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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Червінський Юрій Валерійович

УДК 631.312:631.3:633.416

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення комплексу машин для вирощування кормових буряків з модернізацією щілювача ґрунту

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 _____ Червінський Ю.В.

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

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Червінський Юрій Валерійович. Удосконалення комплексу машин для вирощування кормових буряків з модернізацією щілювача ґрунту. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування кормових буряків із модернізацією щілювача ґрунту. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності виробництва соковитих кормів, зменшення енерговитрат і покращення водно-повітряного режиму ґрунту. У роботі проаналізовано існуючі технології вирощування кормових буряків, стан механізації та автоматизації основних технологічних процесів. Спроєктовано технологію вирощування кормових буряків на площі 200 га з розрахунком технологічної карти, витрат праці, пального та потреби в машинно-тракторних агрегатах. Особливу увагу приділено включенню до технологічного процесу розробленого щілювача ґрунту, який забезпечує руйнування ущільненого підорного шару. Обґрунтовано конструктивні параметри модернізованого щілювача та визначено його вплив на якість глибокого розпушування ґрунту. Проведено техніко-економічне обґрунтування проектних рішень і встановлено доцільність застосування запропонованого агрегату. Доведено, що використання модернізованого щілювача сприяє підвищенню урожайності кормових буряків, зниженню собівартості продукції та покращенню економічних показників виробництва.

Ключові слова: кормові буряки, комплекс машин, щілювач ґрунту, технологічна карта, механізація, економічна ефективність.

ANNOTATION

Yurii Valeriyovych Chervinsky. Improvements to a set of machines for growing fodder beet, including the modernisation of the soil cutter. *– Qualification work on the rights of the manuscript*.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This qualification thesis examines the improvement of a set of machines for growing fodder beet, including the modernisation of the soil cutter. The relevance of the topic stems from the need to increase the efficiency of succulent fodder production, reduce energy consumption and improve the soil’s water and air regime. The thesis analyses existing technologies for growing fodder beet, as well as the state of mechanisation and automation of the main technological processes. A technology for growing fodder beet over an area of 200 ha has been designed, including a calculation of the technological chart, labour costs, fuel consumption and the requirement for machinery and tractor units. Particular attention is paid to the inclusion in the technological process of a specially developed soil cracker, which breaks up the compacted subsoil layer. The design parameters of the modernised soil cracker are substantiated, and its impact on the quality of deep soil loosening is determined. A technical and economic justification of the design solutions has been carried out, and the feasibility of using the proposed unit has been established. It has been demonstrated that the use of the modernised soil splitter contributes to an increase in fodder beet yields, a reduction in production costs and an improvement in economic performance indicators.

Keywords: fodder beet, machinery complex, soil cracker, process flow chart, mechanisation, economic efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ……8
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ……15
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЩІЛЮВАЧА ҐРУНТУ……28
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……42
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……51

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Кормовиробництво є однією з важливих складових аграрного виробництва, оскільки від його ефективності значною мірою залежить продуктивність тваринництва, собівартість продукції та стабільність кормової бази господарств. Серед кормових культур важливе місце займають кормові буряки, які характеризуються високою врожайністю, добрими кормовими якостями, значним вмістом вологи, цукрів, мінеральних речовин і доброю поїданістю тваринами. Вони є цінним соковитим кормом для великої рогатої худоби та можуть ефективно використовуватися у раціонах у свіжому або подрібненому вигляді.

Разом з тим вирощування кормових буряків є досить трудо- та енергоємним процесом. Культура потребує якісної підготовки ґрунту, достатнього забезпечення вологою, точного висіву, своєчасного догляду за посівами, захисту від бур’янів, шкідників і хвороб, а також механізованого збирання з мінімальними втратами. Значний вплив на формування врожаю має стан ґрунту, зокрема його щільність, структура, водопроникність і наявність ущільненого підорного шару. У разі утворення «плужної підошви» погіршується розвиток кореневої системи, зменшується проникнення вологи в нижні горизонти, посилюється поверхневий стік води та зростає небезпека ерозійних процесів.

У сучасних умовах важливим напрямом підвищення ефективності вирощування кормових буряків є удосконалення комплексу машин, що забезпечують виконання основних технологічних операцій. Особливе значення має застосування ґрунтообробних знарядь, здатних виконувати глибоке розпушування без надмірного руйнування верхнього шару ґрунту. До таких машин належать щілювачі ґрунту, які сприяють руйнуванню ущільненого підорного горизонту, покращують водно-повітряний режим, підвищують здатність

ґрунту накопичувати вологу та створюють кращі умови для росту й розвитку коренеплодів.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності підвищення ефективності механізованої технології вирощування кормових буряків шляхом удосконалення комплексу машин і модернізації щілювача ґрунту. Запропоноване технічне рішення спрямоване на зниження енергоємності обробітку, покращення якості розпушування ґрунту, підвищення урожайності культури та зменшення собівартості виробництва кормових коренеплодів.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності вирощування кормових буряків шляхом удосконалення комплексу машин і модернізації щілювача ґрунту для покращення умов розвитку кореневої системи та підвищення продуктивності культури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **такі завдання**: проаналізувати існуючі технології вирощування кормових буряків, стан їх механізації, автоматизації та перспективи роботизації; розробити технологію вирощування кормових буряків на площі 200 га з обґрунтуванням складу машинно-тракторних агрегатів; провести розрахунок технологічної карти вирощування культури; проаналізувати існуючі конструкції щілювачів і розпушувачів ґрунту; обґрунтувати необхідність модернізації щілювача ґрунту та визначити його основні конструктивно-технологічні параметри; виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування кормових буряків із застосуванням комплексу машин для виконання основних операцій.

Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри щілювача ґрунту та їх вплив на якість глибокого розпушування, енергоємність процесу й ефективність вирощування кормових буряків.

У роботі використано **методи** аналізу існуючих технологій і конструкцій машин, розрахунку технологічної карти, порівняння базового та проектного

варіантів, а також методи техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження модернізованого щілювача ґрунту.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янко Д.А., Руденко В.Г.,Червінський Ю.В. Особливості технологічної операції щілювання ґрунту. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/derevjanko_26-6.pdf (дата звернення 02.06.2026).

2. Боровський В.М., Онуфрієнко О.М., Червінський Ю.В., Бучко І.О. Екологобезпечні способи обробітку ґрунту. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 118-120.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених проектних рішень у сільськогосподарських підприємствах, що вирощують кормові буряки та інші просапні культури. Запропонований комплекс машин із включенням модернізованого щілювача ґрунту дає змогу поліпшити якість основного обробітку, підвищити вологозабезпечення рослин, зменшити негативний вплив ущільнення ґрунту та покращити економічні показники виробництва.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 28 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 53 сторінки комп'ютерного тексту, містить 15 рисунків, 16 таблиць та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ

1.1 Значення культури та загальна характеристика технології

Кормові буряки належать до високопродуктивних соковитих кормових культур, які формують значну масу коренеплодів і гички та використовуються у годівлі великої рогатої худоби. Їх цінність полягає у високій перетравності, добрій поїданості тваринами та можливості одержання значної кількості кормових одиниць з одиниці площі. Водночас культура є вибагливою до вологи, структури ґрунту, забезпечення поживними речовинами і чистоти посівів, тому ефективність її вирощування безпосередньо залежить від правильно підібраного комплексу машин.

Сучасна технологія вирощування кормових буряків базується на поєднанні якісного основного обробітку ґрунту, точного висіву, своєчасного догляду за посівами, захисту від бур’янів і хвороб, механізованого збирання та правильного зберігання. За рекомендаціями виробників насіння, кормовий буряк не бажано висівати на одному полі два роки поспіль; кращими попередниками є озимі зернові, кукурудза, бобові, овочеві культури та однорічні трави [3].

Для даного проекту особливо важливим є етап основного обробітку ґрунту. У технології можуть застосовуватися як оранка, так і глибоке рихлення. Глибоке розпушування доцільне на ущільнених ґрунтах, де сформована “плужна підошва”, оскільки воно покращує водопроникність, аерацію і розвиток кореневої системи. Тому модернізація щілювача ґрунту має безпосередній зв’язок із підвищенням стійкості технології вирощування кормових буряків у посушливих умовах.

1.2 Аналіз посівних площ та урожайності

В офіційних відкритих статистичних наборах Держстату кормові буряки подаються переважно у складі групи “коренеплоди кормові”, тому для оцінки динаміки посівних площ використано саме цей показник. За 2015-2024 рр. площа під кормовими коренеплодами скоротилася з 213 до 151 тис. га, тобто приблизно на 29,1%. Це свідчить про зменшення ролі трудомістких коренеплідних культур у кормовиробництві та переорієнтацію господарств на силосну кукурудзу, багаторічні трави і простіші за організацією технології заготівлі кормів.

Таблиця 1.1 – Динаміка площ кормових коренеплодів та урожайності фабричного цукрового буряку

Рік	Площа кормових коренеплодів, тис. га	До 2015 р., %	Урожайність цукрового буряку, ц/га
2015	213	100.0	435.8
2016	208	97.7	481.5
2017	206	96.7	474.9
2018	203	95.3	508.5
2019	192	90.1	461.1
2020	191	89.7	416.2
2021	177	83.1	479.1
2022	163	76.5	541.2
2023	157	73.7	-
2024	151	70.9	-



Рис. 1.1. Динаміка посівних площ кормових коренеплодів в Україні.

Наведена динаміка демонструє поступове, майже безперервне скорочення площ. Найбільш відчутним воно стало після 2021 р., що пов’язано як із загальним зниженням інтенсивності кормовиробництва в окремих регіонах, так і з воєнними ризиками, дефіцитом робочої сили, подорожчанням пального та потребою господарств обирати культури з простішою логістикою. У таких умовах конкурентоспроможність кормових буряків залежить від зменшення витрат на механізовані операції, підвищення продуктивності агрегатів і забезпечення стабільної урожайності.

Окремої загальнодержавної динаміки урожайності саме кормових буряків у відкритому статистичному наборі немає, тому для характеристики продуктивності використано результати сучасних досліджень сортів кормових буряків. За даними польових дослідів 2022-2024 рр., урожайність досліджуваних сортів коливалася у межах 72,4-109,3 т/га, а найвищий показник мав сорт Рекорд Полі Біс [4]. Це підтверджує високий біологічний потенціал культури, але його реалізація можлива лише за достатньої вологи, якісної підготовки ґрунту, рівномірної густоти рослин і своєчасного контролю бур’янів.



Рис. 1.2. Урожайність сортів кормових буряків у дослідах 2022-2024 рр.

1.3 Існуючі технологічні операції вирощування

Технологічний процес вирощування кормових буряків умовно поділяють на такі етапи: вибір поля та попередника, внесення добрив, основний обробіток ґрунту, передпосівна підготовка, сівба, догляд за посівами, захист від шкідників і хвороб, збирання, транспортування та зберігання. Культура добре реагує на органічні добрива; для невеликих господарств рекомендоване внесення гною у межах 40-80 т/га, а іноді й більше, під осінній обробіток [3].

Сівбу проводять у фізично стиглий ґрунт із якісно підготовленим насіннєвим ложем. За механізованого способу рекомендована норма висіву становить 130-150 тис. насінин/га, глибина загортання - 2-4 см, а формування густоти має забезпечувати рівномірне розміщення рослин у рядку на відстані 15-20 см [3]. Після сівби важливе коткування, яке покращує контакт насіння з вологим ґрунтом і сприяє дружним сходам.

Найбільш напруженим періодом є початковий розвиток культури, коли бур’яни швидко конкурують із повільними сходами буряків. На малих площах застосовують ручне прополювання, а на більших - міжрядні культиватори, борони, ротаційні робочі органи і гербіцидні обробки. Запізнення з обприскуванням значно знижує ефективність захисту, а ураження листкового апарату церкоспорозом, рамулярією та іншими хворобами може призвести до великих втрат урожаю [3].

Таблиця 1.2 – Стан механізації основних операцій у технології вирощування кормових буряків

Операція	Машини та знаряддя	Рівень механізації	Проблемні місця
Основний обробіток	Плуги, чизелі, глибокорозпушувачі, щілювачі	Високий	Ущільнення підорного шару, значна енергоємність
Передпосівна підготовка	Культиватори, борони, котки, комбіновані агрегати	Високий	Потреба у вирівняному дрібногрудочкуватому ложі

Продовження таблиці 1.2.

Сівба	Сівалки точного висіву, GPS-навігація	Середній-високий	Нерівномірність густоти, вимоги до якості насіння
Догляд і захист	Міжрядні культиватори, обприскувачі, секційний контроль	Середній	Вузьке “вікно” обробок, забур’яненість
Збирання	Гичкозбиральні машини, бурякозбиральні комбайни, копачі-навантажувачі	Середній	Висока вартість спеціалізованої техніки, втрати при викопуванні
Зберігання	Навантажувачі, буртоукладачі, вентиляція сховищ	Середній	Пошкодження коренеплодів, контроль температури і вологості

1.4 Стан механізації та автоматизації

У великих і середніх господарствах основні операції вирощування кормових буряків можуть бути повністю механізовані, оскільки культура технологічно близька до цукрового буряку. Збирання кормових буряків здійснюють тими самими типами машин, що й збирання цукрових буряків, хоча процес викопування є дещо легшим через особливості форми та розміщення коренеплодів [3]. Найбільший ефект дає застосування спеціалізованих агрегатів для точного висіву, міжрядного обробітку, глибокого рихлення та механізованого збирання.

Разом з тим кормові буряки часто вирощують у господарствах із невеликими площами кормових культур, де частина операцій виконується спрощеними засобами: мотоблоками, малогабаритними сівалками, копачами або вручну. Це знижує продуктивність праці й підвищує втрати. Тому головним напрямом удосконалення є не лише придбання потужнішої техніки, а й оптимізація комплексу машин під конкретну площу, енергетичний засіб і ґрунтово-кліматичні умови.

Автоматизація у буряківництві розвивається через супутникову навігацію, паралельне водіння, автоматичне відключення секцій обприскувача, карти-завдання для диференційованого внесення добрив, датчики норми висіву та електронний контроль роботи висівних апаратів. Для кормових буряків ці рішення особливо корисні, тому що культура вимагає рівномірного розміщення рослин,

точного міжряддя і мінімального пошкодження коренеплодів під час догляду та збирання.

1.5 Перспективи роботизації вирощування кормових буряків

Роботизація є перспективним напрямом, оскільки кормові буряки вирощують широкорядним способом, а це створює умови для точного проходу автономних машин між рядками. Найбільш реальними для впровадження є роботи для точного висіву, механічного прополювання, локального внесення засобів захисту, моніторингу стану рослин і картування поля.

Прикладом такого підходу є польовий робот FarmDroid FD20, який за допомогою RTK GPS запам’ятовує координати кожної насінини під час сівби, а потім виконує міжрядне і внутрішньорядне прополювання. Заявлена точність позиціонування становить 8 мм, ширина міжряддя - від 22,5 см, а добова продуктивність - до 6 га [5]. Для культур із міжряддям від 22,5 см роботизоване “сліпе” прополювання можливе навіть до появи сходів, оскільки машина орієнтується на координати висіяного насіння, а не лише на зображення рослини [6].

Переваги роботизації для кормових буряків полягають у зменшенні ручної праці, скороченні застосування гербіцидів, меншому ущільненні ґрунту та кращій повторюваності операцій. Водночас перешкодами залишаються висока вартість роботів, потреба у точній підготовці поля, цифрових картах, сервісній підтримці та навченому персоналі. Тому в найближчій перспективі роботизовані системи доцільно розглядати як доповнення до традиційного комплексу машин, а не як повну заміну тракторних агрегатів.

Висновки по розділу

Аналіз існуючих технологій показує, що кормові буряки мають високий потенціал урожайності, але потребують інтенсивної та своєчасної технології.

Посівні площі кормових коренеплодів в Україні за останнє десятиріччя скоротилися, що підвищує вимоги до економічної ефективності кожної технологічної операції. Найбільш важливими чинниками стабільного врожаю є якісний основний обробіток ґрунту, збереження вологи, рівномірна сівба, своєчасний догляд і зменшення втрат під час збирання. Модернізація щілювача ґрунту є обґрунтованою, оскільки спрямована на усунення ущільнення, поліпшення водно-повітряного режиму та створення кращих умов для розвитку коренеплодів. Подальший розвиток технології пов’язаний із застосуванням GPS-навігації, автоматизованого контролю висіву, секційного керування, роботизованого прополювання і локального внесення засобів захисту.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ

Проектування технології вирощування кормових буряків здійснюється з урахуванням призначення культури, природно-кліматичних умов господарства, наявного машинно-тракторного парку та конструктивного рішення модернізованого щілювача ґрунту. Кормові буряки є високопродуктивною кормовою культурою, однак їх урожайність значною мірою залежить від якості основного обробітку, вирівняності посівного ложа, рівномірності сівби, своєчасного догляду за міжряддями та організованого збирання коренеплодів.

У даному розділі розроблено технологічну схему вирощування кормових буряків на площі 200 га. Основною конструктивною особливістю проекту є включення в технологічну карту операції глибокого щілювання ґрунту розробленим щілювачем. Такий прийом спрямований на руйнування ущільненого підорного горизонту, поліпшення водопроникності, зменшення поверхневого стоку та створення кращих умов для розвитку кореневої системи буряків.

Розрахунок виконано для механізованої технології з використанням традиційних тракторних агрегатів, сівалки точного висіву, міжрядних культиваторів, обприскувача, бурякозбиральної техніки та транспортних засобів. У тексті також наведено напрями автоматизації та можливості поступового переходу до елементів роботизованого виконання окремих операцій.

2.1 Вихідні умови проектування та агротехнічні вимоги

Для розрахунку прийнято площу посіву кормових буряків 200 га. Попередником доцільно вважати зернові культури або однорічні кормові сумішки, після яких поле звільняється достатньо рано для проведення лущення стерні, внесення органічних добрив і глибокого основного обробітку. Найбільш придатними є легкі та середні суглинкові ґрунти з доброю водопроникністю,

нейтральною або слабокислою реакцією ґрунтового розчину та достатнім запасом поживних речовин.

Кормові буряки формують значну масу коренеплодів, тому технологія повинна забезпечувати глибокий розпушений шар, відсутність плужної підошви, точне розміщення рослин у рядку і мінімальну конкуренцію бур'янів у початковий період росту. Особливо важливим є забезпечення рівномірних сходів, оскільки пропуски в рядках і нерівномірна густота стояння рослин ускладнюють міжрядний обробіток і знижують використання площі живлення.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування технології

Показник	Прийняте значення	Пояснення
Площа посіву	200 га	Прийнято за умовою проекту
Планова врожайність коренеплодів	65 т/га	Середньоінтенсивна технологія для кормового використання
Плановий валовий збір коренеплодів	13 000 т	Площа × урожайність
Орієнтовна врожайність гички	15 т/га	Може використовуватись на зелений корм або силосування
Схема сівби	50 см × 18-20 см	Забезпечує 100-110 тис. рослин/га
Глибина загортання насіння	2-3 см	За наявності вологи у посівному шарі
Глибина щілювання	45-50 см	Операція виконується розробленим щілювачем
Норма органічних добрив	40 т/га	Під основний обробіток ґрунту
Система мінерального живлення	N90P60K120	Уточнюється за агрохімічним аналізом ґрунту

Агротехнічні вимоги до основних операцій наведено в таблиці 2.2. Вони встановлюють цільові параметри якості робіт, яких необхідно дотримуватися під час вибору агрегатів, режимів руху та календарних строків виконання операцій.

Таблиця 2.2 – Агротехнічні вимоги до вирощування кормових буряків

Операція	Основна вимога	Контрольний параметр
Основний обробіток	Глибоке розпушення орного і підорного шару	28-30 см для основного обробітку; 45-50 см для щілювання
Передпосівний обробіток	Вирівняне дрібногрудочкувате посівне ложе	глибина 3-4 см, грудочки до 30 мм
Сівба	Точне розміщення насіння без пропусків і двійників	відхилення глибини не більше 0,5-1,0 см
Догляд за посівами	Знищення бур'янів і збереження захисної зони рядка	міжряддя 4-10 см залежно від фази

Продовження таблиці 2.2

Захист рослин	Своєчасна обробка за фактичною заселеністю шкідниками і забур'яненістю	робоча рідина 200-300 л/га
Збирання	Мінімальні втрати і пошкодження коренеплодів	втрати не більше 3-5% за належного налаштування техніки

2.2 Обґрунтування послідовності технологічних операцій

Запропонована технологія складається з шести взаємопов'язаних блоків: післязбиральна підготовка поля, внесення добрив, осінній основний обробіток із щілюванням, весняне формування посівного ложа, точна сівба і догляд за посівами, збирання та транспортування продукції. Послідовність операцій підібрано так, щоб поєднати агротехнічну ефективність із раціональним використанням машинно-тракторного парку.

Після попередника поле дискують на 8-10 см. Ця операція провокує проростання падалиці та бур'янів, подрібнює рослинні рештки, вирівнює поверхню і полегшує подальше внесення органічних добрив. Після цього вноситься гній у нормі 40 т/га та фосфорно-калійні добрива. Органічна речовина покращує структуру ґрунту і водоутримувальну здатність, що важливо для культури з великим вегетаційним періодом.

Ключовою проектною операцією є щілювання на глибину 45-50 см. Розроблений щілювач працює без повного обертання пласта, формує вертикальні або похилі щілини в підорному горизонті та створює канали для інфільтрації води. За умов вирощування кормових буряків це має особливе значення, оскільки рослини потребують розпушеного глибокого шару для формування великих коренеплодів. Щілювання доцільно проводити восени, коли ґрунт не перезволожений і не пересушений, а сформовані щілини здатні накопичувати осінньо-зимову вологу.

Після щілювання виконується основний обробіток на 28-30 см. У господарстві може застосовуватися оранка або безвідвальний обробіток залежно

від забур'яненості, кількості рослинних решток і протиерозійних вимог. За підвищеної небезпеки ерозії перевагу доцільно надавати безвідвальному варіанту, який краще зберігає структуру поверхневого шару і зменшує втрати вологи.

Таблиця 2.3 – Комплекс машин для проектованої технології

Елемент комплексу машин	Прийнятий варіант	Роль у технології
Трактор загального призначення	ХТЗ-17221 або аналог	дискування, щілювання, важкий обробіток
Трактор тягового класу 3	Т-150К, МТЗ-1523	основний обробіток, агрегатування важких знарядь
Універсально-просапний трактор	МТЗ-82.1, МТЗ-1221	добрива, сівба, догляд, обприскування
Розроблений щілювач	робоча глибина 45-50 см	руйнування підорного ущільнення і накопичення вологи
Сівалка точного висіву	8-рядна, міжряддя 50 см	формування рівномірної густоти посіву
Культиватор міжрядний	КРН-5,6 або аналог	розпушення міжрядь і підживлення
Обприскувач	ОП-2000 або аналог	внесення гербіцидів, фунгіцидів, інсектицидів
Бурякозбиральна машина	причіпна або самохідна	викопування та очищення коренеплодів

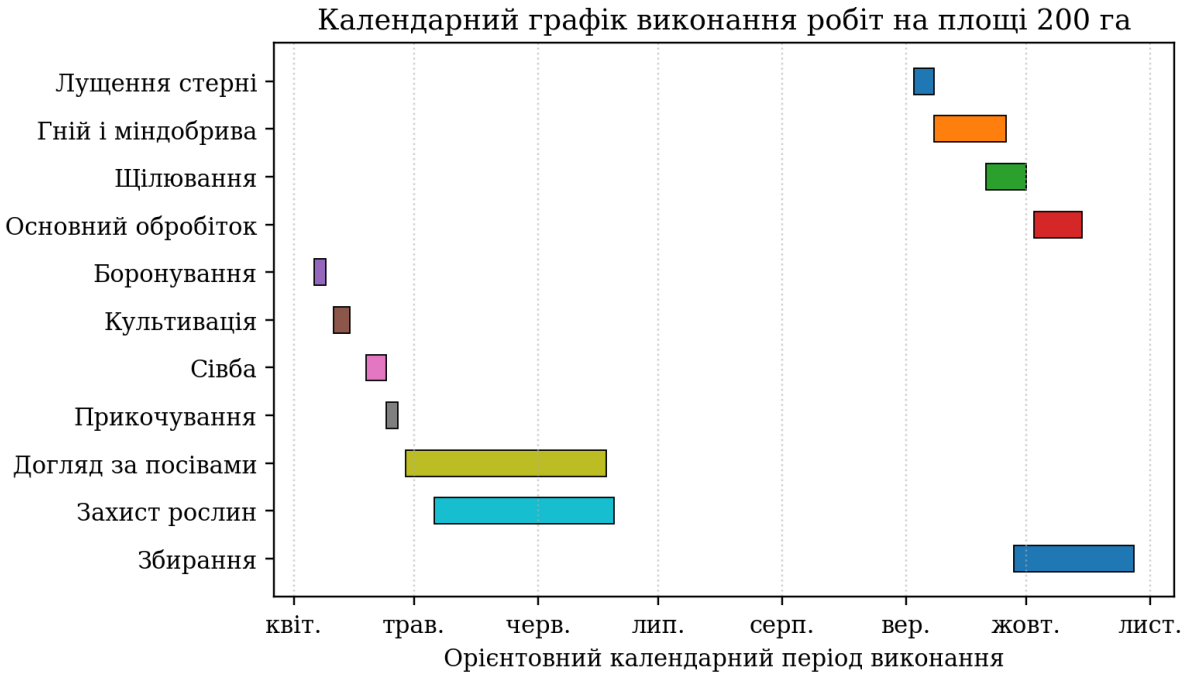


Рис. 2.1. Календарний графік виконання технологічних операцій.

Календарний графік показує, що найбільше навантаження на техніку припадає на два періоди: осінній основний обробіток і осіннє збирання. Саме в ці періоди необхідно забезпечити справність енергозасобів, своєчасне підвезення пального, чергування агрегатів і готовність транспортних засобів. Весняні роботи мають менший обсяг за кількістю машино-змін, але вони є критичними за строками, оскільки запізнення із сівбою знижує тривалість вегетаційного періоду.

2.3 Проектування системи удобрення, сівби та догляду

Кормові буряки належать до культур з високою потребою в поживних речовинах. У проектній технології прийнято комбіновану систему удобрення: органічні добрива під основний обробіток, фосфорно-калійне живлення восени та азотне живлення перед сівбою і під час міжрядного обробітку. Остаточні норми необхідно уточнювати за результатами агрохімічного обстеження поля, однак для технологічної карти прийняті орієнтовні норми N90P60K120 та 40 т/га гною.

За площі 200 га потреба в органічних добривах становить 8000 т. Внесення такої маси є однією з найбільш трудомістких операцій, тому її доцільно організовувати потоковим способом: навантажувач працює на майданчику зберігання гною, розкидачі виконують внесення на полі, а транспорт забезпечує безперервне підвезення. Нерівномірність розподілення гною небажана, оскільки вона призводить до строкатості посівів і ускладнює рівномірне формування коренеплодів.

Для сівби прийнято ширину міжрядь 50 см. Така схема забезпечує можливість механізованого міжрядного обробітку та придатна для використання звичайних бурякових або овочевих сівалок точного висіву. Густота висіву 100-110 тис. насінин/га дозволяє отримати після польової схожості та природного випадання орієнтовно 85-95 тис. рослин/га, що є достатнім для формування високої врожайності коренеплодів.

Таблиця 2.4 – Орієнтовна потреба в матеріалах

Матеріал	Норма	Потреба на 200 га	Особливість використання
Гній	40 т/га	8000 т	вноситься восени
Азотні добрива	90 кг д.р./га	18,0 т д.р.	60 кг до сівби + 30 кг у підживлення
Фосфорні добрива	60 кг д.р./га	12,0 т д.р.	під основний обробіток
Калійні добрива	120 кг д.р./га	24,0 т д.р.	під основний обробіток
Насіння	100-110 тис. шт./га	20-22 млн шт.	сівалка точного висіву
Робоча рідина для обприскування	200-300 л/га	40-60 м³ на одну обробку	залежно від препарату і фази розвитку

Після сівби поле прикочують кільчасто-шпоровими котками, що забезпечує кращий контакт насіння з ґрунтом і вирівнює поверхню поля. Надалі проводять досходове боронування, гербіцидний захист і два міжрядні обробітки. Перший міжрядний обробіток виконується на невелику глибину для руйнування ґрунтової кірки та знищення бур'янів, другий поєднується з підживленням і глибшим розпушенням міжрядь.

Застосування систем паралельного водіння, маркерів рядків, GPS-навігації або RTK-навігації дає змогу зменшити перекриття під час внесення добрив і обприскування, зберегти міжряддя під час культивацій та підвищити якість виконання операцій у нічний час або за зниженої видимості. Для кормових буряків, які вирощуються широкорядним способом, точність повторного заходу агрегату в рядки має особливо велике значення.

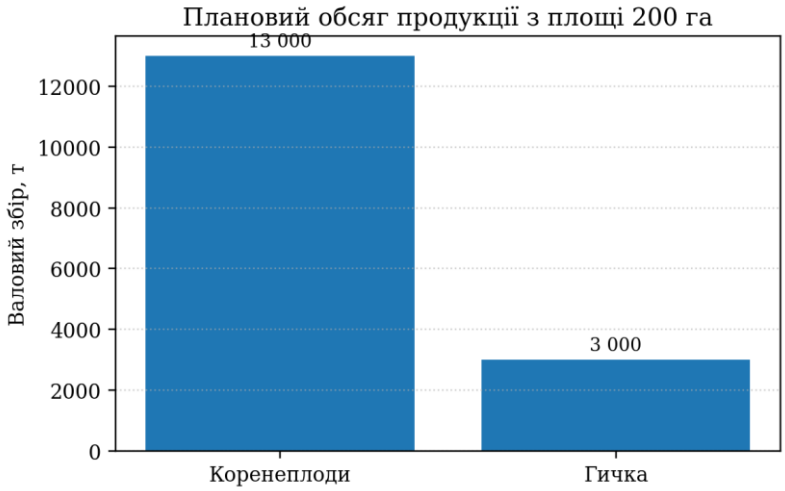


Рис. 2.2. Плановий обсяг продукції з площі 200 га.

2.4 Методика розрахунку технологічної карти

Технологічна карта є основним планово-розрахунковим документом, який визначає перелік операцій, строки їх виконання, потребу в агрегатах, робочій силі та пальному. Для площі 200 га технологічна карта повинна враховувати як польові операції, так і логістику продукції, оскільки плановий валовий збір коренеплодів становить 13 000 т.

Змінну продуктивність агрегату для польових операцій можна визначити за формулою:

$$W_{зм} = 0{,}1 \cdot B \cdot V \cdot T_{зм} \cdot \tau, \text{ га/зм}, \quad (2.1)$$

де B – робоча ширина захвату, м; V – робоча швидкість, км/год; $T_{зм}$ – тривалість зміни, год; τ – коефіцієнт використання часу зміни. Для проектного розрахунку прийнято тривалість зміни 7 год, а коефіцієнт використання часу зміни 0,70-0,80 залежно від складності операції.

Кількість машино-змін визначають за залежністю:

$$N_{зм} = Q / W_{зм}, \quad (2.2)$$

де Q – обсяг робіт у гектарах або тоннах, $W_{зм}$ – змінна продуктивність агрегату. Потребу в агрегатах на виконання операції у встановлений агротехнічний строк визначають за формулою:

Для розробленого щілювача прийнято робочу ширину 2,1 м, швидкість руху 8 км/год, коефіцієнт використання часу зміни 0,75. Тоді змінна продуктивність становить: Wзм = 0,1 · 2,1 · 8 · 7 · 0,75 = 8,82 га/зм. Для площі 200 га потрібно 200 / 8,82 = 22,7 машино-зміни. За агротехнічного строку 10 днів доцільно мати 3 агрегати або виконувати роботу у подовженому режимі двома агрегатами.

2.5 Розрахунок технологічної карти на площі 200 га

Результати розрахунку технологічної карти наведено в табл. 2.5. Для зручності розрахунку операції згруповано за технологічними етапами, але їх розміщено у фактичній послідовності виконання протягом виробничого циклу.

Таблиця 2.5 – Технологічна карта вирощування кормових буряків на площі 200 га

№	Операція	Од.	Обсяг	Агрегат	Wзм	Днів	Змін	Агр.	Праця	Паливо, л
1	Лущення стерні після попередника	га	200	ХТЗ-17221 + дискова борона 4,2 м	28.0	5	7.1	2	7.1	1700
2	Внесення гною	т	8000	МТЗ-1221 + РОУ-6; навантажувач ПФ-0,75	480.0	18	16.7	1	50.0	4400
3	Внесення мінеральних добрив восени	га	200	МТЗ-82.1 + РУМ-5	55.0	4	3.6	1	3.6	400
4	Глибоке щілювання розробленим щілювачем	га	200	ХТЗ-17221 + розроблений щілювач ґрунту	8.8	10	22.7	3	22.7	3600
5	Основний обробіток ґрунту	га	200	Т-150К + ПЛН-5-35	8.5	12	23.5	2	23.5	4800
6	Ранньовесняне боронування	га	200	МТЗ-82.1 + СГ-21 + БЗСС-1,0	75.0	3	2.7	1	2.7	600
7	Передпосівна культивація	га	200	МТЗ-1221 + КПС-4 + коток	28.0	4	7.1	2	7.1	1300
8	Стартове внесення азоту	га	200	МТЗ-82.1 + РУМ-5	55.0	3	3.6	2	3.6	400
9	Точна сівба кормових буряків	га	200	МТЗ-82.1 + сівалка точного висіву 8 рядків	22.0	5	9.1	2	18.2	1040
10	Післяпосівне прикочування	га	200	МТЗ-82.1 + ЗККШ-6	45.0	3	4.4	2	4.4	600
11	Досходове боронування	га	200	МТЗ-82.1 + СГ-21 + легкі борони	70.0	2	2.9	2	2.9	560
12	Обприскування гербіцидом	га	200	МТЗ-82.1 + ОП-2000	80.0	2	2.5	2	2.5	340
13	Міжрядний обробіток I	га	200	МТЗ-82.1 + КРН-5,6	32.0	4	6.2	2	6.2	1000
14	Міжрядний обробіток II з підживленням	га	200	МТЗ-82.1 + КРН-5,6 + туковисівні апарати	28.0	4	7.1	2	7.1	1200
15	Обприскування від хвороб і шкідників	га	200	МТЗ-82.1 + ОП-2000	80.0	2	2.5	2	2.5	360
16	Зрізування та подрібнення гички	га	200	МТЗ-1221 + гичкозбиральна машина	12.0	10	16.7	2	16.7	1800
17	Викопування коренеплодів	га	200	самохідний або причіпний бурякозбиральний комбайн	10.0	12	20.0	2	40.0	3000
18	Транспортування коренеплодів до місця зберігання	т	13000	тракторні причепи 2ПТС-6 / автомобілі-самоскиди	520.0	18	25.0	2	50.0	5850
19	Формування кагатів та укриття	т	13000	МТЗ-82.1 + фронтальний навантажувач	650.0	8	20.0	3	60.0	2340

За результатами розрахунку сумарна потреба становить 203.6 машино-зміни, 331.0 люд.-зміни та 35290 л пального. У перерахунку на 1 га це становить 1.66 люд.-зм/га і 176.4 л/га з урахуванням транспортування та кагатування коренеплодів.

2.6 Аналіз результатів технологічної карти

Розрахунок показує, що найбільшу частку у витратах пального формують операції, пов'язані з основним обробітком ґрунту, внесенням органічних добрив, збиранням і транспортуванням продукції. Це закономірно, оскільки кормові буряки мають велику масу врожаю, а для формування коренеплодів потрібен глибокий розпушений шар ґрунту.

Таблиця 2.6 – Зведені показники технологічної карти

Група операцій	Машино-змін	Люд.-змін	Паливо, л	Частка пального, %
Осінній обробіток	53.4	53.4	10100	28.6
Удобрення	23.9	57.3	5200	14.7
Весняний обробіток	9.8	9.8	1900	5.4
Сівба	13.5	22.6	1640	4.6
Догляд	18.8	18.8	3100	8.8
Захист	2.5	2.5	360	1.0
Збирання	61.7	106.7	10650	30.2
Зберігання	20.0	60.0	2340	6.6
Разом	203.6	331.0	35290	100,0

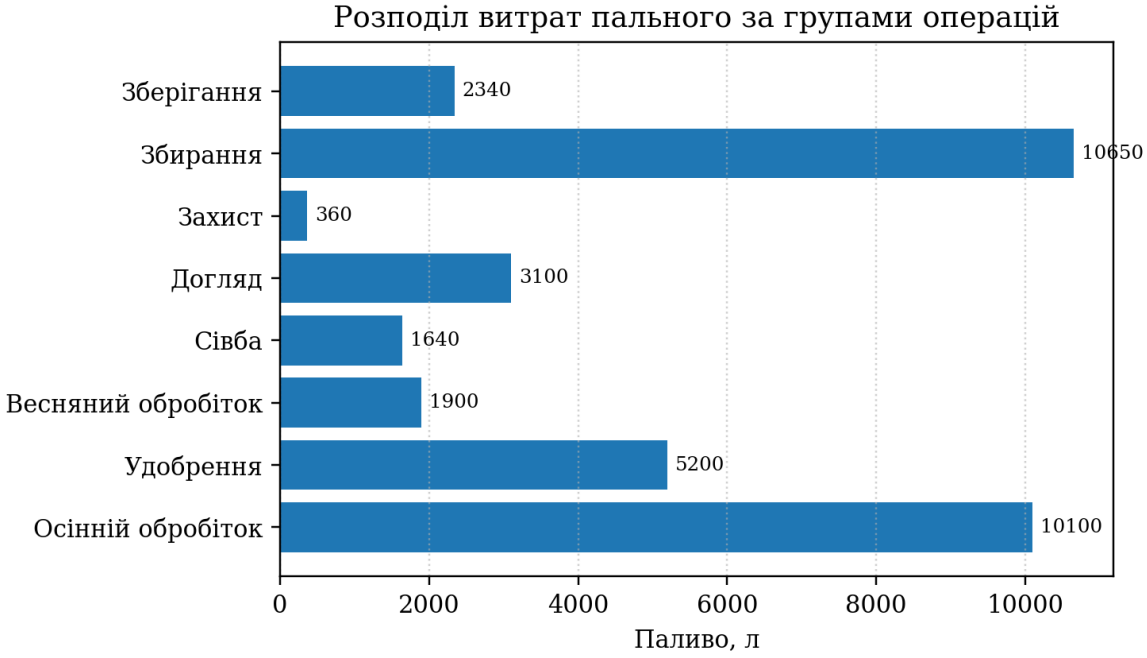


Рис. 2.3. Розподіл витрат пального за групами операцій.

З графіка видно, що найбільш енергоємною є група операцій збирання, до якої входить викопування коренеплодів, транспортування та формування кагатів. Значні витрати також припадають на осінній обробіток, тому модернізація щілювача має не лише агротехнічне, а й енергетичне значення. Використання робочого органа з різанням із ковзанням і переривчастим

утворенням щілин дає можливість зменшити опір робочого процесу порівняно з важкими суцільними розпушувачами.



Рис. 2.4. Операції з найбільшою потребою у машино-змінах.

Найбільш тривалими за кількістю машино-змін є транспортування коренеплодів, внесення органічних добрив, щілювання, викопування і формування кагатів. Тому під час практичної організації робіт слід заздалегідь визначити маршрути транспорту, місця тимчасового складування, схему руху агрегатів на полі та порядок обслуговування бурякозбиральної машини.

2.7 Включення розробленого щілювача у технологію

Розроблений щілювач є спеціалізованим ґрунтообробним знаряддям, яке включається до осіннього комплексу робіт після внесення добрив і перед основним обробітком або замість частини глибокого розпушення залежно від стану поля. Його призначення полягає у формуванні глибоких щілин у підорному горизонті без інтенсивного перемішування верхнього шару.

У проектній технологічній карті щілювання виконується на всій площі 200 га. За прийнятої змінної продуктивності 8,8 га/зм на операцію необхідно 22,7 машино-зміни. Якщо роботу планується завершити за 10 днів, мінімальна потреба становить 3 агрегати за однозмінної роботи або 2

агрегати за подовженого робочого дня. Для зменшення буксування трактора операцію бажано виконувати за оптимальної вологості ґрунту, коли робочі органи розкривають щілини без значного налипання.

Агротехнічний ефект щілювання полягає у збільшенні водопроникності ґрунту, зменшенні стоку води, руйнуванні ущільненого шару та поліпшенні умов аерації. Для кормових буряків це сприяє формуванню більш глибокої і рівномірної кореневої системи, що особливо важливо у роки з нерівномірним випаданням опадів. Крім того, щілювання може бути використане як протиерозійний прийом на полях зі схилом, якщо щілини розміщувати впоперек напряму стоку.

Таблиця 2.7 – Параметри застосування розробленого щілювача

Параметр	Значення	Пояснення
Робоча глибина	45-50 см	забезпечує руйнування підорного ущільнення
Прийнята ширина захвату	2,1 м	три робочі секції з міжщілинною відстанню 0,70 м
Робоча швидкість	8 км/год	узгоджена з розрахунками руху робочого органа
Змінна продуктивність	8,8 га/зм	за 7-годинної зміни та $\tau = 0,75$
Питома витрата пального	18 л/га	прийнято для глибокого розпушення
Потреба на 200 га	22,7 машино-зміни	за 10 днів потрібно 3 агрегати або подовжений режим

2.8 Автоматизація та перспектива роботизації проектної технології

На першому етапі автоматизація проектної технології може бути реалізована без повної заміни традиційних агрегатів. Найбільш доступними рішеннями є GPS-навігація, контроль перекриттів при обприскуванні, автоматичне відключення секцій сівалки та обприскувача, електронний облік виконаних робіт, датчики контролю висіву і карти-завдання для диференційованого внесення добрив.

Поєднання розробленого щілювача з цифровими системами також має перспективу. Наприклад, щілювання можна виконувати за картою

ущільнення ґрунту, сформованою на основі даних пенетрометра, супутникового моніторингу або врожайності попередніх років. У такому разі глибоке розпушення виконуватиметься не суцільно, а лише в зонах ущільнення, що дасть змогу скоротити витрати пального і зменшити зайві проходи техніки.

Таблиця 2.8 – Напрями автоматизації та роботизації технології

Засіб автоматизації	Операція	Очікуваний ефект
RTK-навігація тракторів	сівба, культивація, обприскування	зменшення перекриттів, точний рух по міжряддях
Датчики висіву	сівба	контроль пропусків, двійників і стабільності роботи висівних апаратів
Автоматичне відключення секцій	сівба, обприскування	економія насіння і ЗЗР на клинах та розворотних смугах
Роботизоване прополювання	догляд за посівами	зменшення гербіцидного навантаження і ручної праці
Точкове обприскування	захист рослин	обробка лише бур'янів або уражених ділянок
Карти ущільнення ґрунту	щілювання	диференційоване використання глибокого розпушення

Висновок по розділу

У другому розділі спроектовано технологію вирощування кормових буряків на площі 200 га з урахуванням використання розробленого щілювача ґрунту. Запропонована технологія передбачає післязбиральне лущення стерні, внесення органічних і мінеральних добрив, глибоке щілювання, основний обробіток, весняне закриття вологи, передпосівну культивацію, точну сівбу, механізований догляд, хімічний захист, збирання, транспортування та кагатування коренеплодів.

Розрахунок технологічної карти показав, що для виконання робіт потрібно 203.6 машино-зміни, 331.0 люд.-зміни та 35290 л пального. Найбільше навантаження припадає на збирання, транспортування, внесення органічних добрив і глибокий осінній обробіток. Включення розробленого щілювача забезпечує поліпшення водно-повітряного режиму ґрунту, руйнування плужної підошви і створення кращих умов для розвитку коренеплодів.

Перспективним напрямом удосконалення технології є поєднання традиційної механізації з цифровими системами керування: GPS-навігацією, датчиками контролю висіву, автоматичним відключенням секцій, картами-завданнями, роботизованим прополюванням і точковим обприскуванням. Такий підхід дозволить підвищити точність операцій, скоротити витрати матеріалів і зменшити негативний вплив на ґрунт.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЩІЛЮВАЧА ҐРУНТУ

3.1 Огляд конструкцій машин для щілювання та глибокого розпушування ґрунту

У технології вирощування кормових буряків якісний обробіток ґрунту має вирішальне значення, оскільки культура формує потужний коренеплід і потребує добре розпушеного орного та підорного шарів. Ущільнення, наявність «плужної підошви», слабка водопроникність і недостатня аерація ґрунтового профілю обмежують розвиток кореневої системи, погіршують нагромадження вологи та знижують ефективність роботи всього комплексу машин. Саме тому при підготовці ґрунту до вирощування кормових буряків доцільно застосовувати щілювачі й розпушувачі, які руйнують ущільнений горизонт без повного перевертання скиби.

Щілювання може виконуватися як самостійна операція або поєднуватися з плоскорізним, смуговим чи глибоким безвідвальним обробітком. Основне призначення таких знарядь полягає у створенні вертикальних або похилих каналів у ґрунті, через які вода краще проникає у нижні горизонти, зменшується поверхневий стік, поліпшується повітряний режим і знижується небезпека водної ерозії. Для просапних культур, зокрема кормових буряків, це особливо важливо на важких та ущільнених ґрунтах.

Одним із поширених знарядь є плоскоріз-щілювач ПЩН-2,5М. Його застосовують для основного плоскорізного обробітку на глибину 16...22 см із одночасним розпушуванням глибших шарів до 35 см. Машина може працювати на полях із помірною кількістю рослинних решток, у тому числі на схилових землях, де необхідно поєднувати обробіток із ґрунтозахисними заходами. Знаряддя агрегатується з тракторами тягового класу 3.

Конструкція ПЩН-2,5М є комбінованою. У ній поєднано кілька робочих процесів: підрізання шару плоскорізними лапами, локальне глибоке

розпушування та щілювання. До основних складових належать рама, начіпний пристрій, плоскорізні та розпушувальні лапи, дисковий подрібнювач, коток і опорні колеса. Рама виконана зварною і складається з основної та додаткової частин. Додаткова частина, на якій установлено дисковий подрібнювач, з'єднується шарнірно, що поліпшує копіювання поверхні поля.

Важливою особливістю цієї машини є можливість регулювання положення робочих органів. Відстань між стояками плоскорізних лап становить близько 1000 мм, а між розпушувальними лапами - понад 500 мм. Таке компонування збільшує пропускну здатність агрегату, зменшує ймовірність забивання рослинними рештками та дає змогу використовувати машину на забур'янених агрофонах. Завдяки змінній схемі розміщення лап ПЩН-2,5М можна адаптувати до різних ґрунтових умов і систем обробітку.

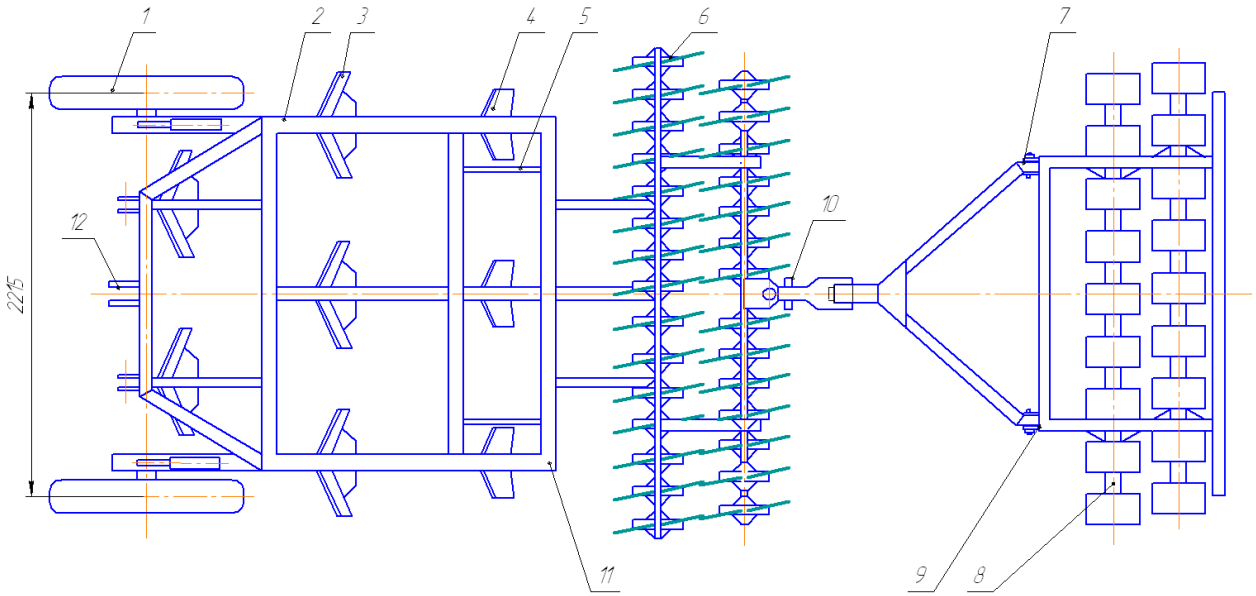


Рис. 3.1. Плоскоріз-щілювач начіпний ПЩН-2,5М.

Іншим представником цієї групи машин є щілювач-розпушувач ЩРП-3-70. Його використовують для щілювання зябу, посівів озимих культур, сінокосів і пасовищ, а також для смугового розпушування з метою руйнування ущільненого підорного шару. Знаряддя поліпшує водно-повітряний режим, сприяє переведенню поверхневого стоку у внутрішньоґрунтовий і допомагає запобігати розвитку ерозійних процесів. Під час щілювання культур суцільної сівби робоча глибина становить 30...50

см, а при обробітку зябу - 40...50 см. Для роботи потрібен трактор тягового класу 3.

ЩРП-3-70 складається з рами, начіпного механізму, опорних коліс, розпушувальних і щілювальних лап, дискових ножів та змінних доліт. Стояк щілювального органа виготовляють із товстолистової сталі. До нього приєднують долото шириною близько 60 мм. Для роботи по посівах доцільний малий кут різання, оскільки він зменшує піднімання ґрунту та знижує пошкодження кореневої системи рослин. Для щілювання зябу застосовують інший варіант робочого органа з більш винесеним вперед долотом і більшим кутом його встановлення.

Перед кожною лапою встановлюється дисковий ніж діаметром близько 400 мм. Він розрізає рослинні рештки й корені, запобігає їх намотуванню на стояки та стабілізує роботу агрегату. Глибина ходу дискового ножа становить 10...15 см і регулюється переставлянням стояка по висоті. Відстань між щілювальними лапами може змінюватися у межах 70, 90, 120 і 140 см, а колія опорних коліс - залежно від умов роботи.

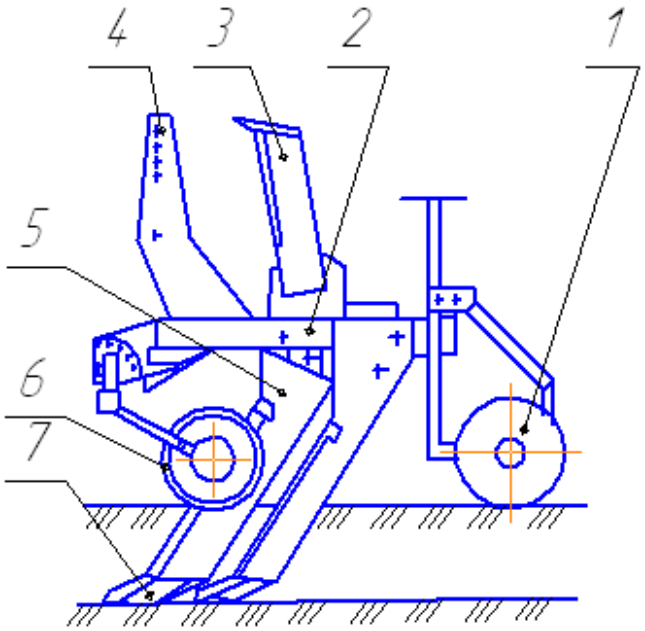


Рис. 3.2. Щілювач-розпушувач ґрунту ЩРП-3-70.

Щілювач-розпушувач ЩРП-5-70 за призначенням близький до ЩРП-3-70, однак має більшу ширину захвату і розрахований на агрегатування з енергетично потужнішими тракторами тягового класу 5. Машина

використовується для суцільного обробітку з максимальним збереженням стерні та інших післяжнивних решток. За потреби вона може працювати як плоскоріз або як щілювач. Головна відмінність полягає у кількості робочих органів: замість трьох плоскорізних лап установлено п’ять, що підвищує продуктивність, але водночас збільшує тяговий опір.

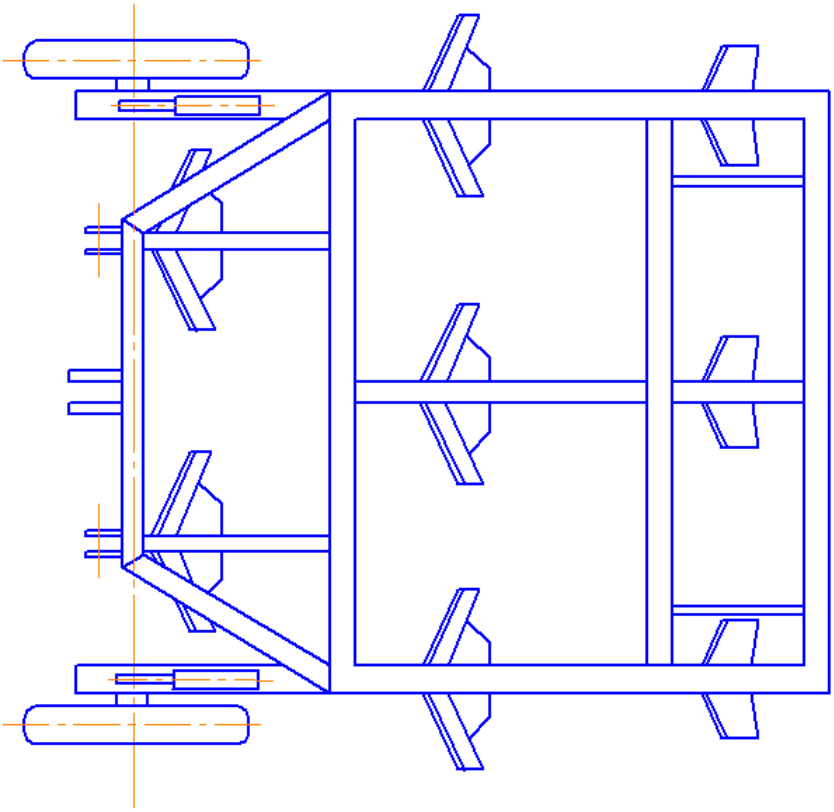


Рис. 3.3. Щілювач-розпушувач ґрунту ЩРП-5-70

Порівняльна характеристика розглянутих машин показує, що вони забезпечують необхідний агротехнічний ефект, однак мають значну металомісткість і потребують достатньо великих тягових зусиль. Для господарств, які вирощують кормові буряки, це означає підвищені витрати палива та обмеження щодо вибору трактора. Узагальнені особливості машин наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Узагальнена характеристика базових щілювачів і розпушувачів

Машина	Основне призначення	Робоча глибина	Особливості конструкції
ПЩН-2,5М	Плоскорізний обробіток із глибоким розпушуванням	16...22 см; розпушування до 35 см	Плоскорізні лапи, розпушувальні лапи, дисковий подрібнювач, коток
ЩРП-3-70	Щілювання зябу, посівів, сінокосів і пасовищ	30...50 см; для зябу 40...50 см	Три робочі органи, дискові ножі, змінні долота, регульована відстань між лапами
ЩРП-5-70	Суцільний безвідвальний обробіток із щілюванням	Близька до ЩРП-3-70	П’ять лап, більша ширина захвату, агрегатування з тракторами класу 5

3.2 Обґрунтування доцільності модернізації щілювача для вирощування кормових буряків

У сучасному рослинництві дедалі більшого значення набувають технології, які дають змогу зменшити кількість проходів агрегатів полем, скоротити витрати пального та зберегти родючість ґрунту. Для кормових буряків це питання є особливо актуальним, оскільки культура потребує глибокого пухкого шару, рівномірного водозабезпечення і відсутності ущільнених прошарків на шляху росту коренеплоду. Якщо підорний горизонт не розпушений, коренева система розвивається нерівномірно, а волога після опадів або поливу використовується менш ефективно.

Традиційні щілювачі та глибокорозпушувачі загалом забезпечують належне руйнування ущільненого шару, однак їх робота супроводжується значними енергетичними витратами. Тяговий опір зростає через велику площу контакту робочих органів із ґрунтом, значну масу знарядь, а також через рублячий характер взаємодії леза з ґрунтовим середовищем. В умовах підвищення вартості енергоресурсів і необхідності раціонального використання тракторного парку це стає суттєвим недоліком.

Модернізація щілювача повинна бути спрямована не лише на забезпечення заданої глибини обробітку, а й на зниження питомих витрат енергії. Для цього доцільно перейти від суцільного руйнування ґрунтового масиву до локального формування переривчастих щілин у підорному шарі. Такі щілини достатні для накопичення вологи, відведення надлишкової води в нижні горизонти та руйнування ущільнених прошарків, але потребують меншого зусилля, ніж суцільне глибоке розпушування.

Для господарств, що вирощують кормові буряки, модернізований щілювач має забезпечити кілька технологічних результатів: поліпшити водопроникність ґрунту, зменшити небезпеку ерозії, створити сприятливі умови для росту коренеплодів, підвищити якість передпосівної підготовки і водночас не перевантажувати трактор. Отже, розроблення нового або вдосконаленого робочого органа є обґрунтованим напрямом підвищення ефективності комплексу машин.

Проаналізовані конструкції ПЩН-2,5М, ЩРП-3-70 і ЩРП-5-70 можуть бути використані як прототипи, проте для енергозберігаючої технології бажано застосувати інший принцип дії: проколювання ґрунту з подальшим різанням знизу вгору. Такий спосіб дає змогу сформувати щілини без надмірного переміщення всього шару, що зменшує опір і зберігає природну структуру ґрунту.

3.3 Конструктивно-технологічна характеристика запропонованого щілювача

Запропонований щілювач ґрунту належить до знарядь для глибокого локального обробітку. Його робочий процес ґрунтується на утворенні в підорному горизонті переривчастих порожнин у вигляді щілин. На відміну від традиційного робочого органа, який здебільшого розкриває ґрунт за рахунок прямого різання і значного піднімання шару, модернізований орган спочатку проколює ґрунт, а потім розрізає його знизу вгору. Завдяки цьому зменшується площа активного контакту з ґрунтом і знижується сила опору.

Основна перевага такого принципу дії полягає у використанні різання з ковзанням. При звичайному рублячому різанні опір значною мірою визначається нормальним тиском і міцністю ґрунту на зминання. Коли ж лезо переміщується під кутом і має можливість ковзати відносно ґрунтових частинок, сила взаємодії розкладається на нормальну та тангенціальну складові. Тангенціальна складова сприяє зсуву й розтягу частинок ґрунту, а ці види деформації потребують менших зусиль, ніж стискання та зминання.

З фізичної точки зору процес можна пояснити так: нерівності леза захоплюють частинки ґрунту, зміщують їх і створюють напруження розтягу та зсуву. Оскільки межа міцності ґрунту при розтягу й зсуві нижча, ніж при стисканні, опір робочому органу зменшується. У результаті агрегат потребує меншого тягового зусилля, а формування щілини відбувається з меншим руйнуванням поверхневого шару.

Переривчастий характер щілин має додаткову агротехнічну перевагу. Такі порожнини накопичують і затримують вологу, сприяють її проникненню в глибші горизонти, але не створюють безперервних каналів для інтенсивного стоку. Це знижує ерозійну небезпеку і поліпшує умови водозабезпечення кормових буряків у критичні фази росту. Крім того, локальне розпушування не призводить до надмірного висушування ґрунту, що важливо для посушливих періодів.

Конструктивно запропонований агрегат виконано у вигляді машини, яка під час руху перекочується по полю на робочих колесах із металевим ободом. На ободі закріплено V-подібні ножі. Машинно-тракторний агрегат складається з трактора, автозчіпки, рами, вала, опор, підшипникових вузлів, робочих коліс, V-подібних ножів, розпірок жорсткості та баластної місткості. Вал встановлюється на опорах рами з можливістю вільного обертання, а робочі колеса розміщуються відповідно до потрібної ширини захвату.

Під час руху агрегату робоче колесо перекочується по поверхні поля, а ножі почергово входять у ґрунт, проколюють його і, виходячи з нижньої частини траєкторії, формують щілину. V-подібна форма ножа забезпечує

симетричний вплив на ґрунтовий масив і сприяє різанню з ковзанням. Розпірка жорсткості підвищує стійкість ножа до згинальних навантажень, що виникають при роботі на ущільнених або пересушених ґрунтах.

Для вирощування кормових буряків така конструкція є доцільною, оскільки вона дає змогу розпушувати підорний шар без повного порушення поверхні поля. Це важливо для збереження вологи, підготовки ґрунту під подальші операції та забезпечення рівномірного розвитку коренеплодів. Регулювання кількості робочих коліс, кроку розміщення ножів і відстані між колесами дозволяє адаптувати агрегат до різної ширини міжрядь, типу ґрунту та глибини обробітку.

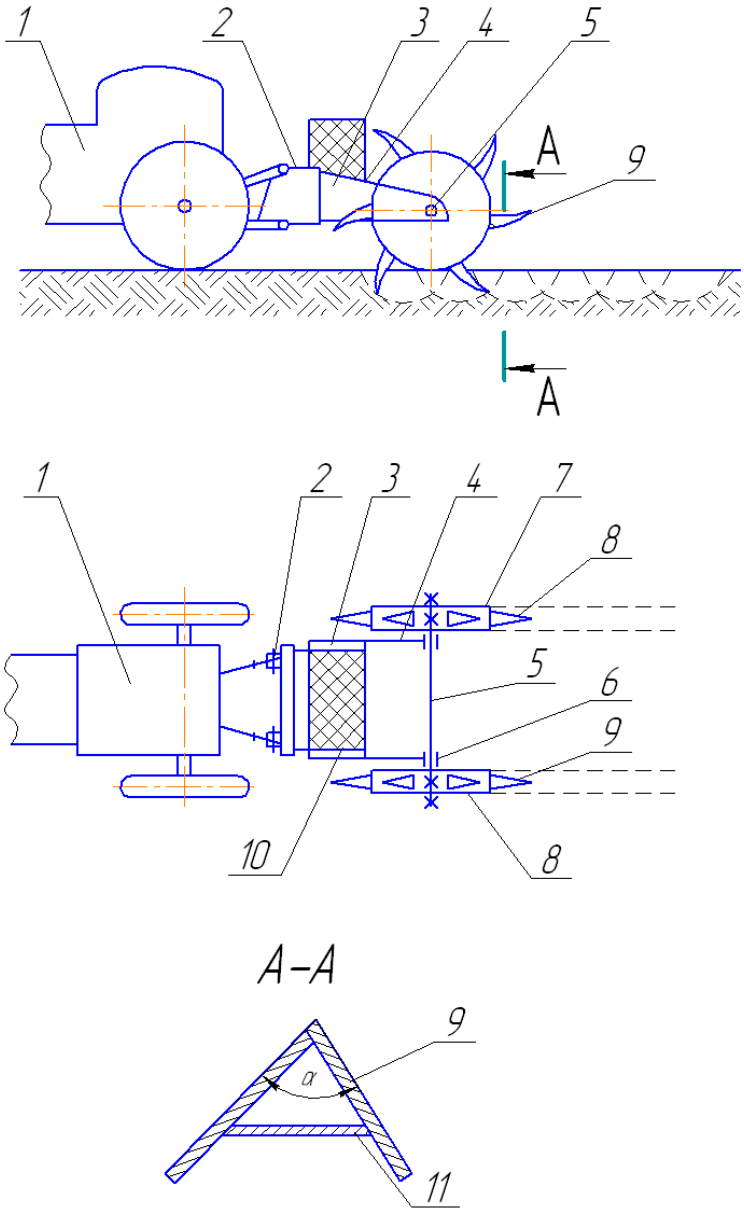


Рис. 3.4. Загальний вигляд пристрою для обробітку ґрунту

3.4 Визначення основних параметрів спроєктованого агрегату

Щілювач ґрунту належить до знарядь із підвищеними вимогами до міцності та правильного вибору кінематичних параметрів. Для кормових буряків доцільно забезпечити глибину щілювання приблизно 45...50 см, оскільки саме в цьому діапазоні руйнується ущільнений підорний шар і створюються умови для кращого проникнення вологи та розвитку кореневої системи. Водночас робочий орган не повинен надмірно виривати скибу, забиватися рослинними рештками або створювати великі нерівності на поверхні поля.

Особливістю запропонованого щілювача є те, що крайня точка ножа рухається криволінійною траєкторією. У процесі перекочування колеса в підґрунтовому шарі формується нерівна підошва з окремими гребенями. Висота таких гребенів залежить від радіуса робочого колеса, кількості ножів, кута між ними та співвідношення поступального й обертального рухів. Тому ці параметри необхідно вибирати так, щоб щілини утворювалися рівномірно, а глибина обробітку залишалася в заданих межах.

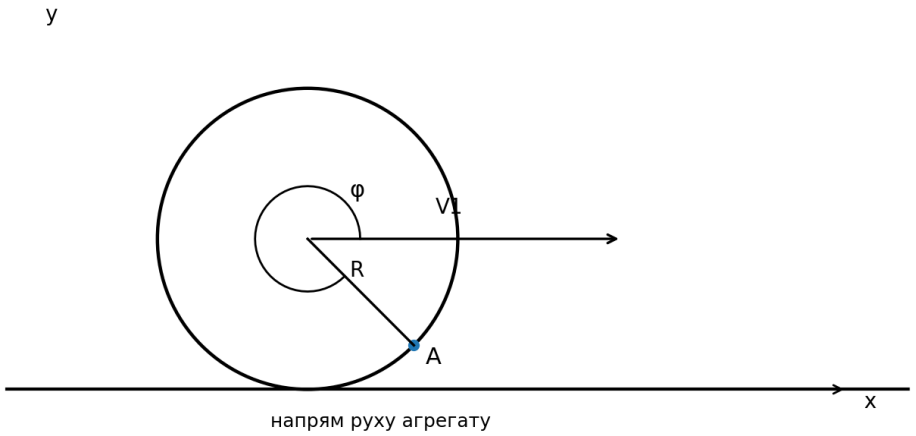


Рис. 3.5 - Схема до визначення траєкторії руху робочого органа.

Розглянемо рух крайньої точки ножа А, закріпленого на робочому колесі. За певний проміжок часу вісь колеса проходить шлях V1, а колесо повертається на кут φ. Координати точки А можна подати рівняннями:

$$x = V_1 + R \cdot \cos\varphi; \qquad y = R \cdot \sin\varphi, \tag{3.1}$$

де x, y – координати крайньої точки ножа; R – радіус робочого колеса; φ - кут повороту колеса; V_1 – шлях, пройдений віссю колеса за розглянутий проміжок часу.

На якість щілювання впливає показник кінематичного режиму. Для попереднього оцінювання його можна визначити як відношення радіуса робочого колеса до шляху, який проходить вісь за відповідний проміжок руху:

$$\lambda = R / V_1. \quad (3.2)$$

Радіус робочого колеса приймаємо з умови забезпечення необхідної глибини щілювання та недопущення виривання великих скиб. Для проєктованого агрегату приймаємо R = 0,50 м. За такого радіуса можливо досягти робочої глибини 45...50 см, що відповідає агротехнічним вимогам до глибокого розпушування під кормові буряки.

Кут між суміжними робочими органами приймаємо 30°. За повного кола 360° кількість ножів на одному робочому колесі становитиме:

$$z = 360° / 30° = 12. \quad (3.3)$$

Якщо кут між ножами збільшити, то відстань між входженнями робочих органів у ґрунт зросте, а гребенистість підошви може перевищити допустимі межі. Якщо ж кут зменшити, ножі будуть надто часто взаємодіяти з ґрунтом, що може викликати виривання скиби, забивання робочих органів і зростання опору. Отже, кут 30° можна вважати раціональним для даної конструкції.

Довжина кола робочого колеса визначається за формулою:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot R. \quad (3.4)$$

Підставивши R = 0,50 м, отримаємо:

$$L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,50 = 3,14 \text{ м}.$$

Відстань між суміжними ножами по колу становить:

$$s = L / z = 3,14 / 12 = 0,26 \text{ м}. \quad (3.5)$$

Отже, крок розміщення робочих органів по колу дорівнює приблизно 26 см. Це значення забезпечує достатню частоту формування щілин і водночас не спричиняє надмірного руйнування ґрунтового шару.

Для подальших розрахунків приймаємо робочу швидкість руху агрегату V = 8 км/год, або 8000 м/год. Частоту обертання робочого колеса визначаємо за залежністю:

$$n = V / L. \quad (3.6)$$

З урахуванням переведення швидкості у м/хв маємо:

$$n = (8000 / 3,14) / 60 = 42,5 \text{ об/хв}.$$

Для графоаналітичного визначення положення точки А приймаємо шлях осі колеса V_1 = 2,198 м, що становить 70 % довжини кола. Тоді показник кінематичного режиму дорівнює:

$$\lambda = 0,50 / 2,198 = 0,22. \quad (3.7)$$

Оскільки $\lambda < 1$, робочі органи під час входження у ґрунт сприймають значні навантаження. Це означає, що ножі, їх кріплення та розпірки необхідно виготовляти з міцного матеріалу, здатного витримувати змінні ударні та згинальні навантаження.

Для кута повороту $\varphi = 291°$ координати крайньої точки ножа можна визначити за рівнянням (3.1):

$$x = 2,198 + 0,50 \cdot \cos 291° \approx 2,30 \text{ м}; \qquad |y| = |0,50 \cdot \sin 291°| \approx 0,46 \text{ м}.$$

Отримане значення ординати за модулем відповідає глибині близько 46 см, тобто потрапляє у прийнятий інтервал 45...50 см. Це підтверджує правильність вибору радіуса робочого колеса та схеми розміщення ножів.

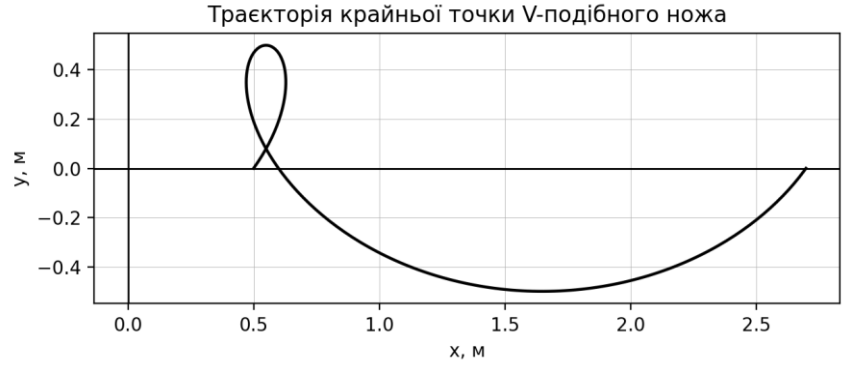


Рис. 3.6. Розрахункова траєкторія руху крайньої точки ножа

Кількість робочих коліс визначають за тяговим розрахунком із урахуванням потужності трактора, ширини захвату агрегату та питомого опору ґрунту. Відстань між колесами доцільно встановлювати за показником повноти розпушування. Чим менша відстань між суміжними робочими органами, тим більша частина ґрунтового профілю буде розпушена. Однак надмірне зближення збільшує енергомісткість і може призвести до зайвого руйнування структури ґрунту.

Глибокий безвідвальний обробіток має низку переваг порівняно з традиційною оранкою: меншу енергоємність, більшу продуктивність, можливість роботи на підвищених швидкостях, краще накопичення вологи, руйнування ущільненого підорного горизонту, поліпшення аерації та фільтрації. Для кормових буряків ці переваги проявляються у формуванні більш сприятливого середовища для розвитку коренеплодів і стабілізації врожайності.

Робочим органом модернізованого щілювача є V-подібний ніж. Раціональне значення кута α між його боковими гранями становить 20...25°. Саме в цих межах забезпечується різання з ковзанням, а не переважно рубляче руйнування ґрунту. Якщо кут буде надто великим, опір перекочуванню зросте; якщо надто малим - погіршиться міцність ножа і стійкість його роботи у важких ґрунтових умовах.

Якість щілювання залежить від кількості ножів, кута їх розміщення на колесі та взаємного положення робочих коліс по ширині захвату. Ніж взаємодіє з ґрунтом як двогранний клин, утворюючи зону сколювання та розпушування. Якісне руйнування ґрунтового масиву відбувається за умови, що задана глибина обробітку не перевищує критичну глибину різання.

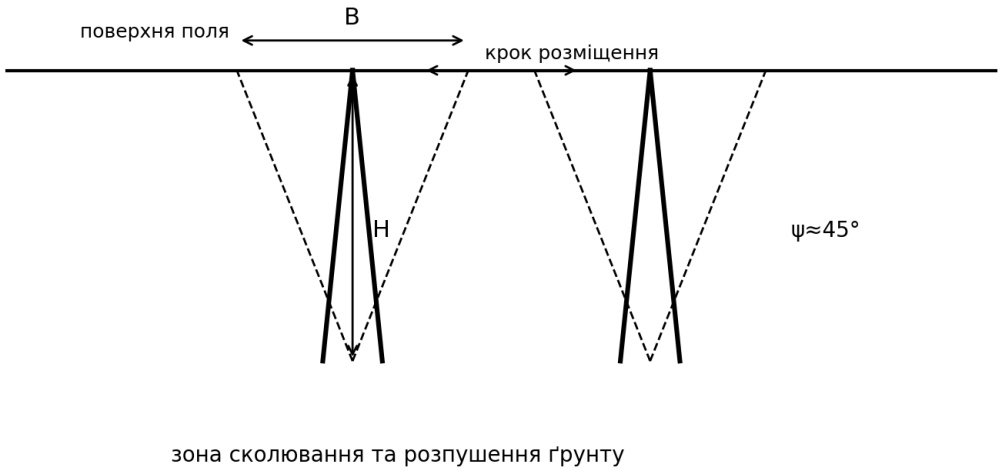


Рис. 3.7. Схема зони деформації ґрунту робочими органами щілювача.

Одним із показників, що характеризує повноту обробітку, є коефіцієнт повноти розпушування. Його можна подати як відношення площі поперечного перерізу розпушеної зони до загальної площі, яка припадає на відповідну ділянку обробітку:

$$K_p = F_p / F_з, \quad (3.8)$$

де K_p – коефіцієнт повноти розпушування; F_p – площа розпушеної зони; $F_з$ – загальна площа поперечного перерізу, що аналізується.

Аналіз зон розпушування показує, що при куті сколювання ґрунту $\psi \approx 45°$, умові $B \leq 2H$ і $H \leq Hкр$ висота нерозпушених підґрунтових гребенів може бути прийнята $h2 = 0,5B$, а товщина суцільно розпушеного верхнього шару $h = H - 0,5B$. Таким чином, змінюючи відстань B між робочими колесами, можна керувати характером обробітку.

Якщо $B \geq 2H$, агрегат працює переважно як щілювач і формує окремі глибокі канали або кротоподібні порожнини. Якщо $B < 2H$, зони деформації сусідніх робочих органів частково перекриваються, що забезпечує основний безвідвальний обробіток із заданою товщиною суцільно розпушеного верхнього шару. У поєднанні з попередніми операціями це дає змогу ефективно розпушувати підорний горизонт без значного перемішування ґрунту.

Отже, для модернізованого щілювача доцільно прийняти радіус робочого колеса 0,50 м, 12 V-подібних ножів на колесі, кут між суміжними ножами 30° і кут робочого ножа α = 20...25°. Такі параметри забезпечують глибину щілювання близько 45...50 см, формування переривчастих щілин, зниження енергомісткості процесу та створення сприятливих умов для вирощування кормових буряків.

Висновок до розділу 3

У розділі проаналізовано конструкції поширених щілювачів і глибокорозпушувачів, визначено їх переваги та обмеження при використанні в технології вирощування кормових буряків. Обґрунтовано необхідність модернізації щілювача на основі застосування робочих коліс із V-подібними ножами, які формують переривчасті щілини у підорному шарі. Виконані розрахунки підтверджують доцільність прийняття радіуса колеса 0,50 м, 12 ножів на одному колесі та кута між ними 30°. Запропонована конструкція дає змогу зменшити опір ґрунту, поліпшити накопичення вологи, знизити ерозійну небезпеку та підвищити якість підготовки ґрунту під кормові буряки.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

Техніко-економічне обґрунтування є завершальним етапом оцінювання проектних рішень, оскільки воно показує не лише агротехнічну доцільність запропонованої технології, а й її вплив на виробничі витрати, собівартість продукції, прибуток і строк окупності модернізованого знаряддя. У даному проекті економічна оцінка виконана для технології вирощування кормових буряків на площі 200 га з обов'язковим включенням операції глибокого щілювання розробленим щілювачем ґрунту.

Основна ідея проектного рішення полягає у тому, що додаткові витрати на глибоке щілювання мають компенсуватися поліпшенням водно-повітряного режиму ґрунту, руйнуванням підорного ущільнення, кращим розвитком кореневої системи кормових буряків і збільшенням урожайності. Тому розрахунок виконано за порівняльною схемою: базовий варіант передбачає традиційну технологію без спеціального щілювання, а проектний варіант - технологію з використанням розробленого щілювача.

4.1 Вихідні дані та методика економічної оцінки

Для виконання розрахунків використано показники технологічної карти, розробленої у другому розділі. Планова врожайність у проектному варіанті прийнята 65 т/га, що забезпечує валовий збір 13 000 т коренеплодів. Для базового варіанта прийнято урожайність 61 т/га, оскільки відсутність глибокого щілювання знижує ефективність накопичення вологи і не забезпечує повного руйнування ущільненого підорного горизонту. Розрахункова вартість коренеплодів визначена як кормова оцінка продукції, тобто її умовна замінна вартість у кормовому балансі господарства.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Прийняте значення
Площа вирощування	F	200 га
Урожайність у базовому варіанті	Уб	61,0 т/га
Урожайність у проектному варіанті	Уп	65,0 т/га
Додатковий урожай від щілювання	ΔУ	4,0 т/га
Розрахункова кормова вартість коренеплодів	Ц	850 грн/т
Ціна дизельного пального	Цп	58 грн/л
Оплата однієї люд.-зміни з нарахуваннями	Сзм	750 грн
Капітальні витрати на модернізований щілювач	К	280 000 грн

Економічну ефективність проектних рішень оцінювали за загальноприйнятими показниками: загальна сума виробничих витрат, витрати на 1 га, собівартість 1 т коренеплодів, прибуток, рентабельність, річний економічний ефект і строк окупності капітальних вкладень. Основні залежності для розрахунку мають такий вигляд:

Валовий збір продукції: $Q = F \cdot У$, де F - площа посіву, га; У - урожайність, т/га.

Вартість валової продукції: $ВП = Q \cdot Ц$, де Ц - розрахункова вартість 1 т коренеплодів, грн/т.

Собівартість 1 т продукції: $С1т = Сзаг / Q$, де Сзаг - загальні виробничі витрати, грн.

Річний економічний ефект: $Ер = (ВПп - ВПб) - (Сп - Сб)$, де індекси «п» і «б» означають проектний та базовий варіанти.

Строк окупності: $Ток = К / Ер$, де К - капітальні витрати на виготовлення або модернізацію щілювача, грн.

4.2 Розрахунок виробничих витрат проектної технології

До складу виробничих витрат включено матеріальні витрати, витрати на пальне і мастильні матеріали, оплату праці, технічне обслуговування, ремонт, амортизаційні відрахування та інші виробничі витрати. Матеріальні витрати сформовані з урахуванням потреби в насінні, органічних і

мінеральних добривах, засобах захисту рослин. Витрати на пальне визначені за сумарною потребою технологічної карти - 35 290 л.

Таблиця 4.2 – Структура виробничих витрат проектної технології

Стаття витрат	Розрахунок	Сума, тис. грн	Частка, %
Насіння	прийнято за нормами проекту	700,0	6,7
Органічні добрива	прийнято за нормами проекту	2 000,0	19,2
Мінеральні добрива	прийнято за нормами проекту	2 360,0	22,7
Засоби захисту рослин	прийнято за нормами проекту	560,0	5,4
Пальне	35 290 л × 58 грн/л	2 046,8	19,7
Мастильні матеріали	10% від вартості пального	204,7	2,0
Оплата праці з нарахуваннями	331,0 люд.-зм × 750 грн	248,2	2,4
Технічне обслуговування і ремонт	прийнято за нормами проекту	850,0	8,2
Амортизація та використання техніки	прийнято за нормами проекту	1 180,0	11,3
Інші виробничі витрати	прийнято за нормами проекту	250,0	2,4
Разом	-	10 399,8	100,0

Загальна сума витрат за проектною технологією становить 10 399,8 тис. грн, або 51 998,8 грн/га. За валового збору 13 000 т собівартість 1 т коренеплодів дорівнює 800,0 грн/т. Найбільшу питому вагу займають добрива, пальне, амортизація та технічне обслуговування машин, що є характерним для вирощування кормових буряків як високоврожайної просапної культури з великим обсягом транспортних робіт.



Рис. 4.1. Структура витрат проектної технології вирощування кормових буряків

4.3 Економічна оцінка застосування розробленого щілювача

Розроблений щілювач у технологічній карті використовується для глибокого розпушення підорного горизонту на глибину 45-50 см. З технологічного погляду ця операція збільшує кількість проходів агрегатів по полю і потребує додаткових витрат пального та праці. Водночас вона створює умови для кращого засвоєння осінньо-зимової вологи, зменшення поверхневого стоку та розвитку кореневої системи, що є основою отримання додаткового врожаю.

Таблиця 4.3 – Економічна оцінка операції щілювання

Показник	Одиниця	Значення
Площа виконання щілювання	га	200
Потреба в машино-змінах	зм	22,7
Витрати пального на щілювання	л	3 600
Вартість пального для щілювання	тис. грн	208,8
Мастильні матеріали	тис. грн	20,9
Оплата праці на операції	тис. грн	17,0
ТО, ремонт і використання знаряддя	тис. грн	60,0
Загальні додаткові витрати	тис. грн	306,7
Додатковий валовий збір	т	800
Вартість додаткової продукції	тис. грн	680,0
Чистий річний ефект від щілювання	тис. грн	373,3

Розрахунок показує, що додаткові витрати на виконання щілювання становлять 306,7 тис. грн. За рахунок підвищення урожайності на 4,0 т/га господарство отримує додатково 800 т коренеплодів. Їх розрахункова кормова вартість становить 680,0 тис. грн. Отже, чистий ефект саме від включення щілювача в технологію дорівнює 373,3 тис. грн.

4.4 Порівняльний аналіз базового і проектного варіантів

Для визначення загальної доцільності проектного рішення виконано порівняння базової та проектної технологій. У базовому варіанті не передбачено використання спеціального щілювача, тому виробничі витрати дещо менші, але валовий збір також нижчий. У проектному варіанті витрати

зростають через додаткову операцію, однак збільшення урожайності забезпечує вищу вартість валової продукції та більший прибуток.

Таблиця 4.4 – Порівняння економічних показників базового і проектного варіантів

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Відхилення
Урожайність, т/га	61,0	65,0	+4,0
Валовий збір, т	12 200	13 000	+800
Вартість валової продукції, тис. грн	10 370,0	11 050,0	+680,0
Виробничі витрати, тис. грн	10 093,0	10 399,8	+306,7
Собівартість 1 т, грн	827,3	800,0	-27,3
Прибуток, тис. грн	277,0	650,2	+373,3
Рентабельність, %	2,7	6,3	+3,5

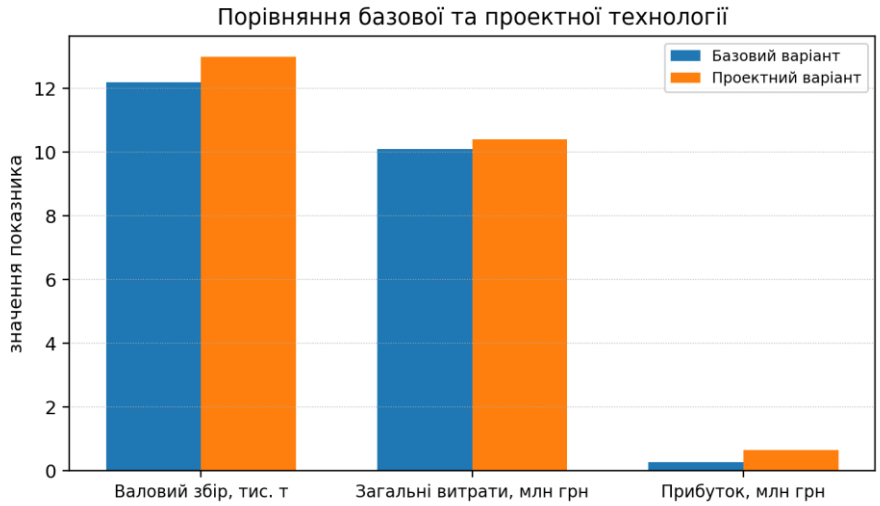


Рис. 4.2. Порівняння базової та проектної технологій за основними показниками

За проектного варіанта валовий збір коренеплодів зростає з 12 200 до 13 000 т, тобто на 800 т. Загальні виробничі витрати збільшуються на 306,7 тис. грн, однак приріст вартості валової продукції становить 680,0 тис. грн. У результаті прибуток підвищується з 277,0 до 650,2 тис. грн. Таким чином, додаткові витрати на щілювання є економічно виправданими.

4.5 Визначення річного економічного ефекту і строку окупності

Річний економічний ефект визначається як різниця між приростом вартості валової продукції та приростом виробничих витрат. Для проектної технології приріст вартості продукції дорівнює вартості додатково

отриманих 800 т коренеплодів. Приріст витрат включає пальне, мастильні матеріали, оплату праці, технічне обслуговування, ремонт і використання модернізованого щілювача.

Таблиця 4.5 – Показники економічної ефективності проектного рішення

Показник	Розрахунок	Значення
Приріст валової продукції	800 т × 850 грн/т	680,0 тис. грн
Приріст виробничих витрат	додаткові витрати на щілювання	306,7 тис. грн
Річний економічний ефект	680,0 - 306,7	373,3 тис. грн
Капітальні вкладення у щілювач	виготовлення та модернізація	280,0 тис. грн
Строк окупності	К / Ер	0,8 року

Річний економічний ефект від впровадження проектної технології становить 373,3 тис. грн. За капітальних вкладень у виготовлення та модернізацію щілювача 280,0 тис. грн строк окупності дорівнює 0,8 року. Отримане значення менше одного року, тому проектне рішення можна вважати економічно доцільним для господарства, яке щорічно вирощує кормові буряки на площі близько 200 га або може використовувати щілювач також під інші просапні та кормові культури.

Додатковою перевагою модернізованого щілювача є можливість його використання в системі ґрунтозахисного землеробства. Економічний результат у такому разі формується не тільки за рахунок прямого приросту врожаю, а й через зменшення ризику водної ерозії, кращу інфільтрацію опадів, стабілізацію урожайності у посушливі роки та раціональніше використання машинно-тракторного парку.

Висновок по розділу

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень для технології вирощування кормових буряків на площі 200 га. Розраховано структуру виробничих витрат, собівартість продукції, прибуток, рентабельність, річний економічний ефект і строк окупності модернізованого щілювача ґрунту.

Загальні витрати за проектною технологією становлять 10 399,8 тис. грн, або 51 998,8 грн/га. За планової врожайності 65,0 т/га валовий збір коренеплодів становить 13 000 т, а собівартість 1 т продукції - 800,0 грн. Порівняно з базовим варіантом проектна технологія забезпечує додатково 800 т коренеплодів і підвищує прибуток на 373,3 тис. грн.

Строк окупності капітальних вкладень у розроблений щілювач становить 0,8 року. Отже, включення щілювання в технологію вирощування кормових буряків є агротехнічно та економічно виправданим, оскільки воно покращує умови росту культури, підвищує урожайність, забезпечує приріст прибутку і може бути використане як елемент ресурсозберігаючої ґрунтообробної системи.

Практична цінність запропонованого рішення полягає також у тому, що щілювач не є вузькоспеціалізованим знаряддям лише для кормових буряків. Його можна застосовувати під кукурудзу на силос, цукрові буряки, соняшник та інші культури, які позитивно реагують на руйнування ущільненого шару ґрунту. Це підвищує річне завантаження знаряддя і додатково скорочує фактичний строк окупності.

Найбільший економічний ефект очікується у господарствах, де поля мають ознаки переущільнення, недостатню водопроникність або розміщені на схилах. У таких умовах щілювання виконує не тільки виробничу, а й ґрунтозахисну функцію, що забезпечує стабільніший урожай у роки з нерівномірним зволоженням.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування кормових буряків з модернізацією щілювача ґрунту. Актуальність теми зумовлена високою кормовою цінністю буряків, їх значним потенціалом урожайності та потребою у якісній підготовці ґрунту, достатньому вологозабезпеченні, точному висіві й високому рівні механізації технологічних операцій.

У першому розділі проаналізовано існуючі технології вирощування кормових буряків, стан механізації, автоматизації та перспективи роботизації. Встановлено, що посівні площі кормових коренеплодів в Україні скорочуються через високу трудомісткість культури, подорожчання ресурсів і нестачу спеціалізованої техніки. Водночас впровадження GPS-навігації, автоматичного керування агрегатами, електронного контролю висіву, секційного контролю обприскувачів і роботизованих систем догляду дає змогу підвищити ефективність виробництва.

У другому розділі спроєктовано технологію вирощування кормових буряків на площі 200 га та розроблено технологічну карту. До технології включено операції внесення добрив, глибокого щілювання, основного й передпосівного обробітку ґрунту, сівби, догляду за посівами, захисту рослин, збирання та транспортування коренеплодів. Застосування розробленого щілювача спрямоване на руйнування ущільненого підорного шару, покращення водопроникності ґрунту та створення кращих умов для розвитку кореневої системи. Планова урожайність становить 65 т/га, що забезпечує отримання з площі 200 га близько 13 000 т коренеплодів. Загальна потреба в дизельному пальному становить 35 290 л, а витрати праці – 331 люд.-зміну.

У третьому розділі виконано розробку конструкції щілювача ґрунту. Проаналізовано існуючі знаряддя, зокрема ПЩН-2,5М, ЩРП-3-70 та ЩРП-5-70, і встановлено, що вони забезпечують якісне глибоке розпушування, однак мають значну енергоємність. Запропоновано модернізовану конструкцію

щілювача з V-подібними ножами, встановленими на колесах із металевим ободом. Обґрунтовано основні параметри агрегату: глибину щілювання 45–50 см, радіус робочого колеса 0,5 м, кількість робочих органів на колесі 12, відстань між ними близько 0,26 м і кут ножа 20–25°. Така конструкція забезпечує різання з ковзанням, зменшує тяговий опір і покращує якість розпушування підорного шару.

У четвертому розділі проведено техніко-економічне обґрунтування проектних рішень. Встановлено, що використання модернізованого щілювача підвищує урожайність з 61 до 65 т/га, що на площі 200 га забезпечує додатково 800 т коренеплодів. Загальні виробничі витрати проектної технології становлять 10 399,8 тис. грн, або 51 998,8 грн/га, а собівартість 1 т продукції – 800 грн. Чистий річний економічний ефект від упровадження щілювача становить 373,3 тис. грн, а строк окупності капітальних вкладень – 0,8 року.

Отже, у роботі обґрунтовано технологічну, конструктивну та економічну доцільність удосконалення комплексу машин для вирощування кормових буряків шляхом включення модернізованого щілювача ґрунту. Запропоноване рішення покращує водно-повітряний режим ґрунту, сприяє руйнуванню ущільненого шару, підвищує урожайність і забезпечує зростання економічної ефективності виробництва. Мета роботи досягнута, а поставлені завдання виконані.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖРЕЛ

1. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 16 с.

2. Заєць М. Л. Аналіз конструкцій посівних комплексів та умов їх експлуатації. Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві : Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи в агропромисловму виробництві», Житомир: ЖНАЕУ, 2018. с. 47-51.

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

4. 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.

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

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

7. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

8. 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.

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

10. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / за ред. В. Ю. Ільченка. Київ : Урожай, 1993. 288 с.

11. Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу. Київ : Видавничий центр НАУ, 2004. 151 с.

12. Погорілий Л. В., Татьянко М. В. Випробування сільськогосподарської техніки : науково-методичні засади оцінювання та прогнозування. Київ : Фенікс, 2004. 208 с.

13. Буряківництво : навч. посіб. / за ред. М. В. Роїка. Київ : Аграрна наука, 2001. 320 с.

14. 3. Borak K. V., Kulykivskyi V. L., Borovskyi V. M., Rudenko V. G., Dobranskiy S. S. Increasing the wear resistance of the working bodies of tillage machines by electrical discharge machining. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2025. Вип. 3 (48). С. 149–160.

15. Кормовиробництво : навч. посіб. / за ред. В. Ф. Петриченка. Вінниця : Діло, 2005. 472 с.

16. Демидась Г. І., Бурко Л. М. Урожайність та якість гички кормових буряків залежно від елементів технології вирощування. Корми і кормовиробництво. 2012. Вип. 72. С. 88–92.

17. Сільське господарство України : статистичний збірник / Державна служба статистики України. Київ : Держстат України, 2022. 220 с.

18. Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами : статистичні дані / Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення: 17.06.2026).

19. Урожайність сільськогосподарських культур за їх видами : статистичні дані / Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення: 17.06.2026).

20. Набір даних «Посівні площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур» / Єдиний державний вебпортал відкритих даних. URL: https://data.gov.ua/dataset/fbef4abf-8ba3-4d45-85db-c63c95e4fec7 (дата звернення: 17.06.2026).

21. KWS Feed and Energy Beet : information about varieties and seeds. KWS UK Ltd. URL: https://www.kws.com/gb/en/products/feed-and-energy-beet/ (date of access: 17.06.2026).

22. Growing fodder beet. DairyNZ. URL: https://www.dairynz.co.nz/feed/crops/growing-fodder-beet/ (date of access: 17.06.2026).

23. Fodder Beet Growing & Grazing Guide. Specialty Seeds NZ. URL: https://www.specseed.co.nz/downloads/FodderBeetGuide-SpecialtySeedsNZ.pdf (date of access: 17.06.2026).

24. Fodder beet establishment. Agricom. URL: https://www.agricom.co.nz/management-advice/fodder-beet-management/fodder-beet-establishment (date of access: 17.06.2026).

25. FarmDroid FD20 : autonomous farming robot for precision agriculture. FarmDroid. URL: https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/ (date of access: 17.06.2026).

26. Ecorobotix ARA : ultra-high precision sprayer. Ecorobotix. URL: https://ecorobotix.com/en/ara/ (date of access: 17.06.2026).

27. Robotics and automation in agriculture : precision farming solutions. EU CAP Network. URL: https://eu-cap-network.ec.europa.eu/ (date of access: 17.06.2026).

28. Milioto A., Lottes P., Stachniss C. Real-time semantic segmentation of crop and weed for precision agriculture robots leveraging background knowledge in CNNs. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2018. P. 2229–2235.