільш трудомісткими залишаються основний обробіток, збирання, підбирання і транспортування коренеплодів, тому модернізація підбирача-навантажувача безпосередньо пов’язана з ефективністю завершального етапу технології. Поліпшення сепарації ґрунтових домішок і рослинних решток під час підбирання коренеплодів зменшує масу забруднення, підвищує якість сировини та скорочує простої транспорту.

Використання робота FarmDroid FD20 дає змогу зменшити залежність від ручної праці та гербіцидів, а застосування агродрона DJI Agras T50 підвищує оперативність захисних заходів. Суміщення цих рішень із традиційними енергонасиченими тракторами і спеціалізованими бурякозбиральними

машинами формує комбіновану технологію, придатну для господарства Лісостепу Житомирської області. Очікуваний валовий збір при урожайності 55 т/га становить близько 11 тис. т коренеплодів, що вимагає узгодженої роботи збирального комбайна, модернізованого підбирача-навантажувача та транспортного ланцюга.

Отже, технологічна карта на 200 га підтверджує доцільність застосування сучасної техніки, автономних роботів і агродронів у буряківництві. Особливо важливим є те, що роботизація й дронізація не замінюють усю систему машин, а доповнюють її в найбільш критичних операціях: боротьбі з бур'янами, фітосанітарному моніторингу та точному внесенні робочих розчинів. Завершальним елементом проекту є модернізований підбирач-навантажувач коренеплодів, який повинен забезпечити якісне підбирання, очищення й навантаження урожаю без надмірного пошкодження коренеплодів.

2.8. Управління технологічними ризиками та якістю робіт

Проектована технологія містить значну частку інноваційних засобів, тому її ефективність залежить не лише від наявності техніки, а й від організації контролю якості. Для 200 га доцільно вести електронний журнал операцій, у якому фіксуються дата виконання, фактична площа, погодні умови, витрата матеріалів, виконавець і зауваження щодо якості. Особливо важливо документувати проходи роботів та агродрона, оскільки ці операції мають високу просторову точність і можуть повторюватися за картами-завданнями.

Основними ризиками є запізнення з ранньовесняними роботами, утворення ґрунтової кірки після сівби, хвилеподібна поява бур'янів, перезволоження поля перед захисними заходами, пошкодження коренеплодів під час збирання та нестача транспорту під час масового навантаження. Для кожного ризику в технологічній карті передбачаються профілактичні дії: резерв часу, оперативний моніторинг, застосування автономного обладнання і синхронізація з транспортом.

Таблиця 2.9 – Основні технологічні ризики та заходи їх зменшення

Ризик	Можливий наслідок	Профілактичний захід
Перезволоження ґрунту навесні	затримка передпосівної підготовки і сівби	використання легких агрегатів, робота лише за фізичної стиглості ґрунту
Ґрунтова кірка після сівби	нерівномірні сходи, зрідження посіву	контроль стану поля, обережне коткування або ротаційна борона за потреби
Швидка поява бур’янів	пригнічення молодих рослин буряків	ранній запуск FarmDroid FD20 і повторні проходи до змикання рядків
Вітер під час обприскування	знесення робочої рідини за межі поля	перенесення польоту, дотримання буферних зон і регламентів безпеки
Пошкодження коренеплодів при збиранні	втрата маси, зниження якості сировини	регулювання глибини підкопування, швидкості комбайна і роботи ППК-6
Нестача транспорту	простої комбайна або навантажувача	попереднє планування маршрутів, резерв машин і погодинний графік відвантаження

Контроль якості завершального етапу передбачає оцінку забрудненості коренеплодів ґрунтом, наявності рослинних решток, ступеня механічного пошкодження та рівномірності завантаження транспортних засобів. Саме ці показники пов’язані з конструктивною частиною роботи, оскільки модернізований підбирач-навантажувач має забезпечувати інтенсивніше струшування вороху і кращу сепарацію домішок без надмірного травмування коренеплодів.

Висновки до розділу

У другому розділі спроектовано технологію вирощування цукрових буряків для господарства Лісостепу Житомирської області на площі 200 га. Основою технології є класичний для буряків інтенсивний обробіток ґрунту, але з доповненням сучасними цифровими та автономними засобами. Це дає змогу поєднати агротехнічну надійність традиційної системи машин із перевагами точного землеробства.

Розроблена технологічна карта охоплює повний виробничий цикл: післяжнивний обробіток, основний обробіток, внесення добрив, передпосівну підготовку, сівбу, роботизоване прополювання, фітосанітарний захист агродроном, збирання, підбирання, навантаження і транспортування

коренеплодів. Для кожної операції підібрано агрегат, розраховано обсяг робіт і орієнтовну тривалість виконання.

Для боротьби з бур’янами прийнято флот із п’яти роботів FarmDroid FD20. Це рішення відповідає особливостям цукрових буряків, які потребують чистого поля в початкові фази росту. Роботизована система зменшує залежність від ручної праці та скорочує потребу в суцільному гербіцидному захисті. Додатковою перевагою є мала маса робота, що знижує ризик ущільнення ґрунту порівняно з багаторазовими проходами тракторних агрегатів.

Для внесення мікродобрив і засобів захисту рослин обрано агродрон DJI Agras T50. Його застосування особливо корисне в періоди, коли посіви вже зімкнули листки або поле перезволожене для руху традиційного обприскувача. Дрон не формує технологічних колій, може працювати за картами-завданнями та швидко обробляти осередкові ділянки.

Завершальний етап технології пов’язаний із темою кваліфікаційної роботи – модернізацією підбирача-навантажувача коренеплодів. За валового збору близько 11 000 т навіть незначне зменшення домішок ґрунту і пошкодження коренеплодів дає помітний економічний ефект. Тому удосконалення робочих органів підбирача-навантажувача є обґрунтованим напрямом підвищення ефективності всього комплексу машин.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОГО ПІДБИРАЧА-НАВАНТАЖУВАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ

3.1 Обґрунтування конструктивної розробки

Збирання коренеплодів є завершальною і водночас однією з найвідповідальніших операцій у технології вирощування цукрових буряків. Від своєчасності виконання цієї операції, якості зрізування гички, повноти викопування, очищення та навантаження коренеплодів безпосередньо залежать товарна якість сировини, втрати врожаю і кінцеві економічні показники роботи господарства.

Якість зібраних коренеплодів значною мірою визначається технічним станом і правильністю регулювання бурякозбиральної техніки. Невідповідне налаштування робочих органів комбайна або підбирача-навантажувача спричиняє підвищені механічні пошкодження, засміченість вороху ґрунтом та рослинними рештками, а також збільшення втрат маси коренеплодів.

Важливим чинником є місце зрізування гички. Оптимальним вважається зріз приблизно на 1 см нижче нижніх зелених черешків листків. Відхилення від цього рівня призводить або до надмірного зрізування головки коренеплоду, або до залишення значної кількості гички, що ускладнює подальше очищення та зберігання сировини.

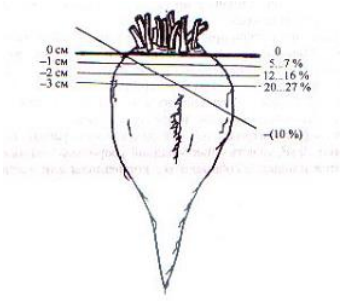


Рис. 3.1. Втрати маси коренеплоду за неправильної обрізки гички.

Раціональна глибина підкопування повинна забезпечувати повне вивільнення коренеплодів з ґрунту з мінімальним обламуванням хвостової частини. За недостатньої глибини підкопування коренеплід частково

залишається в ґрунті або відламується, а за надмірної глибини різко збільшується надходження ґрунтової маси на робочі органи машини, зростає тяговий опір і погіршується сепарація.

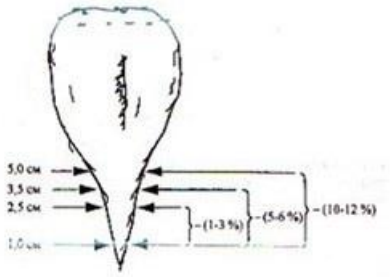


Рис. 3.2. Залежність втрат урожайності від довжини обламаної хвостової частини коренеплоду.

Основна маса коренеплодів зазвичай розміщується в шарі ґрунту до 20 см. Для нормальної роботи вібраційних копачів доцільно обмежувати робочу глибину приблизно до 10 см, що дає змогу зменшити захоплення зайвого ґрунту та не перевантажувати сепарувальні органи.

Після викопування буряків комбайном КСН-6 і формування валка коренеплодів до роботи залучають підбирач-навантажувач ППК-6. Його основне призначення полягає у підбиранні коренеплодів із валка, попередньому очищенні від домішок та навантаженні у транспортний засіб. Машина агрегатується з тракторами тягового класу 1,4 і використовується у потоковій технології збирання цукрових буряків.

Недоліком базового підбирача-навантажувача є те, що за підвищеної вологості ґрунту та значної кількості рослинних решток прутковий транспортер не завжди забезпечує достатньо інтенсивне струшування вороху. У результаті на поверхні коренеплодів залишаються грудки ґрунту, фрагменти гички і частина хвостиків, що збільшує засміченість сировини та навантаження на наступні етапи очищення.

Для підвищення якості очищення пропонується модернізувати підбирач-навантажувач ППК-6. Суть модернізації полягає у встановленні під прутковим підбираючим елеватором двох пар пасивних еліптичних роликів. Під час руху стрічки ці ролики створюють додаткове періодичне струшування пруткового

полотна, унаслідок чого ґрунт активніше відокремлюється від поверхні коренеплодів і просівається крізь зазори між прутками.

Додатково передбачається заміна суцільного підбираючого транспортера на дві незалежні стрічки. Таке рішення підвищує ремонтопридатність вузла, спрощує заміну пошкоджених елементів, зменшує витрати на технічне обслуговування та дає змогу забезпечити стабільнішу роботу транспортера за нерівномірного надходження вороху. Привід доцільно виконати через ланцюгову передачу, що зменшує втрати крутного моменту та забезпечує надійне передавання руху на робочі органи.

Підбирач-навантажувач коренеплодів ППК-6 складається з несної рами, блока підбираючих транспортерів, сепарувального ротора, навантажувального транспортера, механізмів передач, гідравлічної системи та електричної системи світлової сигналізації. Привід основних робочих органів здійснюється від вала відбору потужності трактора через карданну передачу.

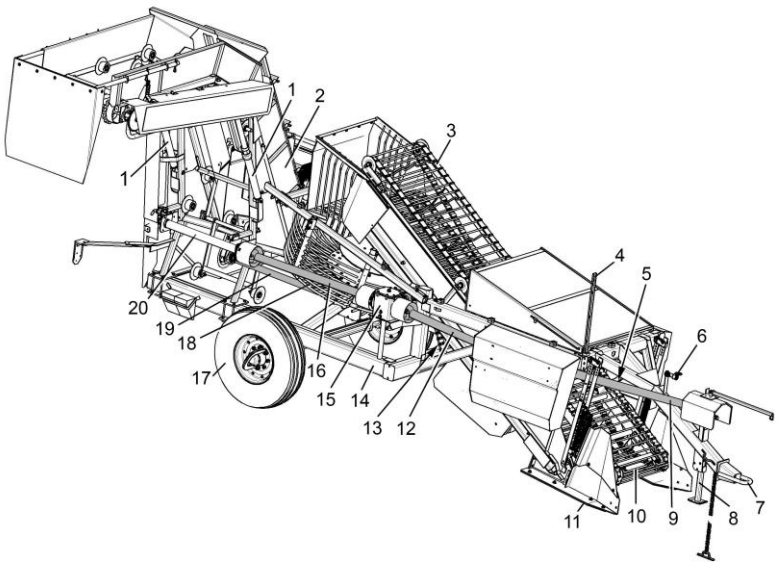


Рис. 3.3. Підбирач-навантажувач коренеплодів ППК-6: 1 – гідроциліндри; 2 – навантажувальний транспортер; 3, 10 – притискні транспортери; 4 – штанга; 5 – приводне колесо; 6 – гідравлічна напівмуфта; 7 – причіпна петля; 8 – опора; 9, 12, 16, 19 – карданні вали; 11 – копір; 13 – підбираючий транспортер; 14 – рама; 15 – редуктор; 17 – колесо; 18 – сепарувальний ротор; 20 – вал.

Блок транспортерів базової машини містить притискний, передній та підбираючий транспортери, змонтовані на одній рамі. Вони забезпечують підбирання коренеплодів із валка, їх попереднє очищення і переміщення до сепарувального ротора.

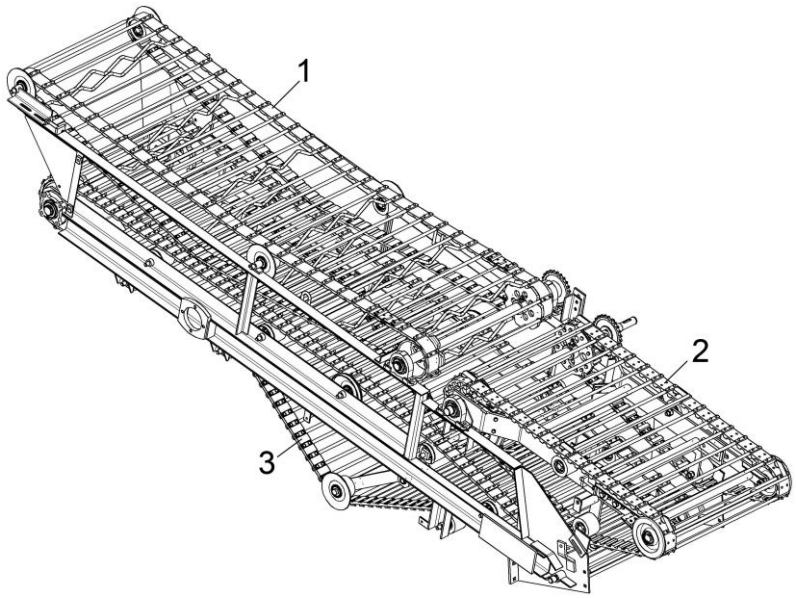


Рис. 3.4. Блок транспортерів підбирача ППК-6 базової конструкції.

Розділення підбираючого транспортера на дві незалежні стрічки у поєднанні з еліптичними роликами дає змогу підвищити інтенсивність сепарації, зменшити налипання ґрунту на коренеплоди та знизити витрати на відновлення транспортера під час експлуатації.

3.2 Огляд і порівняльна оцінка відомих конструкцій

Ефективність використання комплексу машин для вирощування та збирання цукрових буряків значною мірою залежить від готовності збиральних агрегатів до виконання агротехнічних робіт у стислий строк. Сучасні бурякозбиральні машини призначені для видалення або подрібнення гички, викопування коренеплодів, очищення вороху від ґрунтових і рослинних домішок, а також навантаження у транспортні засоби або накопичення в бункері.

Одним із прикладів самохідної техніки є бурякозбиральний комбайн SF 10.2 фірми Franz Kleine. Машина призначена для викопування та очищення

цукрових буряків. Порівняно невелика власна маса зменшує ущільнення ґрунту, а наявність бункера місткістю близько 15 м³ дає змогу скоротити простої, пов’язані з розвантаженням. Технологічний процес починається з підкопування коренеплодів віброкопачами, після чого ворох надходить на систему роторного очищення.



Рис. 3.5. Самохідний бурякозбиральний комбайн SF 10.2.

Високопродуктивним представником сучасних збиральних машин є Terra Dos T4-40 фірми Holmer. У конструкції комбайна застосовано завантажувальний елеватор шириною 1000 мм, що забезпечує стабільне переміщення потоку коренеплодів до бункера. Місткість бункера становить близько 30 т, а контроль заповнення здійснюється за допомогою датчиків рівня. Розвантаження відбувається швидко завдяки двосторонній подачі коренеплодів на вивантажувальний транспортер.



Рис. 3.6. Самохідний бурякозбиральний комбайн Terra Dos T4-40.

Самохідний комбайн СКС-624 призначений для однофазного збирання цукрових буряків у різних ґрунтово-кліматичних умовах, окрім полів із низькою несною здатністю ґрунту та гірських районів. У технологічному процесі машина виконує зрізування і розкидання гички, дообрізування головок, викопування коренеплодів, сепарацію вороху, очищення від землі та рослинних решток, завантаження в бункер і подальше вивантаження у транспортний засіб або польовий кагат.

Поєднання кількох операцій в одній самохідній машині зменшує кількість проходів техніки полем, обмежує ущільнення ґрунту, скорочує витрати пального і трудові витрати, а також зменшує кількість перевалок коренеплодів. Основними технологічними вузлами комбайна є гичкозбиральний і коренезбиральний модулі, підйомно-сепарувальний блок, бункер та система транспортерів. Вивантажувальний транспортер зі змінною висотою подачі забезпечує розвантаження бункера об’ємом до 24 м³ приблизно за одну хвилину.



Рис. 3.7. Самохідний комбайн.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика розглянутих машин для збирання коренеплодів.

Машина	Тип і призначення	Основні переваги	Обмеження / особливості
ППК-6	Причіпний підбирач-навантажувач коренеплодів із валка	Проста конструкція, агрегатування з трактором класу 1,4, придатність до потокової технології	Потребує підвищення інтенсивності очищення за вологого ґрунту
SF 10.2	Самохідний бурякозбиральний комбайн	Невелике ущільнення ґрунту, бункер близько 15 м³, роторна система очищення	Вища вартість і складніша система обслуговування
Terra Dos T4-40	Високопродуктивний самохідний комбайн	Широкий завантажувальний елеватор, бункер близько 30 т, швидке розвантаження	Доцільний для великих площ і потужної транспортної логістики
СКС-624	Самохідний комбайн для однофазного збирання	Виконання повного комплексу операцій за один прохід, зниження втрат і перевалок	Не рекомендований для ґрунтів із низькою несною здатністю

Порівняльний аналіз показує, що самохідні комбайни забезпечують високу продуктивність та інтеграцію операцій, однак їх використання економічно виправдане переважно на великих площах. Для господарств із роздільною технологією збирання доцільним є удосконалення підбирача-навантажувача ППК-6, оскільки модернізація його сепарувальної частини потребує менших капітальних витрат і безпосередньо впливає на якість очищення коренеплодів.

3.3 Конструкторські розрахунки

3.3.1 Кінематичний і силовий розрахунок привода

Кінематичний і силовий розрахунок привода виконано для визначення крутного моменту на валу переднього підбираючого транспортера, а також для перевірки працездатності елементів ланцюгової передачі. Розрахунок ведемо за умовою передавання потужності від привода на вал транспортера з урахуванням втрат у підшипниках і ланцюговій передачі.

Крутний момент на валу транспортера визначають за залежністю:

$$T_з = P_з / \omega_з, \text{ Н·м}, \quad (3.1)$$

де $P_з$ – потужність, що передається валом, Вт; $\omega_з$ – кутова швидкість вихідного вала, $с^{-1}$.

Потужність на валу з урахуванням коефіцієнтів корисної дії визначається за формулою:

$$P_з = P_2 \cdot \eta_{п.п} \cdot \eta_{л.п}, \text{ Вт}, \quad (3.2)$$

де P_2 - потужність, що підводиться до переднього транспортера, Вт; $\eta_{п.п}$ – коефіцієнт корисної дії пари підшипників; $\eta_{л.п}$ – коефіцієнт корисної дії ланцюгової передачі, $\eta_{л.п} = 0,95$.

Кутова швидкість вихідного вала обчислюється за виразом:

$$\omega_з = \pi \cdot n / 30, \ с^{-1}, \quad (4.3)$$

За прийнятими вихідними даними $P_2 = 8$ кВт, ηп.п = 0,99, ηл.п = 0,95. Тоді:

$$P_з = 8 \cdot 10^3 \cdot 0,99 \cdot 0,95 = 7524 \text{ Вт}.$$

За частоти обертання вихідного вала n = 197,8 об/хв кутова швидкість становить:

$$\omega_з = 3,14 \cdot 197,8 / 30 = 20,7 \ с^{-1}.$$

Отже, крутний момент на валу переднього підбираючого транспортера дорівнює:

$$T_з = 7524 / 20,7 = 370,3 \text{ Н·м}.$$

Отримане значення використовується для подальшого визначення діаметра вала та вибору параметрів елементів привода.

3.3.2 Розрахунок вала переднього підбираючого транспортера

Діаметр вала попередньо визначаємо з умови міцності на кручення. Для суцільного круглого вала розрахункова залежність має вигляд:

$$d = \sqrt[3]{(T_з / (0,2 \cdot [\tau]))}, \text{ мм}, \quad (3.4)$$

де $[\tau]$ – допустиме дотичне напруження під час кручення, МПа. Для попереднього розрахунку приймаємо $[\tau] = 30$ МПа.

$$d = \sqrt[3]{(370,3 \cdot 10^3 / (0,2 \cdot 30))} = 39,5 \text{ мм}.$$

З урахуванням послаблення перерізу шпонковим пазом, технологічного запасу та нормалізованого ряду діаметрів приймаємо конструктивний діаметр вала d = 40 мм. Такий розмір забезпечує необхідний запас міцності та сумісність із типовими підшипниковими вузлами і зірочками ланцюгової передачі.

3.3.3 Розрахунок ланцюгової зірочки

Основними параметрами ланцюгової передачі є передаточне відношення, кількість зубців ведучої та веденої зірочок, ділильні діаметри й діаметри кіл виступів. Передаточне відношення визначаємо за співвідношенням частот обертання валів:

$$U = n_3 / n_2 = 148 / 197 = 0{,}75. \quad (3.5)$$

За прийнятої кількості зубців ведучої зірочки $z_2 = 24$ кількість зубців веденої зірочки визначаємо так:

$$z_3 = z_2 \cdot U = 24 \cdot 0{,}75 = 18. \quad (3.6)$$

Ділильний діаметр зірочки визначається залежністю:

$$d_д = p / \sin(180° / z), \text{ мм}, \quad (3.7)$$

де p - крок ланцюга, p = 10,6 мм; z - кількість зубців відповідної зірочки. Для прийнятих значень отримуємо:

$$d_{д2} = 10{,}6 / \sin(180° / 24) = 81{,}2 \text{ мм};$$

$$d_{д3} = 10{,}6 / \sin(180° / 18) = 61{,}0 \text{ мм}.$$

Діаметр кола виступів зірочки орієнтовно приймаємо за формулою:

$$da = d_д + 0{,}8 \cdot p. \quad (3.8)$$

$$da_2 = 81{,}2 + 0{,}8 \cdot 10{,}6 = 89{,}7 \text{ мм};$$

$$da_3 = 61{,}0 + 0{,}8 \cdot 10{,}6 = 69{,}5 \text{ мм}.$$

Прийняті параметри забезпечують узгоджену роботу переднього і підбираючого транспортерів, а також достатній запас за тяговою здатністю ланцюгової передачі.

3.3.4 Розрахунок еліптичного ролика

Ефективність роботи пруткового транспортера значною мірою залежить від швидкості руху його полотна. Від цієї швидкості залежить товщина шару вороху, тривалість перебування маси на робочій поверхні та інтенсивність просіювання ґрунту крізь проміжки між прутками.

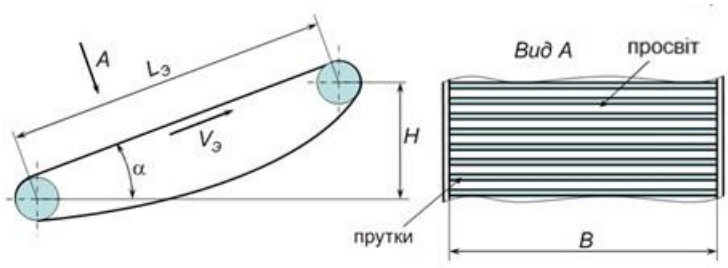


Рис. 3.8. Основні параметри пруткового транспортера.

Швидкість полотна елеватора ve визначає інтенсивність сепарації. За наявності еліптичних струшувачів вона також впливає на амплітуду і частоту коливань вороху. Нижню межу швидкості встановлюють з умови недопущення згортання маси перед транспортером:

$$v_e \geq v_м / \cos \alpha, \tag{3.9}$$

де $v_м$ – поступальна швидкість машини; α – кут нахилу робочої гілки елеватора.

Просвіт між сусідніми прутками повинен бути меншим за мінімальний діаметр коренеплодів, щоб запобігти їх просипанню та втратам:

$$t - d \leq d_{кл}, \tag{3.10}$$

де t – крок прутків, мм; d – діаметр прутка, мм; $d_{кл}$ – мінімальний діаметр коренеплоду, мм. Для пруткових елеваторів доцільно приймати крок прутків у межах 55...68 мм і діаметр прутка 10...11 мм.

Збільшення швидкості елеватора сприяє інтенсивнішому очищенню, однак надмірне її підвищення може збільшити механічні пошкодження коренеплодів. Для пруткових елеваторів сучасних конструкцій раціональною вважається швидкість 1,5...2,5 м/с.

Для кращого просіювання ґрунту робоча гілка елеватора струшується еліптичними роликами. Під час взаємодії прутків із роликом окремі ланки

полотна рухаються по криволінійній траєкторії, унаслідок чого на шар вороху діє відцентрова сила. Якщо її вертикальна складова перевищує вагу шару, ворох відривається від полотна та повторно падає на прутки, що підсилює руйнування ґрунтових грудок і просіювання домішок.

Умову відриву шару вороху від поверхні елеватора можна записати як:

$$P_в > Q. \quad (3.11)$$

Після перетворення умова струшування набуває вигляду:

$$n > 30 \cdot \sqrt{(\cos \alpha / r)}, \text{ об/хв}, \quad (3.12)$$

де n - частота обертання еліптичного ролика, об/хв; α - кут нахилу робочої гілки елеватора; r - радіус струшувача, м.

Для підбирача-навантажувача ППК-6 приймаємо α = 38°, r = 0,068 м. Тоді гранична частота обертання ролика становить:

$$n > 30 \cdot \sqrt{(\cos 38° / 0{,}068)} = 102 \text{ об/хв}.$$

Отже, ефективне струшування вороху на прутковому елеваторі починається за частоти обертання роликів понад 102 об/хв. Оскільки контакт вороху з еліптичними роликами відбувається лише в зоні їх дії, сепарувальна здатність елеватора залежить від кількості роликів, їх геометрії, розміщення та частоти взаємодії з прутковим полотном.

3.3.5 Розрахунок болтового та зварного з’єднань

У модернізованій конструкції натяжний механізм стрічки переднього підбираючого транспортера кріпиться до рами за допомогою болтового з’єднання. Схему такого з’єднання наведено на рисунку 4.9.

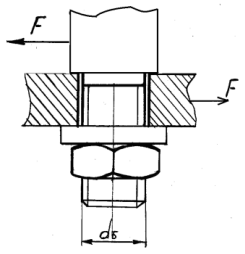


Рис. 3.9. Схема болтового з’єднання.

Зусилля затягування болтів визначаємо з умови запобігання зсуву деталей у стику:

$$F_з = k \cdot F / (f \cdot i), Н, \quad (3.13)$$

де F – робоче навантаження, F = 60 Н; k – коефіцієнт запасу, k = 1,2; f - коефіцієнт тертя деталей у стику, f = 0,15; i – кількість площин зсуву, i = 1.

$$F_з = 1,2 \cdot 60 / (0,15 \cdot 1) = 480 Н.$$

Розрахунковий діаметр болта визначаємо за умовою міцності на розтяг:

$$d = \sqrt{(4 \cdot Fз / (\pi \cdot z \cdot [\sigma р]))}, мм, \quad (4.14)$$

де z – кількість болтів у з'єднанні, z = 2; $[\sigma_р]$ – допустиме напруження розтягу, $[\sigma_р]$ = 60 МПа. З урахуванням розрахункового навантаження, монтажних зазорів і технологічного запасу приймаємо болти діаметром d = 14 мм. Таке конструктивне рішення забезпечує надійне кріплення натяжного механізму до рами підбирача-навантажувача.

Під час складання кронштейна притискного ролика з втулкою передбачається застосування електродугового зварювання. Основними параметрами кутового шва є катет k і довжина шва b. Приймаємо k = 10 мм, b = 12 мм.

Розрахунок кутового зварного шва виконують за небезпечною площиною зрізу, яка збігається з бісектрисою прямого кута:

$$\tau_{зр} = F / (0,7 \cdot k \cdot b) \le [\tau_{зр}], \quad (3.15)$$

де $\tau_{зр}$ – розрахункове напруження зрізу у зварному шві, МПа; $[\tau_{зр}]$ - допустиме напруження для кутового шва, МПа; F – навантаження на зварне з'єднання. Для ручного зварювання електродами типу Е42А приймаємо:

$$[\tau_{зр}] = 0,65 \cdot [\sigma_р]. \quad (3.16)$$

Для сталі 45 допустиме напруження розтягу визначаємо за умовою:

$$[\sigma_р] = (0,5...0,6) \cdot \sigma т = (0,5...0,6) \cdot 570 = 285 МПа. \quad (317)$$

$$[\tau_{зр}] = 0,65 \cdot 285 = 185,25 МПа.$$

За прийнятого навантаження F = 665,74 Н розрахункове напруження у шві становить:

$$\tau зр = 665,74 / (0,7 \cdot 10 \cdot 12) = 7,93 МПа.$$

Оскільки $\tau_{зр}$ = 7,93 МПа < $[\tau_{зр}]$ = 185,25 МПа, зварне з’єднання має достатній запас міцності. Отже, прийняті параметри болтового та зварного з’єднань забезпечують надійну роботу модернізованого вузла підбирача-навантажувача протягом тривалого періоду експлуатації.

Висновок до розділу

У конструктивному розділі обґрунтовано доцільність модернізації підбирача-навантажувача коренеплодів ППК-6 для використання у комплексі машин з вирощування та збирання цукрових буряків. Запропоновано встановити під прутковим підбираючим елеватором дві пари пасивних еліптичних роликів і виконати підбираючий транспортер у вигляді двох незалежних стрічок. Така модернізація підвищує інтенсивність струшування вороху, покращує відокремлення налиплого ґрунту та рослинних решток, а також спрощує ремонт і технічне обслуговування транспортера.

Виконані кінематичні та міцнісні розрахунки підтвердили працездатність прийнятих конструктивних рішень. Діаметр вала переднього підбираючого транспортера прийнято 40 мм, параметри ланцюгової передачі узгоджено з частотами обертання валів, а частота обертання еліптичних роликів понад 102 об/хв забезпечує необхідне струшування вороху. Перевірка болтового та зварного з’єднань засвідчила достатній запас міцності модернізованого вузла.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто комплекс питань, пов’язаних із підвищенням ефективності виробництва цукрових буряків за рахунок раціонального добору машин, впровадження сучасних технічних засобів і вдосконалення конструкції підбирача-навантажувача коренеплодів. Актуальність роботи зумовлена тим, що цукрові буряки є важливою технічною культурою для аграрного сектору України, а ефективність їх вирощування значною мірою залежить від рівня механізації, якості виконання технологічних операцій, своєчасності польових робіт та мінімізації втрат під час збирання.

У першому розділі було проаналізовано сучасний стан технології вирощування цукрових буряків у світі та Україні. Встановлено, що провідні країни-виробники цієї культури активно впроваджують високопродуктивні машини, системи точного землеробства, автоматизоване керування агрегатами, електронний моніторинг технологічних процесів, роботизовані засоби догляду за посівами та безпілотні літальні апарати. Для України важливим напрямом розвитку буряківництва є оновлення машинно-тракторного парку, підвищення точності виконання польових операцій, зменшення енерговитрат і скорочення втрат коренеплодів під час збирання та транспортування.

У другому розділі було спроєктовано технологію вирощування цукрових буряків в умовах Лісостепу Житомирської області на площі 200 га. Розроблена технологічна карта охоплює основні операції: основний і передпосівний обробіток ґрунту, внесення добрив, сівбу, догляд за посівами, роботизовану боротьбу з бур’янами, обприскування агродроном, збирання, підбирання, навантаження та транспортування коренеплодів. Для виконання технологічних операцій підібрано сучасний комплекс машин, який забезпечує своєчасне та якісне проведення робіт з урахуванням агротехнічних строків, площі посіву та природно-кліматичних умов регіону.

У конструктивній частині роботи розглянуто модернізацію підбирача-навантажувача коренеплодів. Основною метою вдосконалення є підвищення

якості очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних домішок, зменшення втрат продукції та покращення умов подальшого транспортування буряків на переробку. Запропоновані конструктивні рішення передбачають удосконалення роботи підбираючого транспортера та елементів, які забезпечують додаткове струшування й очищення вороху коренеплодів. Виконані інженерні розрахунки підтвердили працездатність основних вузлів модернізованого підбирача-навантажувача та можливість його використання в технологічному процесі збирання цукрових буряків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

2. Роїк М. В., Сінченко В. М., Пиркін В. І. Цукрові буряки: вирощування, збирання, зберігання. Київ : Аграрна наука, 2010. 232 с.

3. Сінченко В. М. Управління продукційним процесом вирощування цукрових буряків. Цукрові буряки. 2019. № 1. С. 6–11.

4. Калетнік Г. М., Пришляк Н. В. Біоенергетичні культури: технології вирощування та використання. Вінниця : ВНАУ, 2020. 255 с.

5. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

6. Shevchenko, I., Golub, G., Tsyvenkova, N., Martynyuk, A., Rogovskii, I., Medvedskyi, O., Kulykivskyi, V., Zayets, M., & Biletskii, V. Determining design parameters of disk working bodies for overcompacted soils. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2026. Vol. 1, No. 1 (139). P. 105–115.

7. 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.

8. Кравчук В. І., Грицишин М. І., Погорілий В. І. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. Київ : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2011. 240 с.

9. Гевко Р. Б., Барановський В. М., Ляшук О. Л. Машини для збирання коренебульбоплодів: теорія, конструкція, розрахунок. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 351 с.

10. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи підвищення ефективності роботи машин для збирання коренеплодів. Сільськогосподарські машини. 2018. Вип. 39. С. 15–24.

11. Агробізнес сьогодні. Технологія вирощування цукрових буряків. URL: https://agro-business.com.ua/ (дата звернення: 23.06.2026).

12. AgroPortal. Цукрові буряки: технологія вирощування та економічна ефективність. URL: https://agroportal.ua/ (дата звернення: 23.06.2026).

13. Latifundist.com. Цукрові буряки в Україні: виробництво, площі та ринок. URL: https://latifundist.com/ (дата звернення: 23.06.2026).

14. FAOSTAT. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/faostat/en/ (accessed: 23.06.2026).

15. FAO. Sugarbeet: crop information. Land & Water Division. URL: https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/sugarbeet/en/ (accessed: 23.06.2026).

16. USDA Foreign Agricultural Service. Ukraine: Sugar Annual. URL: https://www.fas.usda.gov/data/gain/2026/05/ukraine-sugar-annual (accessed: 23.06.2026).

17. European Commission. Sugar market observatory. Agriculture and rural development. URL: https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/overviews/market-observatories/sugar_en (accessed: 23.06.2026).

18. European Commission. Sugar: agri-food data portal. URL: https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DataPortal/sugar.html (accessed: 23.06.2026).

19. FarmDroid. FD20 automatic seeding and weeding robot: factsheet. URL: https://farmdroid.com/wp-content/uploads/Factsheet-FD20-Metricimperial-2023.pdf (accessed: 23.06.2026).

20. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

21. 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.

22. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.

23. 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.

24. 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.

25. FarmDroid. FD20: automatic seeding and weeding robot. URL: https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/ (accessed: 23.06.2026).

26. DJI Agriculture. DJI Agras T50: product information. URL: https://ag.dji.com/t50 (accessed: 23.06.2026).

27. DJI Agriculture. DJI Agras T50: technical specifications. URL: https://ag.dji.com/t50/specs (accessed: 23.06.2026).

28. GRIMME. Beet technology: self-propelled harvesting technology. URL: https://products.grimme.com/en/o/ruebentechnik (accessed: 23.06.2026).

29. ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH. Euro-Maus 4: self-propelled cleaner-loader for sugar beet. URL: https://www.ropa-maschinenbau.de/en/products/beet-loaders/euro-maus-4/ (accessed: 23.06.2026).

30. CTM Root Crop Systems. Optimus sugar beet cleaner loader. URL: https://www.ctmrootcropsystems.co.uk/ctm-unveils-groundbreaking-optimus-sugar-beet-cleaner-loader/ (accessed: 23.06.2026).

31. Hoffmann C. M., Kenter C. Yield potential of sugar beet: have we hit the ceiling? Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. Article 289. DOI: 10.3389/fpls.2018.00289.