

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Хмельовський Руслан Анатолійович

УДК 631.17

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ
ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ІЗ МОДЕРНІЗАЦІЄЮ
УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИЧІПНОГО РОЗКИДАЧА
ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ
ПОДРІБНЮЮЧИМИ БАРАБАНАМИ
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 _____ Хмельовський Р.А.

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

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Хмельовський Руслан Анатолійович. Удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків із модернізацією універсального причіпного розкидача органічних добрив з горизонтальними подрібнюючими барабанами. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В кваліфікаційній роботі обґрунтовано необхідність удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків враховуючі досягнення сучасної науки та досвіду передових підприємств. В роботі обґрунтовано необхідність підвищення ефективності внесення органіки з урахуванням сучасних агрономічних вимог до збереження родючості ґрунту та забезпечення високої врожайності культури. Аналіз технічного рівня наявних розкидачів показав, що традиційні механізми недостатньо ефективно подрібнюють великі фракції гною чи компосту, що призводить до нерівномірного розподілу поживних речовин у ґрунті та зниження агрономічного ефекту. Запропонована конструкція із встановленням горизонтальних подрібнюючих барабанів забезпечує попередню обробку органічної маси безпосередньо перед вивантаженням, що дозволяє отримати одноріднішу фракцію з розмірами частинок, оптимальними для рівномірного розсіву.

Практична значущість отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності агротехнології вирощування цукрових буряків шляхом інтеграції модернізованого причіпного розкидача в існуючий машинно-тракторний парк. Результати роботи підтвердили доцільність та ефективність модернізації універсального причіпного розкидача органічних добрив із використанням горизонтальних подрібнюючих барабанів.

Ключові слова: органічні добрива, технологія, цукрові буряки, розкидач, модернізація.

ANNOTATION

Khmelovskyi Ruslan Anatolyevich. Improvement of a complex of machines for growing sugar beet with modernization of a universal trailed organic fertilizer spreader with horizontal shredding drums. – Qualification work on the rights of the manuscript.

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

The qualification work substantiates the need to improve the complex of machines for growing sugar beet, taking into account the achievements of modern science and the experience of advanced enterprises. The work substantiates the need to increase the efficiency of organic matter application, taking into account modern agronomic requirements for maintaining soil fertility and ensuring high crop yields. An analysis of the technical level of existing spreaders has shown that traditional mechanisms do not effectively grind large fractions of manure or compost, which leads to uneven distribution of nutrients in the soil and a decrease in the agronomic effect. The proposed design with the installation of horizontal shredding drums provides pretreatment of the organic mass immediately before unloading, which allows for a more homogeneous fraction with particle sizes that are optimal for uniform sowing.

The practical significance of the results obtained is to increase the efficiency of sugar beet cultivation by integrating the modernized trailed spreader into the existing machine and tractor fleet. The results of the work confirmed the feasibility and effectiveness of modernizing the universal trailed organic fertilizer spreader using horizontal shredding drums.

Keywords: organic fertilizers, technology, sugar beet, spreader, modernization.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ В УКРАЇНІ ТА РОЗРОБКА СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИРОЩУВАННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ НА ВНЕСЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ.....	26
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ РОЗКИДАННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ.....	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми дослідження обумовлена нагальною потребою підвищення ефективності та екологічної безпеки процесу вирощування цукрових буряків в умовах сучасного агровиробництва. В Україні площі під цукровими буряками займають значну частину сільськогосподарських угідь, тому оптимізація машинно-тракторного парку для цієї культури безпосередньо впливає на загальний рівень конкурентоспроможності галузі. Зокрема, внесення органічних добрив є однією з ключових агротехнічних операцій, що забезпечує покращення фізико-хімічних показників ґрунту та стабільність високих врожаїв. Проте наявні універсальні причіпні розкидачі органічних добрив часто не гарантують достатньої якості подрібнення матеріалів — великий розмір фракцій гною чи компосту призводить до нерівномірного розподілу поживних речовин у товщі ґрунту, що, своєю чергою, знижує агрономічний ефект. Сучасні аграрні підприємства стикаються з питаннями зменшення втрат органіки під час транспортування та розкидання, оскільки некоректна фракція спричиняє підвищення витрат добрив та нерівномірний ріст рослин. Водночас екологічні вимоги до збереження ґрунтового покриву вимагають мінімізувати механічне ущільнення ґрунту й знизити ризик стоку поживних речовин у навколишнє середовище. У зв'язку з цим модернізація розкидача за рахунок встановлення горизонтальних подрібнюючих барабанів стає вкрай важливою, адже дозволяє отримувати однорідну фракцію органічних добрив безпосередньо перед внесенням, що сприяє рівномірному розсіюванню та покращенню контакту з ґрунтом. Таким чином, удосконалення комплексу машин для цукрових буряків із модернізацією універсального причіпного розкидача не лише підвищує агротехнічну ефективність та економічну доцільність використання органіки, але й відповідає сучасним вимогам збереження довкілля та сталого розвитку агровиробництва.

Метою дослідження є підвищення ефективності комплексу машин для вирощування цукрових буряків шляхом розробки та впровадження модернізованого універсального причіпного розкидача органічних добрив із горизонтальними подрібнюючими барабанами, що забезпечують однорідну фракцію добрив та рівномірне їх розподілення в ґрунті.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасний стан технічного забезпечення процесу вирощування цукрових буряків, зокрема охарактеризувати існуючі комплекси машин, що використовуються на різних етапах технологічного процесу — від передпосівного обробітку ґрунту до збирання врожаю;
- розробити технологічну карту застосування комплексу машин для вирощування цукрових буряків, враховуючи погодні умови, тип ґрунту, агротехнічні вимоги та логістику польових робіт;
- проаналізувати існуючі конструкції універсальних причіпних розкидачів органічних добрив і визначити основні недоліки щодо подрібнення матеріалу та рівномірності розподілу;
- розробити конструкційну схему горизонтальних подрібнюючих барабанів із урахуванням умов впровадження в наявний універсальний причіпний розкидач;
- сконструювати дослідний зразок модернізованого розкидача з горизонтальними барабанами й інтегрувати його в машинно-тракторний парк.

Об'єктом дослідження є комплекс машин для вирощування цукрових буряків із використанням універсального причіпного розкидача органічних добрив.

Предметом дослідження виступають конструкційно-технологічні особливості модернізації універсального причіпного розкидача за рахунок впровадження горизонтальних подрібнюючих барабанів, зокрема вплив параметрів барабанного механізму на однорідність фракції органічних добрив та рівномірність їх розподілу в ґрунті.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., Хмельовський Р.А. Вплив органічних добрив на урожайність цукрових буряків. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 110-111.

2. Бабіч В.О., Хмельовський Р.А. Сучасний стан механізації збирання цукрових буряків. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 92-94.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення полягає в тому, що розроблені конструкційно-технологічні рішення для модернізації універсального причіпного розкидача органічних добрив із встановленням горизонтальних подрібнюючих барабанів можуть бути безпосередньо впроваджені в машинно-тракторний парк сільськогосподарських підприємств. Використання таких барабанів забезпечує однорідну фракцію гною чи компосту, що дозволяє рівномірно розподіляти поживні елементи в ґрунті та підвищує їх доступність для рослин у ранній фазі росту. Внаслідок цього знижується нерівномірність внесення органіки, що сприяє покращенню сходів і більш рівномірному розвитку буряків, а отже, зростає врожайність культури. Практичне застосування модернізованого розкидача також дає змогу скоротити загальні витрати на добрива завдяки зменшенню перевитрат органічних матеріалів, а також знижує споживання пального через підвищену продуктивність агрегату. Крім того, рекомендовані режими налаштування барабанів і способи експлуатації можуть бути адаптовані до різних типів ґрунту й кліматичних умов, що робить технологію універсальною для більшості регіонів України. Отримані результати й розроблені методичні рекомендації

сприятимуть підвищенню рентабельності виробництва цукрових буряків, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та забезпеченню стабільної роботи агропідприємств.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 32 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 рисунки, 1 таблицю та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ В УКРАЇНІ ТА РОЗРОБКА СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИРОЩУВАННЯ

Цукрові буряки є однією з провідних сільськогосподарських культур в Україні. Завдяки сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам, наша країна традиційно належить до провідних виробників цієї культури у світі. Протягом останніх десятиліть площі під цукровими буряками коливалися в залежності від кон'єктури ринку та державної підтримки галузі. Важливість галузі зумовлена не лише виробництвом цукру, але й значним впливом на сільськогосподарську економіку регіонів. Цукрові буряки забезпечують зайнятість багатьох агропідприємств та фермерів, особливо в центральному та північному лісостепу України. У структурі виробництва зернових та технічних культур буряки займають вагомую частку площею та валовим збором. Водночас галузь стикається із низкою викликів, серед яких підвищення вимог до якості сировини та ефективності виробничих процесів. Наслідки кліматичних змін та варіабельність погодних умов стають важливими факторами, які впливають на врожайність. Аналіз стану виробництва цукрових буряків вимагає комплексного підходу, що включає агроекономічні, технологічні та екологічні аспекти. Найбільш перспективним напрямом є впровадження сучасних технологій вирощування, що забезпечують стабільність та високу рентабельність. У цьому розділі буде проведено детальний аналіз стану виробництва цукрових буряків в Україні та розглянуто сучасні технологічні рішення для підвищення ефективності галузі [2].

Історичні передумови вирощування цукрових буряків в Україні сягають кінця XIX століття, коли імперська Росія розпочала експансію бурякової галузі. Перші промислові плантації були зосереджені в полтавській, черкаській та київській губерніях. У 1920—1930-х роках розвиток буряківництва стимулювався індустріалізацією та створенням цукрових заводів. Радянський період характеризувався централізованим плануванням та значними

інвестиціями в будівництво цукрових заводів. У повоєнний період досягнуто рекордних показників виробництва та урожайності завдяки інтенсивним агротехнологіям. Після розпаду союзу галузь пережила кризу через втрату ринків збуту та зменшення державної підтримки. Загальні обсяги виробництва знизилися, площі скоротилися, що вплинуло на кількість діючих цукрових заводів. Починаючи з 2000-х років відзначається поступова стабілізація галузі під впливом приватизації та інвестування. Сучасне буряківництво базується на поєднанні традиційних аграрних практик та новітніх технологій. В історичному контексті важливо врахувати як технологічні інновації, так і зміни в землекористуванні. Цей аналіз допоможе зрозуміти еволюцію галузі та окреслити точки росту в сучасних умовах [2-4].

Станом на останні роки середня площа посівів цукрових буряків в Україні становить близько 300–350 тисяч гектарів. Валовий збір культури коливається залежно від погодних умов і становить приблизно 10–12 мільйонів тонн. За показниками врожайності Україна демонструє середній рівень близько 500–550 центнерів з гектара. Основними регіонами вирощування залишаються Чернігівська, Київська, Полтавська, Вінницька та Черкаська області. Розподіл площ характеризується регіональною спеціалізацією та доступом до переробних підприємств. Українські господарства переважно реалізують цукрові буряки на внутрішньому ринку або експортують у вигляді цукру. Однак частка експорту сирцевого цукру залишається відносно невеликою через високу конкуренцію на світовому ринку. Цукрова галузь забезпечує зайнятість понад 100 тисяч працівників лише на етапі вирощування. Сучасні тренди свідчать про помітне скорочення площ через зростання вартості виробництва та нестабільність цін на цукор. Водночас деякі підприємства інвестують у розширення площ через підвищення врожайності за рахунок інновацій. Окрім того, роль кооперативів і агрохолдингів у стабілізації постачання сировини для цукрових заводів є ключовою [2-5].



Рис. 1.1. Посівні площі цукрових буряків по областях 2023 рік.

Економічне значення вирощування цукрових буряків для України полягає у забезпеченні сировиною понад 40 діючих цукрових заводів. Виробництво цукру оцінюється у декілька мільярдів гривень щорічного доходу. Галузь створює мультиплікативний ефект завдяки переробці буряків у цукор, мелясу та жом. Буряковий жом широко використовується як високобілковий корм для тваринництва. Мелясу застосовують у харчовій промисловості та для виробництва дріжджів. Завдяки цьому забезпечується диверсифікація продукції та додана вартість на різних етапах. Взаємозв'язок між галузями кормовиробництва та тваринництва сприяє підвищенню загальної ефективності аграрного сектору. Доходи виробників залежать від світових цін на цукор та внутрішніх тарифних умов. Державна підтримка у вигляді дотацій та компенсацій стимулює інвестування в оптимізацію виробничих процесів. Наявність інтегрованих ланцюгів створює передумови для підвищення конкурентоспроможності українського цукру. Водночас, ризики, пов'язані з

коливаннями світових цін та кліматичними змінами, залишаються вагомими факторами невизначеності [2-6].

У глобальному контексті Україна посідає одне з провідних місць за обсягом виробництва цукрових буряків у Європі. Однак основні лідери за урожайністю та технологічним рівнем виробництва — це Франція, Німеччина та Росія. Українські аграрії шукають можливості для адаптації кращих світових практик у місцевих умовах. Використання високопродуктивних сортів буряків та передових методів обробітку ґрунту є прикладом такої адаптації. Значну роль у порівнянні показників відіграють різниця в агротехнологіях, доступі до добрив та захисті рослин. Крім того, ефективність зрошувальних систем у деяких європейських країнах вища, ніж в Україні, що дає їм конкурентні переваги у посушливі роки. У світовому вимірі зростає попит на біоетанол, отриманий з бурякового цукру, що відкриває нові ніші для виробників. Українські підприємства розглядають можливість інвестувати в біоетанольні заводи, щоб диверсифікувати кінцеву продукцію. Проте для цього необхідні суттєві модернізації виробничих потужностей та збільшення сировинної бази. Співпраця з міжнародними науковими центрами допомагає українським аграріям підвищувати технологічний потенціал. В результаті інтеграції світових інновацій Україна має шанс зміцнити позиції на світовому ринку продукції бурякового цукру [7-9].

Основними природно-кліматичними зонами для вирощування цукрових буряків в Україні є Лісостеп і Полісся. Ґрунти цих регіонів представлені переважно чорноземами різного типу, що забезпечує високу родючість. Оптимальні умови для росту культури включають помірно тепле літо з середньою температурою $+18...+22$ °C. Достатня кількість опадів у період вегетації є критичною для формування високої врожайності. Водночас посушливі роки негативно позначаються на накопиченні цукру у коренеплодах. Для мінімізації ризиків часто застосовують зрошення, особливо в Південному Степу. Аналіз метеорологічних даних показує збільшення коливань погодних умов упродовж останніх десятиліть. Це зумовлює необхідність впровадження

адаптивних технологій, таких як точне землеробство та динамічне управління зрошенням. Структура ґрунту впливає на водну та повітряну проникність, що безпосередньо відображається на розвитку кореневої системи. Розумне використання агротехнічних заходів допомагає зберегти родючість та запобігти ерозії. Крім того, правильна обробка ґрунту сприяє покращенню структури та накопиченню органічної речовини [7-10].

Сучасні технологічні практики вирощування цукрових буряків в Україні включають механізований обробіток ґрунту дисковими та плоскорізними агрегатами. Підготовка ґрунту передбачає мінімум або нульовий обробіток залежно від типу ґрунтів та попередньої культури. Для збереження вологи та структури застосовуються полімерні мульчувальні матеріали та покривні культури. Посів здійснюється за допомогою високо-продуктивних точних сівалок зі змінними висівними апаратами. Використання диференційного внесення насіння дозволяє оптимізувати густоту стояння рослин. Застосування інноваційних систем живлення полягає у комплексному підході до внесення мінеральних добрив з урахуванням результатів ґрунтового аналізу. Застосування GPS-навігації та автоматичного контролю витрат добрив і пестицидів сприяє зменшенню витрат та підвищенню ефективності. Захист рослин здійснюється за допомогою сучасних фунгіцидів, інсектицидів і гербіцидів, що дозволяє контролювати хвороби, шкідників та бур'яни. При цьому пріоритетом є інтегрована система захисту рослин, що мінімізує негативний вплив на довкілля. Для контролю вологості ґрунту використовують датчики та системи моніторингу, що дозволяє своєчасно коригувати зрошення. Завершальним етапом технології є збір урожаю у визначений строк із застосуванням молотильних комбайнів зі спеціальними бурякорізами [7-9].

Ключовим фактором успішного вирощування цукрових буряків є використання високопродуктивних та резистентних до хвороб сортів. Генетичні дослідження спрямовані на створення буряків із підвищеним вмістом сухих речовин та цукру. Вітчизняні селекційні центри співпрацюють із міжнародними компаніями для адаптації іноземних гібридів до українських умов. Одним із

пріоритетних напрямів є селекція буряків, стійких до поширених вірусних інфекцій, таких як жовтуха та мозайка. Розвиток технологій генного редагування дає перспективи створення нових генотипів із поліпшеними агрокультурними якостями. Насіння буряків піддається ретельному протруюванню та калібруванню перед посівом. Використання симбіотичних препаратів та біостимуляторів сприяє покращенню стану насіння та підвищенню енергії проростання. В рамках системи насінництва впроваджуються сертифікація та фітосанітарний контроль для попередження поширення захворювань. Динаміка реалізації насіннєвого матеріалу свідчить про поступове збільшення частки сертифікованого насіння в загальному обсязі посівів. Окрім того, селекційні дослідження враховують особливості стійкості до стресів, таких як посуха та високі температури. Таким чином, адекватний вибір сортів і гібридів забезпечує фундамент для підвищення ефективності виробництва [10-12].

Управління родючістю ґрунтів у вирощуванні цукрових буряків передбачає систематичний моніторинг показників мінерального складу. Регулярні ґрунтові аналізи дозволяють вчасно виявити дефіцит основних макро- та мікроелементів. Для формування оптимальної системи живлення застосовують як органічні, так і мінеральні добрива. Компостування та внесення гною сприяють підвищенню вмісту гумусу в орному шарі. Мінеральні добрива вносять диференційовано відповідно до потреб культури у фазі інтенсивного росту. Особливо важливим є забезпечення бором, цинком і марганцем, оскільки їх дефіцит негативно впливає на накопичення цукру. Застосування технологій точного дозування добрив зменшує екологічні ризики та підвищує рентабельність виробництва. Використання лінійних та зональних схем внесення добрив за допомогою агрономічних карт підвищує ефективність живлення. Важливо також враховувати попередні культури та систему сівозмін для запобігання вичерпуванню поживних речовин. Належне поєднання фізичних та хімічних заходів забезпечує стійкість ґрунтової родючості в

довгостроковій перспективі. У результаті збалансованого управління родючістю підвищується врожайність та якість цукрових буряків [2, 7, 9, 10].

Інтегрована система захисту рослин у вирощуванні цукрових буряків включає прогнозування розвитку хвороб та шкідників. Регулярний моніторинг полів за допомогою фахівців дозволяє вчасно виявляти перші ознаки ураження. Хімічний захист полягає у застосуванні сучасних фунгіцидів проти гнилей та бактеріозів. Використання інсектицидів допомагає контролювати популяції шкідників, таких як листовий буряковий пильщик та цикадка. Гербіциди спрямовані на боротьбу з однорічними та багаторічними бур'янами, які конкурують з буряками за ресурси. Біологічні методи захисту, такі як застосування ентомофагів, використовуються як елемент інтегрованого підходу. Системи точного розпилення препаратів забезпечують мінімальне розтікання хімічних засобів та зменшення токсичного навантаження. Важливо дотримуватися регламентів застосування препаратів і періоду очікування, щоб запобігти залишкам у коренеплодах. Крім того, обробка насіння захисними протруйниками забезпечує ранній захист від ґрунтових патогенів. Ротація пестицидів з різними діючими речовинами запобігає формуванню резистентності у шкідників та хвороб. Такий комплексний підхід дозволяє підтримувати високий агрофон на продуктивних полях [2, 7, 8, 12].

Одним із найважливіших факторів успішного вирощування цукрових буряків у посушливих регіонах є ефективне управління вологою ґрунту. У деяких районах України, зокрема в Південному Степу, застосовують краплинне зрошення для підтримки оптимального водного режиму. Системи дощування достатньо розповсюджені у Лісостепу, де опади нерівномірно розподіляються протягом року. Використання енергозберігаючих насосних установок та автоматики дозволяє економити ресурси і зменшувати витрати. Для планування зрошення застосовують датчики вологості ґрунту та агрокліматичні прогнози. Це дає змогу проводити зрошення лише тоді, коли це дійсно необхідно, зменшуючи ризик перезволоження. Важливо також враховувати рівень ґрунтових вод, щоб уникнути засолення та забруднення. Оптимальна система

дренажу допомагає відводити надлишкову вологу під час рясних дощів. Інтеграція зрошувальних систем із аграрними картами полегшує управління водними ресурсами на магістральному рівні. Застосування мульчування знижує випаровування вологи та підтримує стабільний мікроклімат у зоні коренів. Комплексний підхід до керування водним режимом забезпечує стабільність урожаю у мінливих умовах клімату [9, 10, 13].

Сучасне вирощування цукрових буряків передбачає високий рівень механізації всіх виробничих операцій. Для обробітку ґрунту застосовують дискові борони, глибокорозпушувачі та культиватори, що забезпечують оптимальну структуру поверхневого шару. Сівалки із високоточними системами висіву дозволяють рівномірно розподіляти насіння та зменшувати витрати. Функції диференційованого внесення добрив та пестицидів вбудовані у сучасні сівалки та обприскувачі. Трактори з керованими за GPS автопілотами підвищують точність агротехнічних операцій та економлять паливе. Комбайни для збирання цукрових буряків оснащені спеціальними відвалами та транспортними стрічками для сортування коренеплодів. Використовуються самоходні розподільники добрив із бункерами великої місткості для зменшення простоїв. Технічний парк великих агрохолдингів включає мульчувачі та прицепні культиватори з антирезистивними дисками. Застосування безпілотної авіації для моніторингу стану полів стає все більш поширеним. Сервісне обслуговування та модернізація техніки відіграють важливу роль у довговічності обладнання. Таким чином, рівень механізації безпосередньо впливає на продуктивність та витрати виробництва [10, 15, 17].

Точне землеробство (Precision Farming) активно впроваджується у провідних господарствах України. Використання GPS-навігації та дронів дозволяє створювати агрономічні карти з даними про врожайність, стан ґрунтів та вологість. За допомогою цих карт агрономи можуть приймати рішення щодо диференційованого внесення добрив і пестицидів. Системи моніторингу в режимі реального часу забезпечують контроль за станом рослин та швидке реагування на стресові ситуації. Використання супутникових знімків та ІЧ-

зондів допомагає виявляти ранні стадії захворювань та дефіциту поживних речовин. Покращена аналітика даних дозволяє прогнозувати врожайність з низькою похибкою та планувати економічну ефективність. Крім того, онлайнові платформи інтегрують інформацію про погодні умови та ринкові ціни, що допомагає у прийнятті стратегічних рішень. Мобільні додатки для агрономів полегшують доступ до рекомендацій та протоколів захисту рослин у польових умовах. Хмарні сервіси забезпечують збереження та аналітику великих обсягів агроданих. Інвестиції в цифрові технології вимагають високого початкового капіталу, але в довгостроковій перспективі знижують операційні витрати. Таким чином, впровадження точного землеробства є ключовим фактором інноваційного розвитку цукрового буряківництва [10, 14, 17].

Однією з головних проблем галузі є підвищені витрати на добрива та засоби захисту рослин. Зростання цін на енергоносії впливає на вартість агротехнічних операцій та транспортування. Нестабільність ринкових цін на цукор створює невизначеність для фермерів у плануванні доходів. Недостатній рівень державної підтримки та кредитування обмежує інвестиційні можливості невеликих господарств. Кліматичні екстремуми, такі як посухи та зливові дощі, призводять до втрат врожаю. Поширення хвороб і шкідників внаслідок глобального потепління становить додатковий ризик. Дефіцит кваліфікованих агрономічних кадрів у деяких регіонах знижує ефективність агротехнологічних заходів. Нерівномірний розподіл опадів посилює ризик ерозії та зниження родючості ґрунтів. Необхідність модернізації застарілої техніки вимагає значних фінансових витрат. Відсутність координації між виробниками і переробними підприємствами іноді призводить до дисбалансу сировини. Для подолання цих викликів потрібна комплексна стратегія державної політики та підтримки агровиробників [11, 16, 18].

Рентабельність вирощування цукрових буряків безпосередньо залежить від дохідності цукру та витрат на виробництво. Оцінка економічних показників передбачає аналіз собівартості на гектар та прибутковості з урахуванням субсидій. Витрати включають витрати на насіння, добрива, засоби захисту,

пальне та амортизацію техніки. За даними останніх років, середня собівартість вирощування цукрових буряків складає близько 30–40 тисяч гривень на гектар. При ціні продажу цукру, що коливається, маржинальний дохід може бути незначним у певні сезони. Впровадження ефективних технологій знижує витрати та підвищує чистий прибуток. Використання кооперативних об'єднань дозволяє фермерам отримувати групові знижки на ресурси та техніку. Економічне планування враховує ризики кліматичних змін, коливання цін на енергоносії та курсу валют. Створення страховок та хеджування ризиків може мінімізувати втрати у неврожайні сезони. У довгостроковій перспективі інвестиції в інновації підвищують ліквідність галузі. Зростання експорту цукру та продуктів переробки сприяє збільшенню валютних надходжень [11, 15, 18].

Вплив вирощування цукрових буряків на довкілля включає потенційне забруднення ґрунтів залишками пестицидів та добрив. Надмірне внесення азотних добрив може призводити до евтрофікації водних об'єктів. Інтенсивна обробка ґрунту сприяє ерозії та виведенню родючого ґрунтового шару. Для зниження негативного впливу впроваджують методи мінімального та нульового обробітку ґрунту. Ротація культур із використанням покривних рослин допомагає відновлювати структуру ґрунту. Застосування біоагентів у захисті рослин сприяє збереженню біорізноманіття в агроєкосистемі. Доцільність органічного землеробства у вирощуванні цукрових буряків обмежується нижчою врожайністю. Проте органічні практики знаходять застосування у нішевих господарствах та для виробництва екопродукції. Важливим є також мінімізація викидів вуглецю за рахунок використання енергоефективної техніки. Створення buffer-зон уздовж водойм запобігає забрудненню водних ресурсів. У цілому, екологічні заходи гармонізують виробництво з природними процесами та зменшують ризики деградації.

Наукові дослідження у сфері буряківництва в Україні зосереджені на підвищенні врожайності та стійкості до стресів. Академічні установи та аграрні університети проводять дослідження в галузі селекції нових сортів. Інноваційні проекти фінансуються як за рахунок державних грантів, так і приватних

інвестицій. Особлива увага приділяється розробці біопрепаратів для захисту рослин. Створюються нові системи моніторингу стану посівів із використанням ГЧ-зондів та дронів. У лабораторіях вивчається вплив мікробіому ґрунту на ріст коренеплодів. Використання агрохімічних симуляторів дозволяє моделювати реакцію культури на різні агротехнологічні зміни. Проекти з агроджерелоенергетики зосереджені на переробці жому у біогаз. Розробки щодо зменшення вмісту нітратів у коренеплодах є важливим напрямом для безпечності продукції. Інноваційні стартапи спрямовані на цифровізацію агрономічних послуг та створення інтелектуальних сервісів. Загалом, дослідницькі зусилля сприяють формуванню конкурентного середовища та залученню молодих спеціалістів [10, 14, 17].

Сучасна технологія вирощування цукрових буряків ґрунтується на інтеграції агроприймів, що забезпечують максимальну ефективність. Основними етапами є глибоке розпушування, вирівнювання поверхні та внесення органічних добрив. Наступним кроком є підготовка посівного ложа за допомогою стрічкових або плоскорізних агрегатів. Посів насіння здійснюють при оптимальних агрономічних характеристиках ґрунту у фазі сухого ґрунту. При цьому використовують високоіндукційні сівалки із контролем висіву та внесенням мінеральних добрив. Важливим елементом є обробка насіння протруйниками на основі біологічних препаратів. У фазі сходів проводять контроль вологості ґрунту та обробку ранніми гербіцидами. Вегетаційний період передбачає дворазове внесення азоту та комплексне підживлення поживними речовинами. Використання міжрядного підживлення з буряковими культури підвищує коефіцієнт використання внесених добрив. Під кінець вегетації проводиться оцінка вмісту цукру у коренеплодах та регулювання поливу. Збір урожаю здійснюють із використанням адаптованих комбайнів, що забезпечують мінімальні втрати продукції [9, 14, 17].

Сучасні технології вирощування передбачають впровадження принципів стійкого землеробства. Однією із стратегій є застосування покривних культур для поліпшення структури ґрунту та накопичення азоту. Зниження глибини

обробітку та використання безвідвальних технологій сприяють збереженню вологи. Удосконалені системи живлення рослин ґрунтуються на поєднанні органічних та мінеральних джерел. Створення мульчевого шару із соломи або рослинних залишків запобігає випаровуванню. Використання біопрепаратів для протруювання насіння зменшує потребу у хімічних фунгіцидах. Енергозберігальні технології, такі як сонячні панелі для живлення насосів, покращують екологічний баланс. Управління водними ресурсами із застосуванням систем точного зрошення знижує витрати та запобігає засоленню. Впровадження агролісомеліоративних заходів сприяє захисту ґрунтів від ерозії. Важливим елементом є соціальна відповідальність виробників щодо збереження біорізноманіття. У підсумку, інтеграція сталого підходу сприяє довгостроковій рентабельності та збереженню ресурсів [1, 4, 17, 19].

Після збирання цукрові буряки доставляють до сортувальних ліній цукрових заводів. У період зберігання коренеплоди сортують за розміром, формою та вмістом цукру. Для зберігання використовують спеціальні ями або сховища з контрольованою температурою. Оптимальний температурний режим для зберігання — $+2...+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ з відносною вологістю 90–95 %. Погане зберігання призводить до втрати маси коренеплодів та зменшення вмісту сухих речовин. З харчового боку найбільшу цінність мають буряки з вмістом сухих речовин понад 18 %. Приготування сировини до переробки передбачає миття, дроблення та екстракцію цукру. Розвиток логістичних систем дозволяє мінімізувати втрати під час транспортування. Використовуються спеціальні транспортери з амортизаторами, щоб уникнути ушкоджень коренеплодів. Ефективне управління запасами допомагає цукровим заводам працювати без простоїв протягом усього сезону. Це забезпечує стабільне постачання цукру на внутрішній та зовнішній ринки [10, 15, 19].

Кооперація між дрібними та середніми виробниками сприяє підвищенню ефективності вирощування цукрових буряків. Створення агро-кластерів дозволяє централізувати виробництво, переробку та збут продукції. Учасники

кластерів ділять витрати на техніку, насіння та добрива для економії масштабу. Спільні інвестиції у вузькі технологічні лінії переробки підвищують додану вартість. Кооперативні об'єднання організовують навчання та консультування членів за сучасними технологіями. Це сприяє швидшому впровадженню інноваційних практик у виробництво. У регіонах, де працюють кластери, підвищується рівень зайнятості та розвиток інфраструктури. Однак виникають питання координації між учасниками, формуванням системи управління та розподілу прибутків. Використання кооперативних моделей зменшує ризик банкрутства малих господарств у критичні періоди. Такі ініціативи підтримують місцеві громади та стимулюють соціально-економічний розвиток. Їхня популярність зростає в умовах обмежених ресурсів та високої волатильності ринку [10, 12, 19].

Державне регулювання галузі цукрових буряків передбачає встановлення мінімальних цін на цукор та дотаційних виплат. Законодавча база визначає квоти на експорт та імпорту цукру для захисту внутрішнього ринку. Державні програми фінансової підтримки включають компенсації відсоткових ставок за кредитами для агровиробників. Спеціальні фонди надають субсидії за впровадження енергозберігаючих технологій. Регулювання екологічних вимог зобов'язує фермерів дотримуватися нормативів щодо викидів та відходів виробництва. У рамках євроінтеграційних процесів відбувається гармонізація стандартів якості продукції з європейськими нормами. Державний моніторинг ринку цукру та сировини здійснюється через уповноважені органи статистики. Зміни кліматичної політики призводять до введення нових екологічних вимог до виробництва. Для залучення інвестицій створюють пільгові режими оподаткування для агропромислового комплексу. Частими питаннями залишаються ефективність контролю та прозорість розподілу бюджетних коштів. Оптимізація політики у сфері цукрових буряків сприяє стабільності виробництва та розвитку експорту [9, 13, 12].

Галузь цукрових буряків потребує значних капіталовкладень у сучасні технології та техніку. Фінансування може здійснюватися через кредити, лізинг

та залучення інвесторів. Банківські продукти для аграріїв включають спеціалізовані агрокредити з пільговими ставками. Лізингові програми дозволяють оновлювати техніку без значних початкових витрат. Частину інвестицій вкладають державні та міжнародні донори у рамках грантових програм. Приватні агрохолдинги реінвестують частину прибутків у розвиток власних виробничих потужностей. Оцінка ефективності інвестицій включає аналіз внутрішньої норми прибутковості та терміну окупності. Ризики для інвесторів пов'язані з погодними коливаннями, ринковими цінами та законодавчими змінами. Залучення інвестиційного капіталу сприяє модернізації зазначених процесів виробництва. Консолідація ресурсів у вигляді спільних проектів підвищує привабливість галузі для великих інвесторів. У результаті поступального фінансування зростає потенціал галузі та покращується її технологічний рівень.

Сучасні ринкові тренди характеризуються зростаючим попитом на якісний кристалічний цукор та органічну продукцію. Споживачі дедалі більше звертають увагу на походження та екологічність вирощування. Збільшення частки нішевих органічних буряків стимулює розвиток сертифікації та стандартизації. Українські виробники орієнтуються на внутрішній ринок, однак частина продукції йде на експорт до ЄС. Конкуренція з імпортом цукру із Бразилії та інших країн створює тиск на ціноутворення. Розвиток брендингу та просування місцевої продукції сприяє підвищенню впізнаваності українського цукру. Інноваційні компанії пропонують замінники цукру та функціональні інгредієнти на основі бурякового жому. Близькоострокові прогнози вказують на стабільне зростання попиту в Азії та Африці. Відповідно до тенденцій здорового харчування, споживання цукру може дещо скоротитися, що вплине на обсяги виробництва. Перехід на виробництво низькокалорійних цукроподібних речовин відкриває нові перспективи для галузі. Таким чином, адаптація до змін на ринку є запорукою успішного розвитку виробництва цукрових буряків [7, 8, 13].

Підвищення кваліфікації аграріїв у сфері вирощування цукрових буряків є важливою складовою розвитку галузі. Аграрні університети та наукові установи проводять практичні тренінги та семінари для фермерів. Онлайн-курси та вебінари дають можливість освоювати новітні технології віддалено. Коучингові програми з розвитку агробізнесу сприяють ефективному менеджменту підприємств. Ініціативи з обміну досвідом між регіонами стимулюють впровадження найкращих практик. Створення демонстраційних полів дозволяє наочно демонструвати результати інноваційних підходів. Підготовка технічного персоналу для обслуговування складного обладнання забезпечує безперебійну роботу господарств. Менторські програми стимулюють молодих спеціалістів залишатися в селах та розвивати галузь. Фінансування програм навчання часто здійснюється за рахунок державних грантів та міжнародних проектів. Система сертифікації агрономів сприяє підвищенню довіри до компетенцій спеціалістів. У перспективі інвестиції в людський капітал є вирішальним фактором сталого розвитку буряківництва.

Вирощування цукрових буряків створює робочі місця для обох статей у сільській місцевості. У сільському господарстві традиційно залучено багато жінок на операції ручної праці, зокрема сортування та догляд за розсадою. Поступове впровадження механізації змінює структуру зайнятості, вимагаючи кваліфікаційних навичок. Соціальні аспекти включають забезпечення гідних умов праці та доступу до медичного обслуговування. Ініціативи щодо гендерної рівності спрямовані на навчання та підтримку жінок-фермерів. Наявність дитячих садків та освітніх програм у сільських громадах сприяє заохоченню молодих сімей залишатися в селах. Розвиток соціально-орієнтованих кооперативів підвищує рівень життя місцевих мешканців. Доступ до мікрокредитування допомагає фермерам із обмеженим капіталом розпочати виробництво. Соціальні програми підтримки пенсіонерів та людей з інвалідністю інтегровані у робочі процеси на фермах. Участь громад у прийнятті рішень щодо використання земель сприяє прозорості та

справедливості. Таким чином, соціально-економічний розвиток регіонів наряду залежить від успіху галузі цукрових буряків [12, 15, 19].

Перспективи розвитку виробництва цукрових буряків в Україні ґрунтуються на подальшій технологічній модернізації та підвищенні ефективності. Необхідно продовжувати впровадження точного землеробства з акцентом на цифрову аналітику. Важливим напрямом є розвиток зрошувальної інфраструктури з використанням відновлюваних джерел енергії. Розвиток селекції буряків має фокусуватися на стійкості до надзвичайних погодних умов та патогенів. Рекомендується розширити мережу демонстраційних полігонів для навчання аграріїв. Державна політика повинна стимулювати кооперацію та об'єднання фермерів у кластери. Адекватна система страхування врожаю допоможе зменшити фінансові ризики виробників. Інтеграція біопрепаратів та біологічних методів захисту заохочує сталий розвиток галузі. Важливо забезпечити доступ до фінансових ресурсів для малих господарств шляхом мікрокредитування. Зміцнення експортного потенціалу через якісні стандарти та промоцію продукції за кордоном. Лише поєднання інноваційних технологій, ефективної політики та соціальної підтримки гарантує стійке зростання галузі.

Проведений аналіз стану виробництва цукрових буряків в Україні показав як сильні сторони галузі, так і існуючі виклики. Можливості для розвитку залежать від використання сучасних агротехнологій та управління ризиками. Сучасна технологія вирощування включає комплексний підхід до обробітку ґрунту, живлення, захисту рослин та зрошення. Інтеграція цифрових рішень забезпечує ефективність та зниження витрат на виробництво. Кооперативні та кластерні моделі сприяють оптимізації ресурсів і підвищенню конкурентоспроможності. Державна підтримка у вигляді дотацій, кредитів та нормативного регулювання є важливою складовою успіху. Не менш важливою є екологічна відповідальність і впровадження сталих практик у виробництві. У довгостроковій перспективі слід звертати увагу на розвиток людського капіталу та навчальні програми. Інновації у сфері селекції, захисту рослин та логістики відіграватимуть ключову роль. Підвищення експортного потенціалу

українського цукру забезпечить додаткові валютні надходження. Таким чином, формування сучасної технології вирощування цукрових буряків є невід’ємною умовою сталого розвитку галузі та зміцнення продовольчої безпеки країни [8, 12, 17, 18].

Розрахунок технологічної карти та визначення необхідного складу машин для вирощування цукрових буряків представлено в додатку А. Результати відображені на листах графічної частини.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ НА ВНЕСЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ

Розробка операційно-технологічної карти на внесення органічних добрив починається з визначення актуальності цього процесу в сучасному землеробстві. По-перше, органічні добрива відіграють ключову роль у підтримці родючості ґрунту, сприяючи його структурній стабільності та підвищенню біологічної активності. По-друге, правильно спланована операційно-технологічна карта забезпечує оптимальне використання ресурсів і зменшує втрати поживних речовин під час транспортування та внесення. По-третє, вона сприяє підвищенню ефективності роботи сільськогосподарських машин із застосуванням оптимальних швидкостей і режимів роботи. Окрім того, чітко виписані операції дозволяють мінімізувати небезпеку забруднення довкілля та зараження ґрунтів шкідниками і патогенами. Розробка карти включає аналіз попереднього технологічного досвіду, оцінку наявного парку техніки та персоналу, що виконує роботи. Важливо також врахувати агрокліматичні умови регіону, адже сезонні фактори безпосередньо впливають на строки проведення операцій. Не менш важливим пунктом є економічний аналіз доцільності застосування органічних добрив на конкретному полі, з урахуванням їхньої вартості та очікуваного ефекту. Таким чином, операційно-технологічна карта є комплексним документом, що забезпечує системний підхід до процесу внесення органіки. У результаті належної розробки карти досягається максимальна ефективність робіт, збереження родючості ґрунту та підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Основною метою операційно-технологічної карти є узгоджене і послідовне виконання всіх етапів внесення органічних добрив з максимальною продуктивністю та мінімальними втратами. У карті чітко визначаються строки виконання робіт, відповідні машини, норми витрат машинно-тракторного палива й ресурсів, необхідних для кожної операції. Крім того, вона містить

перелік технічних і технологічних вимог до транспортного засобу, забезпечує зручність контролю та корегування процесу за потреби. Також операційно-технологічна карта спрямована на уніфікацію робочих процесів, що полегшує навчання персоналу та зменшує ризик виникнення помилок. У межах карти встановлюються критерії якості внесення добрив, серед яких рівномірність розподілення, глибина заробки та дотримання технологічних інтервалів. Важливою складовою є також розробка системи взаємодії між екіпажами трактористів і операторами причіпного обладнання. Операційно-технологічна карта формує основу для подальшого аналізу ефективності робіт та прийняття рішень щодо модернізації технології. Використання карти сприяє більш точному калькулюванню вартості робіт та визначенню рентабельності внесення органіки. Зрештою, метою карти є досягнення балансованого співвідношення витрат і результатів, що забезпечить сталий розвиток агропідприємства.

Важливим етапом у розробці операційно-технологічної карти є врахування нормативно-правової бази та галузевих стандартів. Органічні добрива, залежно від їх складу та походження, підпадають під дію державних санітарних норм та екологічних вимог. У межах карти слід передбачити дотримання санітарних зон, визначених для зберігання та транспортування органіки, щоб уникнути забруднення водойм і ризику поширення патогенних мікроорганізмів. Окрім того, існують нормативи щодо максимальних норм внесення органічних добрив на гектар, які обумовлені умовами безпеки навколишнього середовища та здоров'я людей. При розробці карти потрібно враховувати галузеві Технічні Умови (ТУ) на машини та агрегати, що застосовуються для внесення добрив, й нормативи з експлуатації транспортних засобів. Завданням технологічної карти є також контроль дотримання правил техніки безпеки та охорони праці під час виконання операцій. Важливо забезпечити відповідність карти вимогам ДСТУ щодо оформлення технологічної документації, що дасть змогу уникнути юридичних проблем у разі інспектування. Таким чином, нормативно-правова складова є невід'ємною частиною якісної розробки операційно-технологічної карти.

Органічні добрива за своїм складом можуть бути різноманітними: гній великих і дрібних тварин, курячий послід, компост, торфокомпости, відходи переробки рослинної сировини. Кожен тип добрива має власні фізико-хімічні властивості: вологість, концентрацію азоту, фосфору, калію, вміст органічної речовини, показники вуглецю та ін. Операційно-технологічна карта повинна містити відомості про характеристики вибраного добрива, що необхідно для точного розрахунку норм внесення. Наприклад, гній великої рогатої худоби містить залежно від віку та годівлі 0,5–1,5% азоту, тоді як курячий послід може досягати 2–3% азоту в сухій масі. Компост відрізняється стабільністю та об'єднанням мінеральних і органічних форм елементів, що впливає на швидкість їхнього вивільнення у ґрунті. Важливо знати також фракційний склад, оскільки це визначає оптимальну технологію внесення: чи потрібно попередньо подрібнювати масу, чи вона готова до безпосереднього розкидання. Від вологості добрива залежить його злежуваність у транспорті та рівномірність розсипання. Операційно-технологічна карта відображає всі ці параметри, що дає змогу вибрати відповідний тип обладнання і режим роботи. У карті зазначається, як конкретний вид органіки належить до категорій ризику забруднення, що диктує додаткові заходи безпеки.

Вибір критерію для органічних добрив ґрунтується на потребах конкретного поля та цільової культури. Попередньо необхідно провести агрохімічний аналіз ґрунту з визначенням вмісту основних поживних елементів та органічної речовини. Якщо значення рН ґрунту виходять за межі оптимальних показників для культури, добрива можуть бути додатково кориговані за допомогою гідроксиду кальцію чи доломітового борошна. У карті фіксуються результати аналізу, які визначають норми внесення: кількість гною чи компосту розраховують з урахуванням коефіцієнту ефективного вивільнення азоту впродовж сезону. При посіві зернових культур рекомендується забезпечити від 20 до 30 т/га гною, тоді як під садові насадження може застосовуватися 40–50 т/га. Також у технологічній карті відзначається необхідність внесення добрив у прикореневу зону чи міжряддя, залежно від

культури. Критерієм вибору також є наявність добрива в господарстві та економічна доцільність доставки. У документі визначається переважання пасовищних гноївок від свиней чи птиці, якщо вони дешевші, порівняно з купівлею високоякісного компосту. Разом із тим, карта передбачає можливість заміни частини органіки на мінеральну форму, якщо виявлено дефіцит певних елементів.

Наступним етапом є проведення ґрунтових досліджень та оцінка стану посівної площі. Передусім виконуються загальні біометричні дослідження: аналіз щільності, капілярності, структури поверхневого шару і наявності рослинних решток. Далі проводиться відбір проб ґрунту за сіткою чи зонним методом, що дозволяє відобразити різницю у ґрунтових умовах на полі. Аналіз на вміст органіки, азоту, фосфору, калію, кальцію та магнію визначає клас родючості, що автоматично корегує норму внесення органічних добрив. Залежно від типу ґрунту (суглинок, дерново-підзолистий, чорнозем), у карті зазначаються особливості у роботі з органікою: чи достатньо провести поверхневе внесення, чи потрібна глибока заробка. У разі виявлення ерозійних процесів на полі додається розділ із рекомендаціями щодо заходів протиерозійного захисту. Крім того, оцінюється попередник: які культури були вирощені раніше, чи залишилися рештки, які можуть перешкоджати рівномірному розподілу добрив. У карті документуються часові інтервали між попередніми операціями та внесенням органічних добрив, що є вагомими для збереження структури ґрунту і нормального обміну поживними речовинами. Отримані дані стають підґрунтям для формування технологічної схеми виконання всіх робіт.

Визначення норм внесення органічних добрив базується на підсумках агрохімічного аналізу ґрунту, а також на планованому врожаї цільової культури. Для цього використовуються формули, що враховують динаміку вивільнення поживних речовин з органічних речовин у ґрунті протягом вегетаційного періоду. Наприклад, з 10 т/га гною ефективно вивільняється лише 30–40% азоту, тому для забезпечення азотного живлення зернових

культур може знадобитися до 25 т/га гною. У карті зазначаються коефіцієнти використання фосфору та калію, які варіюють залежно від умов зволоження ґрунту. Норми внесення органіки можуть коригуватися в залежності від зони ризику стоку та можливого забруднення підземних вод. Додатково враховують відстань від місць зберігання добрив до поля з метою розрахунку логістичних витрат на доставку. Нормативні документи рекомендують проводити внесення органіки не менше ніж за 30 днів до сівби, що враховується у карті як часовий інтервал. Також у карті прописуються допустимі відхилення від розрахункової норми в межах $\pm 10\%$ залежно від щільності та технічних можливостей розкидачів. Усі розрахунки супроводжуються відмітками про дату виконання аналізів та особу, відповідальну за їх проведення. Відповідне оформлення технологічної карти гарантує обґрунтованість норм і підзвітність процесу.

Вибір оптимальних строків внесення органічних добрив визначається агрокліматичними особливостями регіону, погодними умовами та культурою, що вирощується. У більшості випадків органіку вносять восени після збирання попередника, коли волога ґрунту знаходиться на оптимальному рівні для рівномірного розподілення. Якщо ця операція відкладається на весну, вона повинна проводитися до початку активного росту культур, щоб уникнути втрати азоту через випаровування. У карті описані терміни розкриття поля, коли рух техніки не призводить до ущільнення ґрунту, що особливо важливо для запобігання утворенню кірки. Операційно-технологічна карта включає погодний моніторинг: при можливих опадах внесення варто або прискорити, або відтермінувати в залежності від їх інтенсивності. Крім того, у карті зазначаються граничні значення ґрунтової вологості, за яких забороняється робота з важкими машинами. Для регіонів з коротким вегетаційним періодом весняна операція може скоротити час на адаптацію рослин до підживлення, тому карта передбачає можливе внесення пластифікованих або швидкодіючих форм добрив. Строки внесення органіки також корелюють із сівозміною та потребами наступної культури, що вирощуватиметься на полі. Таким чином,

карта забезпечує чіткість у плануванні та зменшує ризик порушень технології у певні сезонні періоди.

Огляд машинно-тракторного парку для внесення органічних добрив включає аналіз технічного стану візків, розкидачів, транспортерів та ґрунтообробного обладнання. Основними агрегатами є трактори тягового класу 1,4–2,0 із приводом на колеса або гусениці для кращої прохідності по вологому ґрунту. До причіпного обладнання належать бункери-розкидачі, шторкові чи роторні розкидачі ґною, а також компосторозкидачі із гідравлічним приводом. У карті зазначаються технічні характеристики кожного агрегату: продуктивність, ширина захвату, об'єм бункера, а також швидкість руху під час роботи. Використання сучасних автоматизованих систем дозування та GPS-контролю дозволяє значно підвищити точність виконання операції, що також відображено в карті як рекомендація. Окрім машин для внесення органіки, у карті описані необхідні машини для перед- та післязаборонних операцій: плуги, борони, катки. Усі машини повинні бути технічно справними, із належними шинами та гусеничними стрічками для уникнення ущільнення ґрунту. Кожен агрегат проходить контрольний огляд та регламентне ТО перед початком сезону внесення. У карті встановлюється особа, відповідальна за підготовку кожної одиниці техніки, а також терміни виконання цих робіт. Такий підхід гарантує безперебійну експлуатацію машин та збереження їхньої працездатності.

Наступним кроком є калібрування розкидачів органічних добрив, що потребує ретельного контролю розподілу фракцій. При роторних розкидачах визначається необхідна швидкість обертання ротора та висота розкидання над поверхнею ґрунту. Для шторкового типу апаратів налаштовується ширина шторок і висота відриву матеріалу від вивантажувальної щілини. У карті наведена методика калібрування на прикладі розкидача продуктивністю 8–12 т/га, де проводиться розкид органіки на контрольованому майданчику площею 10 x 10 м. Після пробного внесення добрива збирають й зважують фракції з чотирьох кутів майданчика, щоб визначити рівномірність розподілу та

скоригувати налаштування механізму. У разі виявлення нерівномірного розподілу оператору необхідно змінити швидкість руху або кут нахилу розкидача. У карті зазначаються допуски допустимого відхилення $\pm 5\%$ від розрахункової норми. Процедура калібрування повторюється при зміні типу добрива чи умов вологості, адже характеристики органіки залежать від її складу та температурних умов. Для підвищення точності вносу застосовуються системи GPS-контролю, що дозволяють «накладати» мапу поля та уникати пропусків. Всі ці рекомендації закріплені в карті як обов'язкові етапи підготовки обладнання до роботи.

Підготовка органічних добрив перед внесенням включає етапи подрібнення, перемішування та коригування вологості. Якщо гній накопичувався довгий час у купі, у ньому може відбуватися процес анаеробного гниття, що призводить до втрати частини азоту. У технологічній карті описується необхідність розкидання добрива тонким шаром для просушування та аерації перед транспортуванням. Подрібнення великих фракцій здійснюється за допомогою молоткових дробарок або навісних подрібнювачів, що дозволяє запобігти засміченню шторок розкидача. Для коригування вологості використовується додавання сухих матеріалів (торфу чи соломи) у випадку надмірної вологи, або обприскування водою, якщо вона є занадто сухою. У карті вказується оптимальна вологість органіки – 40–60%, що є компромісом між здатністю добре розподілятися та уникненням запилення. Крім того, у ній фіксуються терміни і місця зберігання: твердий гній має лежати не менше ніж 6 місяців, а курячий послід – не менше ніж 3 місяці для зменшення кількості патогенів. У разі застосування компосту до внесення варто переконатися у завершенні процесу перегнивання, що підтверджується температурою не вище 30 °C у серцевині купи. Ці операції відображені в карті як обов'язкові етапи перед завантаженням техніки.

Розмітка поля для внесення органічних добрив є невід'ємною частиною операційно-технологічної карти, оскільки забезпечує орієнтування тракториста під час роботи. Для цього застосовуються GPS-пристрої з попередньо

завантаженою картою поля, які дозволяють встановити контрольні точки по лініях внесення. При відсутності такого обладнання в карті передбачені традиційні методи: натягнуті шнури або маркери, розташовані через рівні інтервали (наприклад, 20 або 30 м). Така розмітка допомагає зберегти паралельні проходи та уникнути накладання або пропусків добрив. У технологічній карті описуються способи імprovізованої розмітки, коли поле неправильних форм чи частково заросле травою. У таких випадках рекомендується споруджувати тимчасові стовпчики із пофарбованої деревини або використати пластикові клини. Важливо передбачити розмітку зон, де не можна вносити органіку: біля криниць, ліній електропередач, водойм чи охоронних захисних зон. У карті також фіксується, хто саме відповідає за встановлення маркерів і їхню подальшу перевірку перед початком робіт. Після завершення внесення відповідальні особи повинні зняти маркери та прибрати розмітку, щоб вона не заважала наступним операціям.

Логістика транспортування органічних добрив із місць зберігання на поле є важливим пунктом технологічної карти. У разі використання гною необхідно заздалегідь визначити оптимальний маршрут, що мінімізує дистанцію і уникає непрохідних ділянок. У карті вказується тип транспорту: вантажні автомобілі, самоскиди або спеціалізовані причеми для перевезення гною. Норма завантаження транспорту залежить від вантажопідйомності машини, типу гною та умов дороги. Для курячого посліду застосовують герметичні контейнери, щоб уникнути розбризкування та специфічного запаху. Карта також містить часові нормативи на завантаження та розвантаження: у ідеалі не більше ніж 15–20 хв. на один рейс. Додатково відзначаються точки, де дозволено розвантажувати гній: за межами орної зони або на спеціально відведених майданчиках. У разі необхідності проведення попереглядки дороги, щоб уникнути нанесення шкоди ґрунтовому покриву, в карті прописуються кроки координації зі службою благоустрою. Після прибуття транспорту на поле, вантаж має бути розвантажений безпосередньо в кузов розкидача чи причіпної установки. Операційно-технологічна карта фіксує час, коли транспорт

виїжджає з місця зберігання, щоб забезпечити координацію з роботою агрегатів у полі.

Підготовка техніки до роботи розпочинається з перевірки технічного стану всіх вузлів: двигуна, гідросистеми, робочих органів і ходової частини. Оператор перевіряє тиск у шинах або стан гусеничних стрічок, рівень технічних рідин та наявність необхідних заправних матеріалів: паливо, мастильні матеріали, охолоджувальна рідина. У технологічній карті описано перелік щоденних регламентних операцій: змазування всіх точок тертя, перевірка натягу ременів, огляд елементів безпеки. Далі виконується перевірка системи електроживлення та освітлення, щоб забезпечити можливість роботи в умовах зниженого освітлення або для сигналізації іншим учасникам руху. Окрему увагу приділяють стану причіпного обладнання: розкидачі повинні бути очищені від попередніх залишків добрив, фіксатори та редуктори перевірені на наявність люфтів. У карті закріплено відповідальність за підготовку: прізвище тракториста або механіка, а також строки виконання цих заходів не пізніше ніж за 1 добу до виїзду в поле. У разі виявлення несправностей техніку відсторонюють від роботи до їх усунення. Завершується етап підготовки підключенням усіх керуючих важелів та тестовим включенням основних робочих систем.

Безпека праці під час внесення органічних добрив є пріоритетним завданням, яке детально прописується в операційно-технологічній карті. Насамперед, оператори повинні мати індивідуальні засоби захисту: рукавички, чоботи з високими голенищами, засоби захисту дихальних шляхів та очей. При роботі з курячим послідом рекомендується застосовувати напівмаски або респіратори класу FFP2, щоб уникнути вдихання пилу з патогенами. Також обов'язковим є наявність аптечки першої допомоги в кабіні трактора або на транспортному засобі поруч із оператором. У карті вказані заборонені зони знаходження сторонніх осіб у процесі внесення: діапазон двох метрів з обох боків рухомої техніки. Оператори повинні пройти інструктаж з правил доступу до робочих зон і обов'язково використовувати звукову сигналізацію при

маневруванні. У випадку використання транспортних засобів із підвищеним рівнем шуму необхідно дотримуватися вимог щодо граничного рівня шуму та використовувати засоби індивідуального захисту слуху. Слід також забезпечити наявність вогнегасника у тракторі, оскільки суха органіка може бути потенційною причиною займання. Крім того, в операційно-технологічній карті прописані дії при аварійних ситуаціях: розлив добрив на дорогу, пробиття шини, поломка бункера. Усі оператори мають бути навчені методам надання першої медичної допомоги при отруєнні та тепловому ударі, що особливо важливо влітку.

Операція внесення органічних добрив розпочинається з виїзду техніки на розмічене поле та встановлення робочого режиму. Тракторист вибирає оптимальну швидкість відповідно до інструкцій карти: зазвичай 6–8 км/год для забезпечення рівномірного розподілу. При русі з включеним розкидачем добрив необхідно переконатися, що бункер заповнений на 70–80%, щоб уникнути надмірного навантаження на систему. У карті вказаний рекомендований напрямок руху: за годинниковою стрілкою чи проти неї залежно від конфігурації поля, що допомагає мінімізувати кількість розворотів і втрати добрива. Перші 10–15 метрів оператор рухається без внесення, щоб розкид починався на заздалегідь визначеній позначці. При досягненні сигналу GPS спрацьовує система автоматичного включення розкидача, що дає максимальну точність початку операції. Оператор стежить за індикаторами рівномірності розподілу, які можуть бути як інтегровані в термінал GPS, так і в окремий датчик під днищем розкидача. Після проходження краю поля техніка виконує поворот із прецизійним витримуванням траєкторії, що записано в карті як «шаблонний» розворот. Усі ці заходи забезпечують поступове і рівномірне покриття площі.

Рівномірність розподілу органічних добрив є ключовим показником якості операції, тому до неї приділяється велика увага в карті. Для цього застосовуються методики визначення зони розсіювання: на полі розкладаються контрольні листи або сітки, на які під час пробного проходження випадають

частинки добрива. Після цього оператор зважує добриво, зібране в кожному квадраті сітки, і порівнює з розрахунковою масою. Якщо відхилення перевищує $\pm 5\%$, швидкість руху або налаштування розкидача коригуються до досягнення рівномірності. У документації карти відзначаються всі результати пробних відборів, дата та час їх виконання, а також погодні умови. Крім того, для поліпшення рівномірності можна використовувати системи керованого відкриття шторок із електроприводом, що дозволяють автоматично реагувати на зміни рельєфу поля. Розроблена у карті методика передбачає проведення контрольних замірів не менше ніж на трьох різних ділянках поля, щоб забезпечити репрезентативність результатів. У разі значних відхилень оператору радять завершити роботи та провести профілактичне обслуговування розкидача перед відновленням. Тільки після досягнення нормативних показників рівномірності дозволяється продовжувати внесення.

Після попереднього розкидання органічних добрив слід провести заробку у ґрунт, що значно підвищує ефективність їх засвоєння рослинами. Для цього зазвичай використовують плуги з робочою шириною захвату 2,5–3,0 м або ротаційні агрегати з робочою глибиною 15–20 см. У карті описана послідовність операцій: відразу після проходу розкидача трактор переобладується під агрегат із плугом, при цьому важливо дотримати інтервал не більше ніж 1–2 дні після внесення. Перевертач пласта створює захисний шар над внесеними добривами, запобігаючи їхньому випаровуванню та вимиванню опадами. У разі використання ротаційних агрегатів здійснюється подрібнення рослинних решток одночасно із загортанням органіки. У карті також передбачені альтернативні методи заробки: чизелювання або дискування, якщо глибока оранка недоцільна з огляду на потребу зберегти структуру ґрунту. Для кожного агрегату вказано оптимальний кут атаки та частоту обертання роторів, що забезпечує мінімальну енерговитратність. У технологічній карті відзначаються допустимі швидкості руху агрегату: 8–10 км/год для плугів та 5–6 км/год для ротаційних машин. Після завершення заробки оператор перевіряє

рівномірність заробки за допомогою візуального огляду і, за потреби, корегує глибину роботи.

Другий етап заробки входить до складу операційно-технологічної карти як завершальний захід щодо загортання органічних добрив і вирівнювання робочої поверхні поля. Дискування робочою шириною 4–6 м дозволяє розбити верхній шар ґрунту на дрібні агрегати, що полегшує проростання бур'янів та випаровування надлишкової вологи. У карті визначається глибина обробітку – не більше 5–7 см, що сприяє збереженню вологи та структури ґрунту. Важливо дотримуватися кута атаки дисків у межах 15–20°, що забезпечує найкращу якість розпушення без надмірного ущільнення. У випадках, коли фактична вологість ґрунту перевищує оптимальну норму, дискування відкладається до стабілізації умов, про що робиться відповідна позначка в карті. Після дискування поле вирівнюється котком із завданням ущільнення верхнього шару на 2–3 см, що полегшує посів наступних культур і формує оптимальну капілярність. Якщо передбачається використання культиваторів широкого захвату, то вони застосовуються після коткування для остаточного вирівнювання поверхні. У карті також рекомендують проводити вирівнювання не раніше ніж за дві доби, щоб запобігти утворенню ущільнень через транспортування важкої техніки. Цей етап забезпечує підготовлену під агрономічні операції поверхню, що безпосередньо впливає на якість подальшого догляду за рослинами та їхній розвиток.

Коткування після дискування відіграє роль завершального етапу в низці операцій з обробітку ґрунту та внесення органічних добрив. У карті визначається тип котка: кільчасто-шпоровий або гладкий, залежно від структури ґрунту та наявності рослинних залишків. Коткування рекомендується проводити зі швидкістю 5–7 км/год із шириною захвату 4–6 м, щоб забезпечити рівномірне ущільнення верхнього шару та розбиття великих грудок. У випадку важких суглинкових ґрунтів доцільно застосувати кільчасто-шпоровий коток, що сприяє формуванню дрібно-грудкуватої структури. При недостатньому ущільненні утворюються порожнини, що можуть негативно

вплинути на кореневу систему рослин і призвести до надмірного випаровування вологи. У карті прописано допустимі коливання тиску на ґрунт: 100–150 кПа, в залежності від типу ґрунту і вологості. Оператори повинні стежити за появою видимого рельєфу валика, що свідчить про досягнення необхідного рівня ущільнення. Далі поле залишають у стані спокою протягом 2–3 діб, щоб ґрунт набув структури, сприятливої для ґрунтових процесів. Цей проміжок часу також дає можливість виявити й усунути можливі дефекти вирівнювання, що фіксується в технологічній карті.

Контроль якості внесення органічних добрив здійснюється шляхом відбору проб ґрунту через певний інтервал після завершення основних операцій. У технологічній карті прописано, що перша перевірка проводиться через 10–14 днів після внесення та заробки органіки для визначення рівня доступності поживних речовин. Проби відбирають з різних зон поля за схемою шахової розкладки, щоб забезпечити репрезентативність замірів. За результатами аналізу визначають концентрацію амонійного та нітратного азоту, рухомого фосфору та калію, а також рівень органічної речовини. Якщо виявлено значне коливання показників понад $\pm 10\%$ від очікуваних норм, у карті передбачено коригувальні заходи: повторне локальне внесення азотних добрив або фосфорних препаратів. Також у карті відзначаються допустимі значення солоності та кислотності, що мають бути в межах, безпечних для культури. Окрема увага приділяється вимірюванню щільності ґрунту у верхньому шарі: якщо вона перевищує $1,4 \text{ г/см}^3$, рекомендується провести повторне культивування. Усі результати фіксуються із зазначенням координат точок відбору, дати і відповідального за дослідження. Такий підхід дозволяє вчасно виявляти нестабільність процесу внесення та корегувати агротехнічну схему.

Документування кожного етапу внесення органічних добрив є обов'язковим елементом операційно-технологічної карти. У карті передбачено форму журналу, де зазначаються дата виконання робіт, прізвище оператора, марка техніки та номер агрегату. Крім того, фіксуються погодні умови на момент виконання робіт: температура повітря, відсоток вологості, вітер. Для

кожного поля прописуються фактичні норми внесення органіки, кількість рейсів і обсяг використаного пального. У випадку непередбачених обставин, таких як поломка техніки чи несприятливі погодні умови, оператор зобов'язаний зробити відмітку в журналі із зазначенням причин і часу простою. Всі записи мають бути підписані відповідальним за роботу механіком і підтверджені головним агрономом господарства. У карті також наведені зразки звітних форм, які повинні подаватися до бухгалтерії та агрономічної служби для подальшого аналізу. Зберігання журналів ведеться не менше трьох років, відповідно до вимог нормативних документів. Документоване ведення процесу дозволяє проводити ретроспективний аналіз та оптимізувати бюджетні витрати підприємства.

Екологічні заходи під час внесення органічних добрив передбачають мінімізацію ризику забруднення ґрунту та водойм. У карті зазначено, що внесення органіки здійснюється не ближче 10–15 м від берегової рослинності та водозахисних смуг. Для запобігання стоку добрив під впливом дощів рекомендується проводити заробку в ґрунт негайно після розкидання, але не пізніше ніж протягом 24 годин. У технологічній карті прописано заборону внесення під час інтенсивних опадів або на заболочених та водонасичених ділянках. Для утримування опадів і зменшення ерозійних процесів при внесенні добрив на схилах понад 5° застосовують спеціальні контурні методи обробітку та розмітки рядів. Також передбачено використання буферних зон із посівом трав'яної рослинності між господарськими площами та водоймами. У карті вказано, що після завершення робіт слід провести очищення коліс техніки від залишків добрив, щоб уникнути розповсюдження органіки за межі поля. Окрім того, рекомендується періодично проводити аналіз води в найближчих водоймах для своєчасного виявлення забруднень. Ці екологічні вимоги забезпечують відповідність діяльності агропідприємства нормам охорони навколишнього середовища та зменшують негативний вплив на екосистеми.

Технічне обслуговування причіпного обладнання після завершення циклу внесення органіки є важливим етапом, що запобігає поломкам у майбутньому.

У карті зазначено, що всі розкидачі і бункери необхідно очистити від залишків добрив за допомогою водяного струменя та щіток. Після цього деталі проходять візуальний огляд на предмет зносу шлангів, корозії металевих частин та пошкоджень робочих органів. Крім того, слід перевірити і змастити ланцюги, підшипники й інші рухомі з'єднання згідно з регламентом виробника. У технологічній карті передбачено перелік мастильних матеріалів, рекомендованих для різних вузлів, а також інтервал перевірки кожного з них. Оператор або механік повинен зафіксувати час обслуговування, перелік виконаних робіт і мастило, використане під час ТО. Якщо виявлено серйозні пошкодження, необхідно терміново замовити запчастини та виконати ремонт у ремонтній майстерні господарства. У картах також прописані норми перевірки гідравлічних систем та регулювання його параметрів у разі потреби. Важливо провести тестовий запуск агрегату після обслуговування, щоб переконатися у відсутності протікань і справності всіх систем. Такий підхід забезпечує довговічність техніки та зменшує експлуатаційні витрати у наступних сезонах.

Моніторинг стану ґрунту та рослин після внесення органічних добрив є складовою операційно-технологічної карти, що допомагає оцінити ефективність виконаних робіт. Перша перевірка проводиться під час відростання культур: агроном оцінює зовнішній вигляд рослин, забарвлення листя і швидкість розвитку. Якщо помітні симптоми азотного голодування, наприклад, пожовтіння нижніх листків, у карті передбачено рекомендації щодо додаткового азотного підживлення у мінімальних дозах. Для точного визначення ефективності внесення органіки здійснюють аналіз листків рослин на вміст хлорофілу з використанням портативного хлорофілофотометра. Також у карті міститься графік відбору контролерів ґрунту та рослин у моменти бутонізації і колосіння, що дозволяє відстежити розподіл поживних речовин. Важливо оцінити мулову активність ґрунту за допомогою визначення кількості дрібних безхребетних організмів у просоченій пробі ґрунту. Результати моніторингу записуються в журнал польових досліджень, що є додатком до технологічної карти. На основі отриманих даних агроном розробляє заходи

корекції технологічного процесу у разі виявлення дефіциту чи перевищення будь-якого елементу. Такий підхід сприяє оперативному реагуванню на зміни в біологічному середовищі та запобігає зниженню врожайності. У подальших циклах обробітку землі результати моніторингу враховуються при формуванні нових карт внесення добрив.

Економічний аналіз робіт із внесення органічних добрив включає розрахунок безпосередніх витрат на матеріали, транспорт, паливо, заробітну плату операторів та амортизацію техніки. У карті міститься калькуляційна таблиця, де зазначено вартість органіки за тонну, середні норми витрати пального на 1 га, а також тарифи на експлуатацію агрегатів. Наприклад, один рейс самоскида розраховується з урахуванням середньої відстані транспортування та середньої витрати пального 15 л/100 км. З урахуванням норм внесення, наприклад, 20 т/га, визначається кількість рейсів, а отже, і загальні витрати на перевезення. Зарплатний фонд операторів розраховується за встановленими тарифами, що фіксуються в договорі між агропідприємством і працівниками. Крім того, враховується амортизація тракторів та розкидачів: для техніки з 5-річним терміном служби це 20% вартості обладнання щорічно. У карті також відображено розрахунок додаткових витрат на ремонт і технічне обслуговування після сезону. Порівняльний аналіз із використанням мінеральних добрив дає змогу обґрунтувати доцільність застосування органіки в конкретному господарстві. Зазначені результати обчислень є підставою для прийняття рішення щодо масштабування або зменшення площ під внесенням органічних добрив в наступні роки.

Організація праці та розподіл обов'язків серед працівників є невід'ємним елементом операційно-технологічної карти для вчасного виконання робіт. Штатний розклад передбачає посади тракториста, механіка, агронома та логіста, які координують процес. Тракторист відповідає за технічне обслуговування трактора під час роботи та безпеку виконання операцій. Механік здійснює контроль технічного стану розкидача, виконує дрібні ремонти «на місці» та координує проведення планового ТО. Агроном

відповідає за агрономічну частину: аналіз ґрунту, розрахунок норм внесення, моніторинг ефективності. Логіст відповідає за доставку добрив з місця зберігання до поля, контроль пробігу транспорту та оптимізацію маршрутів. У карті зазначаються нормативи часу на виконання кожної операції: від підготовки техніки до завершального коткування не повинно минути більше ніж 5 робочих днів за оптимальних погодних умов. Щоденні інструктажі і підведення підсумків виконаних завдань проводяться агрономом і механіком із присутністю всього екіпажу. Такий розподіл обов'язків дозволяє уникнути дублювання завдань та підвищити оперативність реагування на зміни в процесі виконання робіт.

Врахування ризиків під час внесення органічних добрив є важливою вимогою технологічної карти. Перш за все потрібно мати альтернативні сценарії дій у разі зміни погодних умов: сильні опади можуть призвести до розмиву добрив, а посуха – до надмірного випаровування азоту. У карті описано мінімальні та максимальні показники вологості ґрунту, за яких забороняється проводити роботи. У разі обвалу температур нижче 0 °С добрива не можна вносити, оскільки це призводить до змерзання техніки та втрати її функціональності. Також передбачено процедури з евакуації техніки з низьких ділянок поля у разі під час злив або танення снігу. Важливим є моніторинг стану дорожнього покриття, щоб уникнути застрягання важкої техніки, що загрожує зривом технологічного ланцюга. Карта містить рекомендації щодо використання тракторів із плавним запуском і підвищеною тягою в умовах складного рельєфу. Крім того, передбачено план дій у разі аварійних ситуацій: у полі можливий пролом шлангів гідросистеми чи поломка навісного механізму. У кожному з таких випадків оператор має діяти відповідно до інструкцій з безпеки і негайно доповісти механіку для оперативного реагування. Таким чином, карта забезпечує зниження ризиків і підвищує стійкість процесу до непередбачуваних обставин.

Підвищення ефективності операції внесення органічних добрив можливе шляхом впровадження інноваційних технологій та вдосконалення процесів. У

карті передбачено рекомендації щодо поступового впровадження GPS-навігації та автоматизованих систем керування розкидачами, що дозволяють точно координувати рух техніки та зменшувати пілліг добрив. Також можна застосувати датчики вологості ґрунту, інтегровані з бортовим комп'ютером, для корекції норми внесення «на ходу». Запровадження систем телеметрії дозволяє агрономам у режимі реального часу відстежувати продуктивність техніки та оперативно реагувати на відхилення від технологічних норм. Для покращення рівномірності внесення можна модернізувати шторкові розкидачі, додавши механізм плавного регулювання шторок із інтегрованими датчиками маси масиву органіки. Крім того, у карті радять використовувати програмне забезпечення для моделювання руху ґрунтообробних агрегатів, яке враховує рельєф поля і оптимізує траєкторію руху. Використання таких інновацій дозволяє значно зменшити витрати пального та втрати добрив, а також підвищити точність операції. У подальшому це забезпечує економію ресурсів і підвищує екологічну безпеку. Впровадження нових технологій уносу добрив також передбачає регулярний аналіз зворотного зв'язку від операторів та агрономів, що фіксується у карті чи спеціально розроблених звітах.

Завершальним пунктом операційно-технологічної карти є узагальнення очікуваних результатів і рекомендацій щодо подальшого застосування отриманих даних. По-перше, чітко описується прогнозоване підвищення вмісту органічної речовини у ґрунті на 0,5–0,7% за рік за умови внесення 25–30 т/га гною. По-друге, очікується збільшення врожайності культури на 10–15% завдяки більшому забезпеченню азотом і поліпшенню структури ґрунту. У карті також наводяться рекомендації щодо подальшого коригування норм внесення на основі даних попередніх років і моніторингу стану ґрунту. Крім того, зазначається необхідність збереження й оновлення документації: щорічного перегляду карти з урахуванням зміни кліматичних умов, стану господарства та ринкових цін на добрива. У розділі «Висновки» підкреслюється важливість мультидисциплінарного підходу до процесу внесення органічних добрив, що включає агрономів, механіків, екологів і економістів. Не менш

важливим є врахування соціальних факторів: залучення місцевих жителів до робіт із збирання, підготовки та внесення органіки може стати додатковим джерелом зайнятості. Загалом, правильно розроблена та впроваджена операційно-технологічна карта сприяє підвищенню стабільності виробництва, економічній ефективності та збереженню довкілля. Цей документ стає основою для подальших досліджень і вдосконалення технології внесення органічних добрив.

Розрахунок операційно-технологічної карти на внесення органічних добрив представлено в додатку Б. Результати відображені на листі 3 графічної частини.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ РОЗКИДАННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

У комплексі заходів щодо впровадження інтенсивних технологій важливе місце належить підвищенню родючості ґрунту за рахунок внесення органічних добрив. Добрива містять основні елементи живлення рослин: фосфор, калій, азот і речовини, які поліпшують фізичні, хімічні і біологічні властивості ґрунту і тим самим сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.

Оскільки органічні добрива вносять у ґрунт у великій кількості, виникає необхідність у машинах для їх внесення з місткістю кузова 4 – 24 т [2,6].

Всі машини для внесення органічних добрив працюють за такою технологічною схемою: транспортер подає масу до активного розкидального пристрою, який подрібнює її і розподіляє по поверхні поля.

Для перевезення та рівномірного розподілу органічних добрив по поверхні поля застосовують різні типи розкидачів. Вітчизняні моделі, через недосконалість їхніх робочих органів, не забезпечують необхідної однорідності внесення. Іноземними виробниками машин для поверхневого розкидання добрив є такі компанії, як «Dangreville», «Corne Henri S.A.», «Deguilaume», «Deves», «Jeantil», «Leboulch», «GiLiBERT», «Perard», «Sodimac» (Франція), ««Fliegl» (Німеччина), Camara» (Іспанія) та інші. Вітчизняна промисловість також випускає низку агрегатів для поверхневого внесення твердих органічних добрив..

До цієї категорії належать причепи-розкидачі РОД-6, МТО-6, МТО-3, МТО-10, МТО-7, МТО-12, ПРТ-10-1, ПРТ-10, ПРТ-16М, МТТ-23 та ПРТ-16 призначені для роботи в агрегаті з основними класами колісних тракторів сільськогосподарського призначення потужністю 1,4; 3 та 5 т.

У табл. 3.1 подано технічні характеристики деяких із зазначених машин.

Таблиця 3.1 – Параметри технічного оснащення апаратів для розкидання органічних добрив

Показники	Марка машини			
	ПРТ – 16	ПРТ – 10	РОУ – 6	МТТ – 13
Продуктивність, т/год	117	60	52	64
Ширина захвату, м	7	6	5	6
Вантажопідйомність, т	16	10	6	12
Робоча швидкість руху, км/год.	10-12	9-11	10	10-12
Норма внесення добрив, т/га	20, 40, 60	15, 30, 45	11-45	15-60
Маса, т	6.020	4.025	2.0	4.540
Агрегується з тракторами	К-701	Т-150К	МТЗ-80	Т-150К

Основним засобом для рівномірного розподілу твердих органічних добрив по поверхні ґрунту є напівпричіпні розкидачі. Щоб підвищити якість їхньої роботи, доцільно впровадити додатковий механізм, що забезпечуватиме однорідніше розкидання добрив по полю. Це, у свою чергу, сприятиме покращенню внесення гною та дозволить отримати вищі врожаї цукрових буряків. Для досягнення цієї мети використано дводисковий відцентровий розкидач, причому кожен диск укомплектовано чотирма радіально розташованими лопатями (рис. 3.1).

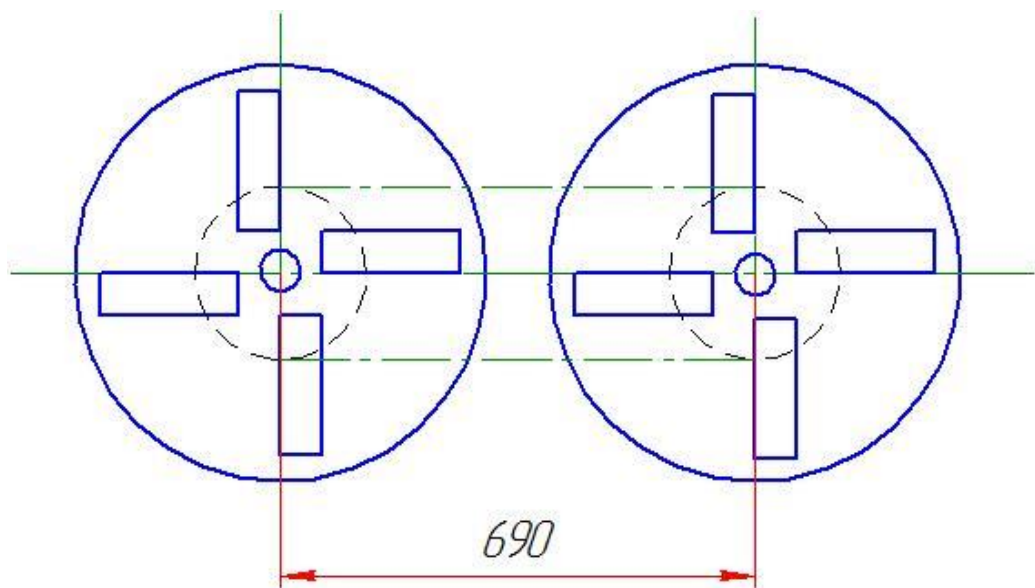


Рис. 3.1. Розроблений розкидний пристрій.

Принцип дії цього апарату побудовано на двох етапах [2]: початковому переміщенні добрив по поверхні диска та подальшому їх вільному польоті під впливом отриманої кінетичної енергії й гравітації.

Перша стадія розпочинається з моменту, коли добриво падає на диск, і включає два підетапи: ковзання добрив по диску до контакту з лопаткою та подальше переміщення по поверхні самої лопатки. Щоб забезпечити правильне виконання цього процесу, необхідно підтримувати певну швидкість обертання диска.:

$$n \geq 30 \cdot \sqrt{\frac{f \cdot g}{\pi^2 \cdot r}} \quad (3.1)$$

де f – коефіцієнт тертя диск – частинки добрив;

r – відстань від місця подачі часточки добрив до центру обертання диска, м.

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$n \geq 30 \cdot \sqrt{\frac{0,45 \cdot 9,8}{3,14^2 \cdot 0,07}} = 76 \text{ об/хв.}$$

Коли частинка потрапляє на лопатку, розпочинається друга фаза її переміщення по диску, під час якої вона ковзає вздовж поверхні лопатки. Завдяки конструкції лопатки траєкторія руху частинок добрив змінюється. Якщо лопатки встановлені радіально, абсолютна швидкість частинки в момент її відриву від лопатки дорівнюватиме:

$$v_a = \sqrt{v_e^2 + v_r^2} \quad (3.2)$$

де v_r – швидкість переміщення добрив уздовж поверхні лопатки відносно неї,

v_e – швидкість транспортування частинок добрив.

Оскільки v_r істотно поступається v_e , її вплив на v_a є мінімальним, тому в практичних розрахунках можна не враховувати її, приймаючи $v_a = v_e$.

$$v_e = \omega \cdot R, \text{ м/с,} \quad (3.3)$$

де ω – кутова швидкість диска, 1/с;

R – радіус диска, м.

$$v_e = 8 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ м/с.}$$

У другій фазі частинка відривається від диска і рухається горизонтально зі швидкістю $v_a = v_e$.

Ширина зони розсіювання обчислюється за формулою:

$$B_p = 2 \cdot \omega \cdot R \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} + A. \quad (3.4)$$

де H – вертикальна відстань між диском розкиду та поверхнею ґрунту.

A – проміжок між центральними осями дисків для розсіювання.

$$B_p = 2 \cdot 8 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{9,8}} + 0,12 = 2,2 \text{ м.}$$

Щоб дискові розкидачі працювали надійно, слід правильно підібрати підшипник для вала, на якому встановлені диски.

Під час визначення типу та розмірів підшипника слід враховувати такі чинники [1]:

- величину та напрямок навантаження;
- тип навантажувальних впливів;
- швидкість обертання вала;
- очікуваний термін служби підшипника;
- експлуатаційні умови підшипника;
- специфічні вимоги до підшипника.

У цьому випадку обертовий вал створює осьове навантаження на підшипник, яке змінюється залежно від маси добрив на диску.

Посадковий діаметр вала становить 60 мм; вал обертається зі швидкістю 76 об/хв; для підшипника задано 90 % ймовірності безвідмовності; навантаження відповідає режиму III (середньому нормальному); максимальна осьова сила $F_a = 109 \text{ Н}$; експлуатаційні умови передбачають підвищену вологість та запиленість; очікуваний ресурс роботи – 10 000 год.

Ключовими показниками працездатності підшипника кочення є його статична та динамічна вантажопідйомність. Оскільки вал, що обертається в цих підшипниках, функціонує зі швидкістю понад 1 об/хв, перевірочний розрахунок

виконуватимемо з урахуванням динамічного навантаження.

Розраховуємо силу натягу клинових ременів пасової передачі:

$$F_N = 2F_0 \cdot Z \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (3.5)$$

де F_0 – зусилля, необхідне для початкового натягу ременів, Н;

$$F_0 = \frac{150 \cdot p \cdot C_p \cdot C_L}{Z \cdot V \cdot C_\alpha} + Q \cdot V^2 \quad (3.6)$$

де p – потужність, призначена для передачі (за розрахунком), (11 кВт);

C_p – коефіцієнт режиму роботи, (1,1);

C_L – коефіцієнт, що відображає вплив тривалості часу, (1,08);

C_α – показник, що враховує величину кута захвату ремня, (0,95);

V – темп переміщення паса, м/с;

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot R}{30} = \frac{3,14 \cdot 76 \cdot 0,08}{30} = 0,63 \text{ м/с};$$

Z – кількість ременів;

Q – коригувальний коефіцієнт для врахування дії відцентрової сили, (0,06);

α – кут, під яким ремінь охоплює шків, (160°);

звідси:

$$F_0 = \frac{150 \cdot 11 \cdot 1,1 \cdot 1,08}{1 \cdot 0,64 \cdot 0,95} + 0,64^2 \cdot 0,06 = 3224 \text{ Н},$$

$$F_N = 2 \cdot 3224 \cdot 1 \cdot \sin \left(\frac{160^\circ}{2} \right) = 6350 \text{ Н};$$

Виконаємо оцінку строку служби підшипника. Тривалість його роботи в годинах за умови 90 % ймовірності безвідмовної експлуатації (або 10 % ймовірності відмови):

$$L_n = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (3.7)$$

де n – частота обертання валу, (76 об/хв);

C – несуча здатність підшипника за динамічного навантаження №170412, ($C=22,9 \text{ кН}$);

P – несуча здатність підшипника за динамічного навантаження:

$$P_r = (VF_r + F_a) \cdot K_{\delta} \cdot K_m$$

де V – показник, пов’язаний з обертанням внутрішнього кільця, (1);

$$K_{\delta} = 1;$$

K_T – Показник, який враховує вплив температури, розраховують за наведеною формулою:

$$K_m = 0,66 + \frac{100}{(400 - t)} \quad (4.8)$$

$$K_m = 0,66 + \frac{100}{(400 - 40)} = 0,93$$

F_r – радіально змінюваний навантажувальний вплив, $F_r = F_n = 6350$ Н;

F_a – осьова сила, що сприймається опорним елементом (реакція), $F_a = 102$ Н;

p – показник ступеня ($p = 3$ – для кулькових підшипників);

$$P_r = (1 \cdot 6350 + 102) \cdot 1 \cdot 0,93 = 6000 \text{ Н};$$

Звідси:

$$L_n = \frac{10^6}{60 \cdot 76} \left(\frac{22900}{6000} \right)^3 = 12192 \text{ год.}$$

Щоб підшипник функціонував належним чином, має виконуватися ця умова:

$$L_n > [L_n]$$

де $[L_n]$ – термін експлуатаційної придатності підшипника, год. $[L_n] = 10000$ год;

$$L_n = 12192 \text{ год} > [L_n] = 10000 \text{ год};$$

Вимогу задоволено, тому обираємо підшипник №170412.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконаної роботи було обґрунтовано необхідність удосконалення комплексу машин для вирощування цукрових буряків шляхом модернізації універсального причіпного розкидача органічних добрив. Аналіз технічного рівня наявних розкидачів показав, що традиційні механізми недостатньо ефективно подрібнюють великі фракції гною чи компосту, що призводить до нерівномірного розподілу поживних речовин у ґрунті та зниження агрономічного ефекту. Запропонована конструкція із встановленням горизонтальних подрібнюючих барабанів забезпечує попередню обробку органічної маси безпосередньо перед вивантаженням, що дозволяє отримати одноріднішу фракцію з розмірами частинок, оптимальними для рівномірного розсіву. Це в свою чергу сприяє покращенню контакту поживних речовин із поверхнею ґрунту і підвищенню доступності елементів живлення для рослин у ранніх фазах росту.

Практична значущість отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності агротехнології вирощування цукрових буряків шляхом інтеграції модернізованого причіпного розкидача в існуючий машинно-тракторний парк. Рекомендації з налаштування барабанного механізму та режими роботи агрегату можуть бути рекомендовані для впровадження в господарствах різних агрокліматичних зон України. Зокрема, у умовах західного та центрального регіонів, де переважають важкі суглинкові ґрунти, модернізація дозволяє забезпечити краще закладання поживних речовин і знизити негативний вплив дощів на винос азоту. У південних областях із більш посушливим кліматом покращена фракція сприятиме збереженню вологи в ґрунті та зменшенню ерозійних втрат поживних елементів.

Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення рівномірності розподілу органіки, оптимізацію агротехнічного процесу та економію ресурсів. Перспективними напрямками подальших досліджень є розробка автоматизованої системи регулювання обертів барабанів залежно від вологості

добрива й навантаження на вал, а також створення адаптивного програмного забезпечення для інтеграції розкидача в сучасні GPS-керовані трактори. Такий комплексний підхід гарантує подальше підвищення продуктивності та екологічної безпеки вирощування цукрових буряків на території України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабенко, О.І. Механізація вирощування цукрових буряків: підручник. Київ: Наукова думка, 2015. 312 с.
2. Бурий, С.В. Технологія внесення органічних добрив у сільському господарстві: монографія. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2017. 248 с.
3. Грицай, Ю.І., Коваленко, М.П. Машини для внесення добрив: навч. посіб. Київ: Либідь, 2018. 280 с.
4. Дорошенко, В.П. Ґрунтознавство: підручник. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2016. 460 с.
5. 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.
6. Душейко, О.В. Тракторні агрегати в коренеплідних культурах: монографія. Житомир: Видавничий дім «Системна поліграфія», 2019. 192 с.
7. Ільчук, Н.І. Розкидачі добрив: конструкція та налаштування: навч. посіб. Львів: ЛРІА, 2020. 160 с.
8. Коваленко, М.П., Стеценко, І.Г. Агротехнічні вимоги до внесення органічних добрив: зб. наук. праць. Київ: НАУ, 2018. С. 45–67.
9. Козаченко, В.О. Сучасні технології підвищення родючості ґрунту: навч. посіб. Запоріжжя: ЗНУ, 2021. 212 с.
10. Кузнєцов, В.О., Петренко, О.С. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив: підруч. Київ: УкрАгроКонсалтинг, 2019. 336 с.
11. 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.
12. Шевчук, І.В. Органічне землеробство в Україні: монографія. Київ: Агрофірма «Самміт-Книга», 2022. 272 с.
13. Avery, D.T. & Novak, J. (2017). Principles of Farm Machinery. New York: Wiley. 432 p.

14. Brown, J.R. (2018). *Soil Morphology, Genesis, and Classification*. New York: Wiley. 528 p.
15. Canali, S., Guiducci, M., & Nannipieri, P. (2019). "Organic Fertilizers and Soil Microorganisms." *Soil Biology & Biochemistry*, 45(3), 12–27.
16. Debertin, D.L. (2016). *Agricultural Production Economics*. London: Routledge. 400 p.
17. Dick, W.A., & Condon, L.M. (2018). "Mechanisms and Dynamics of Soil Organic Matter Stabilization." *Soil Science Society of America Journal*, 82(5), 1123–1135.
18. Holmes, B.J. & Lehane, B.M. (2020). *Mechanics of Agricultural Machines*. Cambridge: Cambridge University Press. 352 p.
19. Johnson, R.D. (2017). *Sugar Beet Production and Management*. Minneapolis: University of Minnesota Press. 288 p.
20. Möller, A. & Müller, T. (2016). "Effects of Compost, Manure, and Mineral Fertilizer on Soil Properties and Yield." *Agricultural Systems*, 146, 50–59.
21. Radford, B. (2019). *Precision Agriculture for Agroecology*. London: CRC Press. 276 p.
22. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., et al. (2018). "Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)." In: *Climate Change and Land: an IPCC Special Report*. Geneva: IPCC. 554 p.
23. Bellon, G., & Guyon, Y. (2018). *Principes de mécanisation agricole : Suisse : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*. 240 p.
24. Deschamps, R. (2017). *Les engrais organiques et leur valorisation*. Paris: Éditions Quae. 312 p.
25. Francois, M., & Legrand, A. (2019). *Machines agricoles modernes*. Lyon: Éditions Techniques Agricoles. 288 p.
26. Girard, S. (2020). "Techniques de fragmentation des matières organiques: Approches et mises en œuvre." *Agrocampus Ouest Presses*, 112(4), 45–62.

27. Lambert, J., & Dupont, E. (2016). Équipement et entretien des sols : Paris : Lavoisier. 384 p.
28. Leclerc, P., & Martin, F. (2018). “Évaluation de la distribution des fumiers avec épandeurs à tambour horizontal.” *Revue de Technologies Agricoles*, 26(2), 75–88.
29. Laurent, J.-P. (2017). *Agronomie et machines : État des savoirs*. Tours: University Tours Éditions. 304 p.
30. Moreau, C., & Leroy, Y. (2021). “Les innovations dans les épandeurs de fertilisants organiques.” *Techniques de l’Ingénieur Agricole*, 14, 98–112.
31. Renaud, C. (2019). *Les engrais et la gestion durable* : Paris: Presses de l’INRA. 256 p.
32. Thiery, J., & Brunet, J. (2022). *Conception des machines agricoles: principes et applications*. Montpellier: Éditions agroSCIENCES. 320 p.