МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Островський Олександр Юрійович

УДК 631.363:636.2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування технології вирощування кукурудзи на силос з модернізацією подрібнювального апарату кормозбирального комбайну

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 _____ Островський О.Ю.

Керівник роботи

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Островський Олександр Юрійович. Обґрунтування технології вирощування кукурудзи на силос з модернізацією подрібнювального апарату кормозбирального комбайну. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання обґрунтування технології вирощування кукурудзи на силос із модернізацією подрібнювального апарату кормозбирального комбайна. Проаналізовано сучасний стан виробництва кукурудзи на силос в Україні та світі, а також основні напрями розвитку механізованих технологій у кормовиробництві. Обґрунтовано доцільність застосування сучасних машин, засобів автоматизації, роботизованого догляду за посівами та агродронів для виконання технологічних операцій. Розроблено механізовану технологічну карту вирощування кукурудзи на силос на площі 250 га з урахуванням агротехнічних строків і продуктивності машинно-тракторних агрегатів. Особливу увагу приділено процесу збирання силосної маси удосконаленим кормозбиральним комбайном КСС-2,6А. Запропоновано модернізацію подрібнювального апарату шляхом використання рифового рекатера, що сприяє поліпшенню якості подрібнення стеблової маси та дроблення зерна кукурудзи. Виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень, яке підтвердило зниження собівартості виробництва силосу та підвищення рентабельності. Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження запропонованої технології в сільськогосподарських підприємствах для підвищення ефективності кормозаготівельного процесу.

Ключові слова: кукурудза на силос, кормозбиральний комбайн, подрібнювальний апарат, рифовий рекатер, технологічна карта, агродрон, роботизований догляд.

ANNOTATION

Oleksandr Yuriyovych Ostrovskyi. Justification of the technology for growing maize for silage, involving the modernisation of the forage harvester's chopping unit. – *Qualification work on the rights of the manuscript*.

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

This thesis examines the rationale for the technology of growing maize for silage, including the modernisation of the chopping unit on a forage harvester. It analyses the current state of maize production for silage in Ukraine and worldwide, as well as the main trends in the development of mechanised technologies in forage production. The feasibility of using modern machinery, automation systems, robotic crop management and agricultural drones to carry out operational tasks is justified. A mechanised production plan for growing maize for silage over an area of 250 ha has been developed, taking into account agronomic timings and the productivity of machine-tractor units. Particular attention has been paid to the process of harvesting silage using the improved KSS-2.6A forage harvester. A modernisation of the chopping mechanism has been proposed through the use of a ribbed cutter, which helps to improve the quality of stalk chopping and maize grain crushing. A technical and economic justification of the design solutions has been carried out, confirming a reduction in the production cost of silage and an increase in profitability. The practical significance of this work lies in the possibility of implementing the proposed technology in agricultural enterprises to improve the efficiency of the forage harvesting process.

Keywords: maize for silage, forage harvester, shredder, riffle reaper, process flow chart, agricultural drone, robotic maintenance.

ЗМІСТ

ВСТУП……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС……9
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС……..15
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА……27
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……39
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Кормовиробництво є однією з важливих складових аграрного виробництва, оскільки від якості та стабільності кормової бази безпосередньо залежить продуктивність тваринництва, собівартість тваринницької продукції та економічна ефективність роботи сільськогосподарських підприємств. Одним із найцінніших і найпоширеніших видів соковитих кормів є кукурудзяний силос, який характеризується високою врожайністю зеленої маси, доброю перетравністю, значним вмістом енергії та придатністю до тривалого зберігання. Саме тому вирощування кукурудзи на силос займає важливе місце у системі забезпечення великої рогатої худоби повноцінними кормами.

Ефективність виробництва кукурудзяного силосу значною мірою залежить від правильного вибору технології вирощування, своєчасного виконання агротехнічних операцій, раціонального використання машинно-тракторного парку та якості збирання врожаю. Особливе значення має процес подрібнення зеленої маси, оскільки від довжини різки, рівномірності фракційного складу, ступеня пошкодження зерна та якості розщеплення стебел залежить ущільнення силосної маси, перебіг процесів бродіння, збереження поживних речовин і кормова цінність готового силосу.

У сучасних умовах аграрного виробництва особливої актуальності набуває впровадження елементів точного землеробства, автоматизації та роботизації технологічних процесів. Використання навігаційних систем, агродронів, роботизованих агрегатів для догляду за посівами, сучасних сівалок точного висіву та енергонасичених тракторів дає змогу зменшити витрати праці, пального, засобів захисту рослин, а також підвищити якість і своєчасність виконання польових робіт. Водночас значна частина господарств продовжує використовувати кормозбиральні машини, які потребують удосконалення окремих робочих органів, зокрема подрібнювального апарату.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності технології вирощування та збирання кукурудзи на силос шляхом раціонального добору комплексу машин, застосування сучасних технічних засобів і модернізації подрібнювального апарату кормозбирального комбайна. Удосконалення процесу подрібнення дає змогу поліпшити якість силосної маси, зменшити втрати поживних речовин, забезпечити краще ущільнення корму в сховищі та підвищити економічну ефективність виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування механізованої технології вирощування кукурудзи на силос із модернізацією подрібнювального апарату кормозбирального комбайна для підвищення якості заготівлі силосної маси та економічної ефективності виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати сучасний стан вирощування кукурудзи на силос в Україні та світі;

– розглянути сучасні технології виробництва кукурудзяного силосу, рівень автоматизації та роботизації технологічних процесів;

– розробити механізовану технологію вирощування кукурудзи на силос для площі 250 га;

– підібрати сучасний комплекс машин для виконання основних технологічних операцій;

– обґрунтувати використання робота для післясходового знищення бур’янів та агродрона для обприскування посівів;

– розглянути будову і роботу кормозбирального комбайна та визначити напрям його модернізації;

– виконати розрахунки параметрів елементів подрібнювального апарату;

– провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування та збирання кукурудзи на силос.

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування кукурудзи на силос та подрібнювальний апарат кормозбирального комбайна.

Методи дослідження включають аналіз науково-технічної літератури, порівняння існуючих технологій вирощування кукурудзи на силос, розрахунок технологічної карти, визначення продуктивності машинно-тракторних агрегатів, конструктивні розрахунки елементів подрібнювального апарату та техніко-економічну оцінку проектних рішень.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Білецький В.Р., Шмагун М.О., **Островський О.Ю.,** Крижанівський М.С., Скок М.С. Перспективні способи внесення мінеральних добрив. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/bileckyj_26-3.pdf (дата звернення 02.06.2026).

2. Білецький Віктор, Скалозуб Олег, Островський Олександр Прогнозування залишкового ресурсу вузлів комбайнів за допомогою нейронних мереж. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2026 року. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2026. С. 12-15

Практичне значення роботи полягає у розробленні технологічної схеми вирощування кукурудзи на силос із використанням сучасної техніки, роботизованих засобів догляду за посівами та удосконаленого кормозбирального комбайна. Запропоновані рішення можуть бути використані в сільськогосподарських підприємствах для підвищення продуктивності кормозаготівельного процесу, зменшення витрат пального і праці, поліпшення якості силосу та зниження собівартості його виробництва.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 35 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп’ютерного тексту, містить 10 рисунків, 15 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС

1.1. Значення культури та стан посівних площ

Кукурудза на силос є однією з базових кормових культур для молочного і м’ясного скотарства, оскільки формує високий урожай зеленої маси, містить значну частку крохмалю та добре консервується у вигляді силосу. За міжнародною класифікацією продукція “maize for forage and silage” належить до групи кормових продуктів і охоплює кукурудзу Zea mays, вирощену саме для фуражу та силосування [1].

У світовому масштабі кукурудза переважно вирощується на зерно, однак силосний напрям має важливе значення в країнах із розвиненим тваринництвом. За даними порівняльного аналізу WorldCereal і FAOSTAT, у 2021 р. загальна площа кукурудзи становила близько 219 млн га, з них кукурудза на фураж і силос займала близько 12 млн га, або 5,5 % [2]. Отже, силосна кукурудза займає відносно невелику частку у світовій структурі кукурудзяного клину, але її виробнича цінність визначається не лише площею, а й роллю у формуванні кормової бази.

Таблиця 1.1 – Площі кукурудзи на силос у світі та Україні

Показник	Значення	Коментар
Світова площа кукурудзи загалом, 2021 р.	≈219 млн га	усі напрями використання кукурудзи
Світова площа кукурудзи на фураж і силос, 2021 р.	≈12 млн га	близько 5,5 % площі кукурудзи
Україна, кукурудза на силос і зелений корм, 2012 р.	431 тис. га	дані повідомлення Мінагрополітики
Україна, сучасна галузева оцінка	160–170 тис. га	скорочення пов’язане зі зміною структури тваринництва

В Україні силосна кукурудза тісно пов’язана зі станом молочного скотарства. У 2012 р. кукурудза на силос і зелений корм була посіяна на площі 431 тис. га [3]. За сучасними галузевими оцінками, після скорочення поголів’я ВРХ посіви силосної кукурудзи зменшилися: якщо раніше вони сягали близько 220 тис. га, то нині коливаються в межах 160–170 тис. га [4]. Це свідчить, що попит на якісний силос

залишається, але виробництво концентрується переважно у господарствах із розвиненим тваринницьким напрямом.

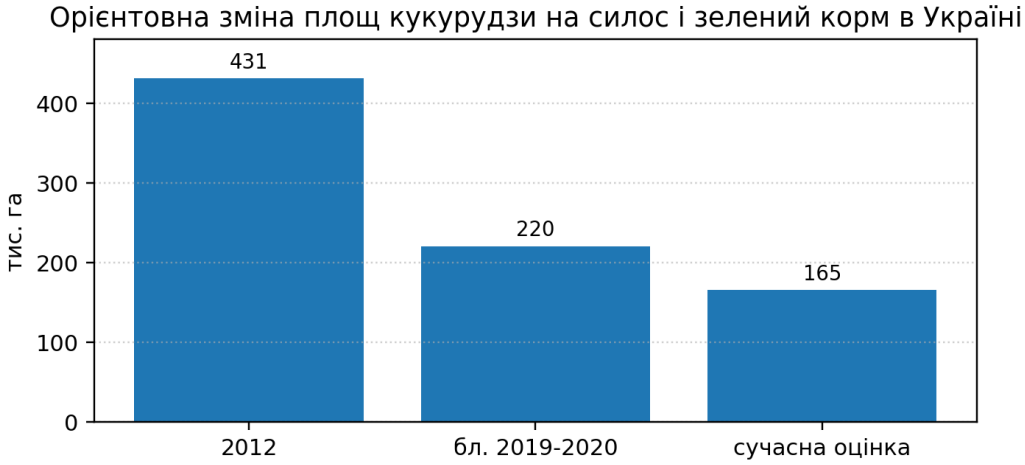


Рис. 1.1. Орієнтовна зміна площ кукурудзи на силос і зелений корм в Україні

1.2. Технологічні вимоги до вирощування кукурудзи на силос

Технологія вирощування кукурудзи на силос у більшості операцій подібна до технології зернової кукурудзи. Основна відмінність полягає у кінцевій меті: для силосування збирають усю надземну масу рослини, подрібнюють її та ущільнюють у сховищі. Оптимальним строком збирання вважають фазу, коли рослина має близько 30–35 % сухої речовини; це забезпечує компроміс між урожаєм зеленої маси, поживністю і якістю бродіння [5], [9].

Для отримання якісного силосу важливо забезпечити рівномірні сходи, достатню густоту стояння, збалансоване мінеральне живлення, контроль бур’янів та своєчасне збирання. У практиці господарств густота рослин на момент збирання часто перебуває у межах 75–95 тис. рослин/га, але конкретна норма залежить від групи стиглості гібрида, вологозабезпечення, родючості ґрунту і запланованої врожайності.

Таблиця 1.2 – Узагальнена технологічна схема вирощування кукурудзи на силос

Етап	Зміст операції	Технологічна мета
Попередник і обробіток ґрунту	Перевага надається чистим від бур'янів полям; застосовують оранку, глибоке рихлення або мінімальний обробіток.	Накопичення вологи, створення пухкого посівного шару, зменшення ущільнення.
Удобрення	Внесення органічних добрив, NPK, локальне стартове живлення під час сівби.	Формування листостеблової маси та качана, підвищення вмісту енергії у силосі.
Сівба	Сівба пунктирними сівалками при прогріванні ґрунту, добір гібридів за ФАО та напрямом використання.	Рівномірне розміщення рослин і оптимальна густота стояння.
Захист рослин	Ґрунтові та страхові гербіциди, моніторинг шкідників і хвороб.	Зменшення конкуренції за світло, воду та елементи живлення.
Збирання і силосування	Збирання у фазі воскової стиглості з подрібненням маси, ущільненням і герметизацією траншеї.	Отримання рівномірно подрібненої маси з добрим ущільненням і стабільним бродінням.

1.3. Сучасні технології та механізація збирання

Сучасна технологія вирощування кукурудзи на силос переходить від "масового" підходу до керованого виробництва корму заданої якості. Господарство повинно не лише отримати високу врожайність зеленої маси, а й забезпечити потрібний вміст сухої речовини, крохмалю, перетравної клітковини та рівномірність подрібнення. Тому вирощування силосної кукурудзи доцільно розглядати як єдиний ланцюг: поле – збирання – подрібнення – транспортування – ущільнення – зберігання.

На етапі збирання ключову роль відіграє кормозбиральний комбайн. Якість роботи подрібнювального апарата визначає довжину частинок, ступінь руйнування зерна, рівномірність потоку маси і енерговитрати. Дослідження та випробування кормозбиральних комбайнів оцінюють, зокрема, Corn Silage Processing Score (CSPS): за цим показником визначають ефективність руйнування зерна, а збільшення довжини різання може знижувати якість подрібнення зерна [10]. Це безпосередньо обґрунтовує потребу модернізації подрібнювального апарата.

Таблиця 1.3 – Основні напрями удосконалення технології вирощування і збирання кукурудзи на силос

Напрям	Сучасне рішення	Очікуваний результат
Точна сівба	GPS-навігація, контроль висіву, автоматичне відключення секцій.	Рівномірна густота, економія насіння, менші перекриття.
Диференційоване живлення	Карти врожайності, агрохімічні карти, змінні норми добрив.	Підвищення окупності добрив та вирівнювання посіву.
Моніторинг посівів	Супутникові NDVI-карти, БПЛА, метеостанції, датчики вологості.	Раннє виявлення стресу, точніше планування захисту і збирання.
Збирання	Кормозбиральні комбайни з автоматичним веденням по рядках, контролем довжини різання, каменевловлювачами.	Стабільна продуктивність і менше забивань.
Якість силосу	Рекатери, зерноплющильні вальці, NIR-аналіз у потоці, контроль сухої речовини.	Краще руйнування зерна, стабільне бродіння, вища кормова цінність.



Рис. 1.2. Частка кукурудзи на фураж і силос у світових площах кукурудзи, 2025 р.

1.4. Стан автоматизації та роботизації процесів

Автоматизація у технології силосної кукурудзи охоплює два рівні. Перший рівень – точне землеробство під час вирощування: електронні карти полів, автопілоти, GPS-моніторинг, контроль палива, супутникові індекси NDVI, датчики вологості ґрунту та FMS-системи. За результатами дослідження ринку точного

землеробства в Україні, середній рівень застосування таких технологій серед опитаних виробників становив 51,2 %. У середніх і великих підприємствах автопілоти, GPS-моніторинг і датчики контролю палива використовувалися значно частіше, ніж у малих господарствах [6].

Другий рівень – автоматизація самого збирання. Сучасні кормозбиральні комбайни отримують системи автоматичного заповнення транспортного засобу, ведення по рядках, захисту від каміння, адаптивного регулювання довжини різання та датчики якості. Наприклад, системи автоматичного заповнення причепа використовують 3D-камери, а системи регулювання довжини різання можуть змінювати режим роботи залежно від вологості маси [7]. NIR-датчики, встановлені безпосередньо на силосопроводі, дають можливість у реальному часі контролювати суху речовину, крохмаль, протеїн і клітковину [8].

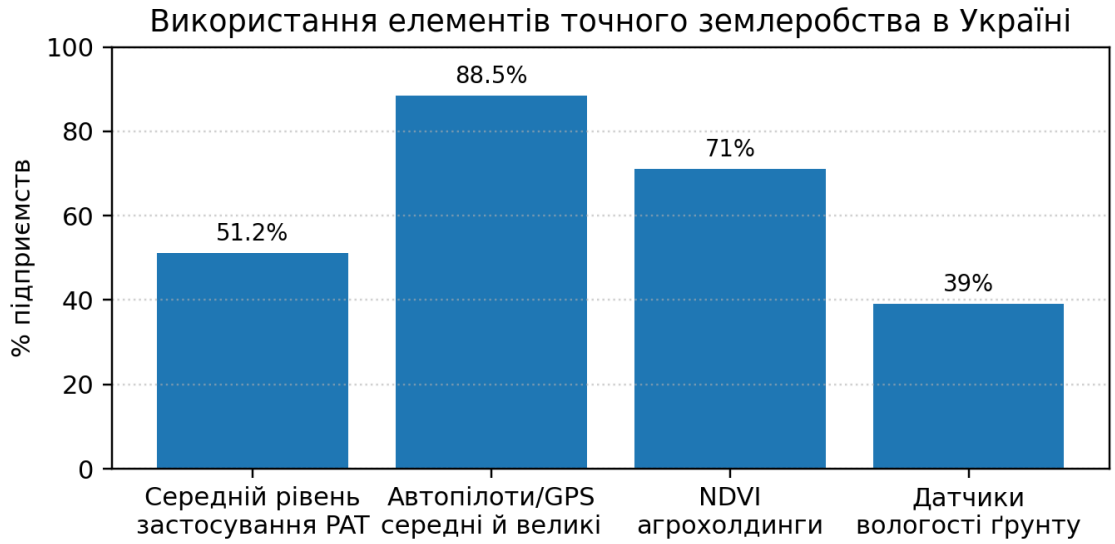


Рис. 1.3. Використання елементів точного землеробства в Україні

Роботизація у вирощуванні кукурудзи на силос поки перебуває на етапі часткового впровадження. Найбільш реальними для українських господарств є не повністю автономні роботи, а окремі автоматизовані функції: автопілот трактора, дистанційний моніторинг техніки, безпілотна оцінка стану посівів, автоматичне керування секціями сівалки та обприскувача, а також цифровий контроль параметрів

збирання. Повністю автономні трактори й роботи потребують значних інвестицій, сервісної підтримки, правового регулювання і стабільної цифрової інфраструктури.

Висновки до розділу

Кукурудза на силос є спеціалізованою кормовою культурою, значення якої визначається потребами тваринництва, а не лише розміром посівних площ. Світова площа кукурудзи на фураж і силос у 2021 р. становила близько 12 млн га, тобто приблизно 5,5 % загальної площі кукурудзи. В Україні площі силосної кукурудзи за останні роки скоротилися і, за галузевими оцінками, становлять близько 160–170 тис. га. Якість силосу залежить від повного дотримання технологічної схеми: правильного добору гібрида, оптимальної густоти, збалансованого живлення, контролю бур’янів і своєчасного збирання при оптимальній сухій речовині. Найбільш критичною операцією є збирання з подрібненням, оскільки саме подрібнювальний апарат впливає на рівномірність фракційного складу, руйнування зерна, ущільнення маси та поживність корму. Автоматизація в Україні вже поширена на рівні GPS-навігації, електронних карт, моніторингу техніки та супутникових даних, однак спеціалізовані системи NIR-аналізу, автоматичного регулювання довжини різання і роботизованого збирання поки залишаються перспективним напрямом для передових господарств.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС

2.1. Вихідні дані та агротехнічні вимоги до проектування

Метою проектування є розроблення механізованої технології вирощування кукурудзи на силос для площі 250 га із застосуванням сучасного комплексу машин, елементів точного землеробства, роботизованого догляду за посівами та збиранням удосконаленим кормозбиральним комбайном, розглянутим у третьому розділі роботи. Проектована технологія орієнтована на господарство із розвиненою кормовою базою, де силосна маса використовується для годівлі великої рогатої худоби або закладається у траншеї для подальшого використання протягом року.

Для розрахунків прийнято, що поле має вирівняний рельєф, доступне для роботи широкозахватних агрегатів і розділене на виробничі карти площею приблизно по 50 га. Попередником може бути озима пшениця, ячмінь або інша зернова культура, після якої залишається значна кількість пожнивних решток. Технологічна схема передбачає мінімізацію непродуктивних проходів, зменшення ущільнення ґрунту та поєднання механічних, цифрових і біологічно безпечних прийомів контролю бур’янів.

Основними агротехнічними вимогами є рівномірний обробіток ґрунту, збереження продуктивної вологи, точне розміщення насіння за глибиною і міжряддям, своєчасне післясходове знищення бур’янів, контроль живлення рослин та збирання у фазі воскової стиглості зерна. Саме в цей період кукурудза формує оптимальне співвідношення вологи, крохмалю і клітковини, а якість подрібнення безпосередньо впливає на ущільнення силосу, перебіг молочнокислого бродіння та поживність корму.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування технології вирощування кукурудзи на силос

Показник	Прийняте значення	Обґрунтування
Площа вирощування	250 га	проектна площа для технологічної карти
Культура	кукурудза на силос	гібриди середньоранньої або середньостиглої групи
Орієнтовна врожайність зеленої маси	45 т/га	прийнято для розрахунку потреби в транспорті і сховищі
Загальний обсяг силосної маси	11 250 т	250 га × 45 т/га
Ширина міжрядь	70 см	забезпечує використання 12-рядної сівалки та робота-прополювача
Норма висіву	78-82 тис. насінин/га	уточнюється залежно від гібрида і запасів вологи
Строк сівби	кінець квітня - початок травня	за прогрівання ґрунту на глибині загортання до 8-10 °C
Оптимальний строк збирання	воскова стиглість зерна	орієнтовно 32-35 % сухої речовини у масі
Довжина різки під час збирання	10-20 мм	залежно від вологості та вимог до ущільнення

2.2. Обґрунтування технологічної схеми вирощування

Для площі 250 га доцільно застосовувати комбіновану інтенсивну технологію. Вона поєднує традиційні механізовані операції з елементами точного землеробства: паралельне водіння тракторів, GPS/RTK-навігацію, електронні карти поля, точний висів, контроль перекриттів під час внесення добрив та дистанційний моніторинг стану посівів. Такий підхід забезпечує високу продуктивність агрегатів і водночас зменшує втрати пального, насіння, добрив та робочого часу.

Обробіток ґрунту запроектовано за безполицевою схемою. Після збирання попередника проводять дискування, яке подрібнює рештки і провокує проростання падалиці та бур’янів. Далі виконується глибоке розпушування на 25-28 см. Навесні поле вирівнюють і закривають вологу, після чого виконують основне внесення добрив, передпосівну культивацію та точний висів кукурудзи. Порівняно з багаторазовим суцільним обробітком така система зменшує ризик пересушування верхнього шару ґрунту і створює рівномірне насіннєве ложе.

Особливістю проекту є заміна частини хімічного контролю бур’янів роботизованим механічним доглядом. Після появи сходів передбачається використання роботів FarmDroid FD20, які працюють за RTK-навігацією, виконують прополювання у міжряддях і зменшують потребу в суцільному гербіцидному навантаженні. Обприскування страхових препаратів, мікродобрив або біологічних засобів захисту передбачено агродронами DJI Agras T50. Це дає змогу проводити операцію без заїзду важкої техніки у посіви, що особливо важливо після опадів або на ґрунтах, схильних до ущільнення.

Збирання здійснюється удосконаленим кормозбиральним комбайном КСС-2,6А з модернізованим подрібнювальним апаратом. У проекті враховано, що наявність рифового рекатера та вдосконалених елементів подрібнення підвищує якість розщеплення листостеблової маси і дроблення зерна, однак збільшує енергомісткість процесу. Тому для своєчасного виконання збирання на площі 250 га передбачено роботу чотирьох однакових агрегатів із паралельним забезпеченням транспортом і засобами ущільнення силосу.

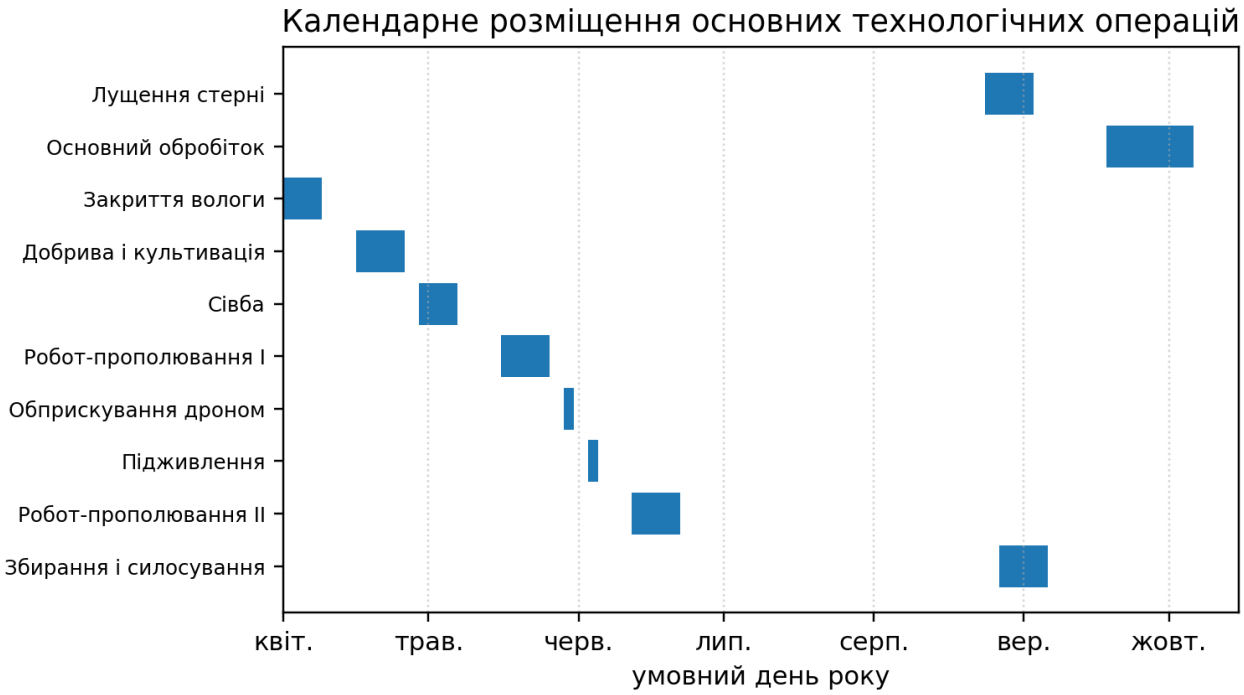


Рис. 2.1. Календарне розміщення основних технологічних операцій.

2.3. Вибір комплексу машин і засобів автоматизації

Комплекс машин сформовано за принципом відповідності потужності трактора, ширини захвату та продуктивності агрегату обсягу робіт. Для основного та передпосівного обробітку використано широкозахватні агрегати HORSCH, LEMKEN і Väderstad. Для точного висіву обрано сівалку Väderstad Tempo V 12, яка може працювати у 12-рядній конфігурації та забезпечувати високу точність розміщення насіння. Внесення мінеральних добрив виконується розкидачем AMAZONE ZA-TS, що дозволяє працювати з широкою смугою внесення і секційним контролем перекриттів.

Вибрані трактори John Deere 8R 340 та John Deere 6R 215 мають достатній запас потужності для важкого обробітку, передпосівної підготовки, сівби та транспортних робіт. Наявність ISOBUS, автопілота і систем керування агрегатами дає змогу використовувати карти-завдання та автоматичне відключення секцій. У кормозбиральному ланцюгу застосовується чотири агрегати на базі модернізованого КСС-2,6А, а для транспортування силосної маси передбачено парк самоскидних причепів або автомобілів, синхронізований із продуктивністю комбайнів.

Таблиця 2.2 – Основні машини, прийняті для технологічної карти

Марка машини	Тип	Ключові характеристики	Призначення у технології
John Deere 8R 340	трактор важкого класу	250 кВт / 340 к.с.; тягові роботи, GPS/ISOBUS	важкий обробіток ґрунту
John Deere 6R 215	універсально-просапний трактор	до 174 кВт максимальної потужності; електронне керування агрегатами	сівба, добрива, транспорт, привід КСС-2,6А
HORSCH Joker 6 RT	компактна дискова борона	робоча ширина 6,15 м; висока швидкість лущення	подрібнення решток після попередника
LEMKEN Karat 10/700	культиватор-глибокорозпушувач	робоча ширина до 7 м; 3-балкова рама	основний безполицевий обробіток
Väderstad NZ Aggressive 600	передпосівний культиватор	ефективна ширина 5,95 м; рекомендована швидкість 6-10 км/год	закриття вологи, підготовка насіннєвого ложа
AMAZONE ZA-TS 4200	розкидач мінеральних добрив	ємність до 4200 л; ширина внесення до 54 м	основне та підживлювальне внесення добрив

Продовження таблиці 2.2

Väderstad Tempo V 12 + FH 2200	точна сівалка	6-12 рядків; можливість внесення стартового добрива	точний висів кукурудзи
FarmDroid FD20	робот для сівби/прополювання	до 12 активних рядків; ширина 3,5 м; RTK-точність до 8 мм	післясходовий механічний контроль бур'янів
DJI Agras T50	агродрон для внесення	бак 40 л; ефективна ширина розпилення 4-11 м; автоматичний політ	обприскування без ущільнення ґрунту
КСС-2,6А модернізований	кормозбиральний комбайн	захват 2,6 м; рифовий рекатер; поліпшене подрібнення маси	збирання кукурудзи на силос
JCB 435S AGRI	фронтальний навантажувач	аграрне виконання; висока тяга і потужність для трамбування	розрівнювання та ущільнення силосу

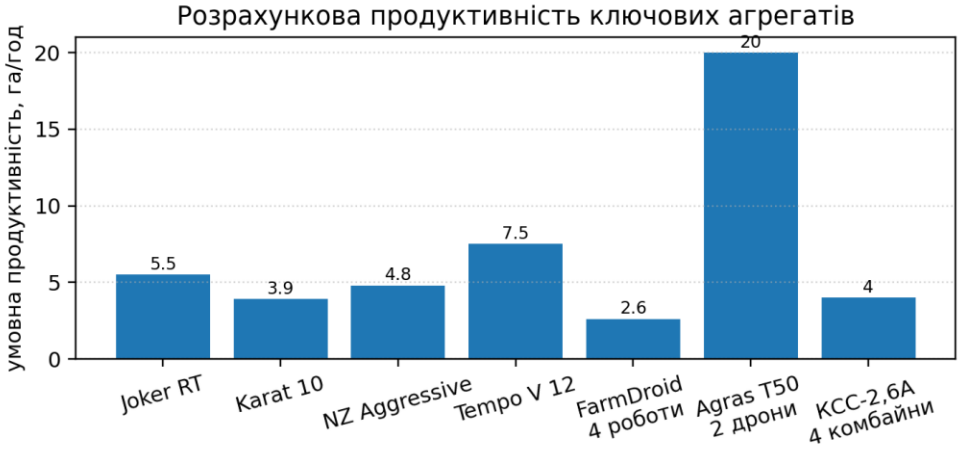


Рис. 2.2. Розрахункова продуктивність ключових агрегатів

2.4. Технологічна карта вирощування кукурудзи на силос на площі 250 га

Технологічна карта складена для повного циклу робіт від післязбирального лущення стерні до закладання силосу у траншею. Продуктивність агрегатів прийнята з урахуванням коефіцієнтів використання ширини захвату і робочого часу, поворотів, заправлення, переїздів між картами поля та організаційних перерв. Для роботизованих і дронових операцій витрати дизельного пального не враховуються, проте необхідно передбачити зарядні станції, акумулятори та підготовлений персонал.

Таблиця 2.3 – Проектна технологічна карта на 250 га

№	Технологічна операція	Строк виконання	Обсяг робіт	Енергозасіб і марка машини	Продуктивність	К-сть агрегатів	Паливо / енергія	Тривалість, діб
1	Поверхневе лущення стерні після попередника	серпень - вересень	250 га	John Deere 8R 340 + HORSCH Joker 6 RT	5.5 га/год	1	8,0 л/га	5
2	Основний безполицевий обробіток ґрунту	вересень - жовтень	250 га	John Deere 8R 340 + LEMKEN Karat 10/700	3.9 га/год	1	14,0 л/га	7
3	Ранньовесняне закриття вологи і вирівнювання поля	березень - квітень	250 га	John Deere 6R 215 + Väderstad NZ Aggressive 600	6 га/год	1	4,5 л/га	5
4	Основне внесення мінеральних добрив	квітень	250 га	John Deere 6R 215 + AMAZONE ZA-TS 4200	24 га/год	1	1,3 л/га	1
5	Передпосівна культивація	квітень	250 га	John Deere 6R 215 + Väderstad NZ Aggressive 600	4.8 га/год	1	5,0 л/га	6
6	Точний висів кукурудзи зі стартовим добривом	кінець квітня - травень	250 га	John Deere 6R 215 + Väderstad Tempo V 12 + FH 2200	7.5 га/год	1	5,0 л/га	4
7	Післяпосівне прикочування	травень	250 га	John Deere 6R 215 + Väderstad Rexius 650	6.5 га/год	1	2,5 л/га	4
8	Перше роботизоване післясходове прополювання	фаза 2-4 листків	250 га	автономно + 4× FarmDroid FD20	26 га/добу	4	електроенергія	10
9	Післясходове обприскування агродроном	фаза 4-6 листків	250 га	акумуляторні станції + 2× DJI Agras T50	20 га/год	2	електроенергія	2
10	Підживлення азотними добривами	червень	250 га	John Deere 6R 215 + AMAZONE ZA-TS 4200	24 га/год	1	1,2 л/га	1
11	Друге роботизоване прополювання і розпушування міжрядь	фаза 6-8 листків	250 га	автономно + 4× FarmDroid FD20	26 га/добу	4	електроенергія	10
12	Моніторинг посівів і формування карт-завдань	травень - серпень	250 га	автономно + DJI Mavic 3M	60 га/год	1	електроенергія	1
13	Збирання кукурудзи на силос удосконаленим комбайном	воскова стиглість зерна	250 га	4× John Deere 6R 215 + 4× KCC-2,6A з модернізованим подрібнювальним апаратом	4 га/год (парк)	4	18,0 л/га	7
14	Транспортування зеленої маси до траншеї	одночасно зі збиранням	11250 т	John Deere 6R / MAN TGS + 10× BERGMANN HTW 45S / самоскиди	170 т/год (парк)	10	0,55 л/т	7
15	Розрівнювання й ущільнення силосної маси	одночасно із завезенням	11250 т	JCB 435S AGRI + фронтальний навантажувач + трамбувальний трактор	160 т/год	2	0,22 л/т	7
16	Укриття траншеї та герметизація силосу	після заповнення траншеї	11250 т	John Deere 6R 215 + траншейне обладнання, причіп, навантажувач	1 комплекс/добу	1	0,03 л/т	1

Примітка: для операцій 8, 9, 11 і 12 враховується електроенергія та робота акумуляторних станцій; у графі дизельного пального вказано 0 л.

Таблиця 2.4 – Основні агротехнічні вимоги до ключових операцій

Операція	Основна вимога	Контрольний показник
Лущення стерні	рівномірне підрізання бур’янів і перемішування решток	глибина 8-10 см
Основний обробіток	розпушення без вивертання нижніх шарів, руйнування плужної підошви	глибина 25-28 см
Передпосівна підготовка	створення ущільненого ложа та дрібногрудкуватого верхнього шару	глибина 6-8 см
Сівба	однакова глибина і відстань між насінинами у рядку	70 см міжряддя; 78-82 тис. насінин/га
Роботизоване прополювання	робота по рядках без пошкодження культурних рослин	RTK-навігація; 2 проходи
Обприскування дроном	мінімізація знесення робочого розчину та перекриттів	робота за картою-завданням і погодними обмеженнями
Збирання на силос	зрізання без втрат, якісне подрібнення і дроблення зерна	довжина різки 10-20 мм; висота зрізу 20-25 см
Силосування	пошарове розрівнювання і швидке укриття	шар 25-30 см; негайна герметизація

2.5. Розрахунок потреби в ресурсах і організація виконання робіт

За прийнятої врожайності 45 т/га загальний обсяг зеленої маси становить 11 250 т. Найбільш напруженим періодом є збирання, оскільки кукурудза на силос повинна бути скошена, подрібнена, доставлена до сховища, ущільнена та герметизована протягом короткого строку. Якщо використовувати один кормозбиральний комбайн КСС-2,6А, тривалість збирання на площі 250 га була б надмірною. Тому у проекті прийнято парк із чотирьох удосконалених комбайнів, що дозволяє виконати збирання за 6-7 діб за умови належної організації транспортного обслуговування.

Потреба у транспорті визначається не лише продуктивністю комбайна, а й відстанню перевезення до силосної траншеї, вантажопідйомністю причепів, швидкістю руху та часом розвантаження. Для безперервної роботи чотирьох комбайнів доцільно передбачити не менше 10 одиниць транспорту. Частина транспорту повинна працювати у полі поруч із комбайном, інша частина - перебувати на маршруті або розвантажуванні біля траншеї. Це усуває простої комбайнів, які є найбільш дорогими ланками збирального комплексу.

Ущільнення маси в траншеї слід виконувати безперервно пошарово. Товщина шару після розрівнювання не повинна перевищувати 25-30 см, оскільки за більшої товщини зростає ризик залишення повітряних пор у силосній масі. Для цього застосовується JCB 435S AGRI або інший важкий фронтальний навантажувач, а також трактор-трамбувач. Накривання траншеї планується одразу після завершення завезення маси, щоб зменшити втрати поживних речовин і запобігти розвитку небажаної мікрофлори.

Таблиця 2.4 – Зведені ресурсні показники проектованої технології

Показник	Значення	Пояснення
Площа вирощування	250 га	базовий обсяг проектування
Орієнтовний валовий збір зеленої маси	11 250 т	45 т/га × 250 га
Загальна потреба дизельного пального	23 876 л	за всіма операціями, крім електричних роботів і дронів
Середня потреба пального на 1 га	95,5 л/га	з урахуванням транспорту і силосування

Продовження таблиці 2.4

Орієнтовні затрати праці	1 534 люд.-год	оператори тракторів, роботів, дронів, транспорту і трамбування
Кількість удосконалених комбайнів КСС-2,6А	4 од.	для завершення збирання за 6-7 діб
Кількість роботів FarmDroid FD20	4 од.	два проходи після сходів у строк до 10 діб на прохід
Кількість агродронів DJI Agras T50	2 од.	одна операція обприскування за 1-2 доби

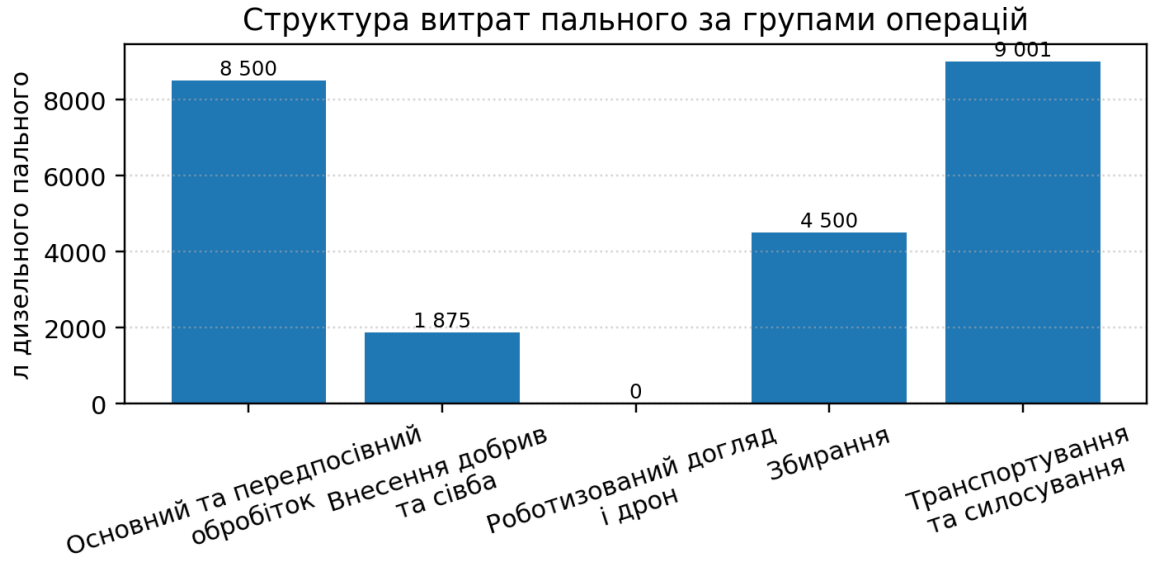


Рис. 2.3. Структура витрат пального за групами операцій.

Найбільша частка пального припадає на транспортування, силосування та важкий обробіток ґрунту.

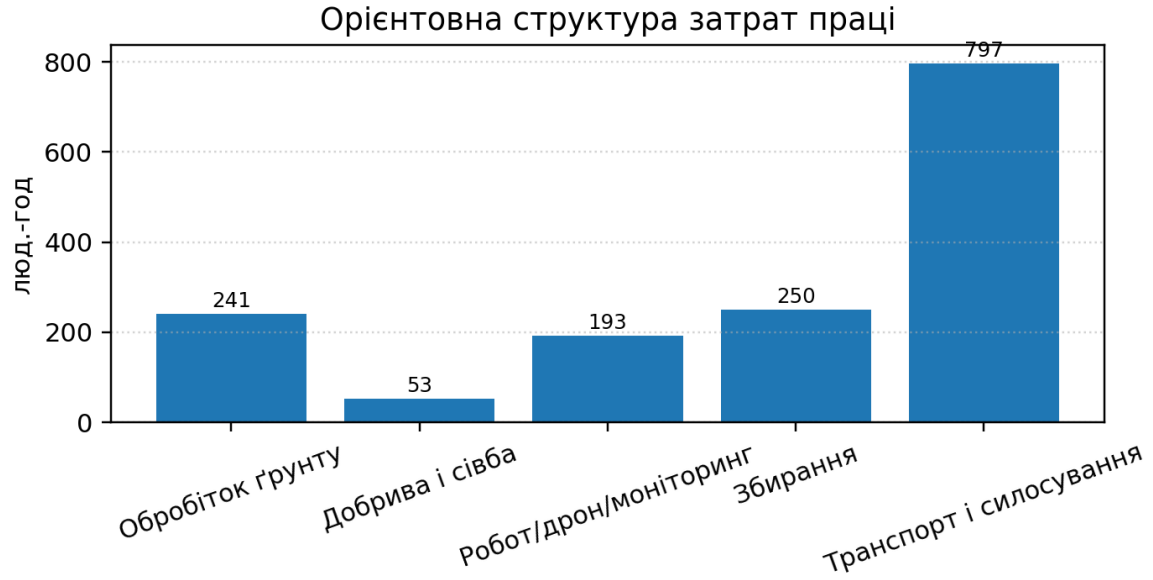


Рис. 2.4. Орієнтовна структура затрат праці.

У роботизованих операціях враховано час на контроль, заряджання, підвезення ресурсів та технічний огляд.

2.6. Використання роботизованих і дронових технологій у системі догляду

Післясходовий період є критичним для кукурудзи, оскільки культура повільно росте на початкових фазах і слабко конкурує з бур’янами. У традиційних технологіях основне навантаження припадає на страхові гербіциди та міжрядні культиватори. У даному проекті пропонується комбінована система: перше і друге механічне прополювання виконують роботи FarmDroid FD20, а суцільне або локальне внесення препаратів здійснюють агродрони DJI Agras T50 за результатами моніторингу посівів.

Роботизоване прополювання має декілька переваг. По-перше, воно не створює значного ущільнення ґрунту, оскільки робот має невелику масу порівняно з тракторним агрегатом. По-друге, робота за RTK-навігацією дозволяє підтримувати траєкторію руху відносно рядків з високою точністю. По-третє, механічне знищення бур’янів зменшує хімічне навантаження і підвищує екологічність технології. Недоліком є потреба у декількох роботах для своєчасного виконання робіт на великій площі, тому у технологічній карті прийнято чотири машини.

Агродрон використовується для внесення робочих розчинів у фазах, коли заїзд важкого трактора у поле небажаний. Основними перевагами такого рішення є відсутність технологічних колій, швидке реагування на фітосанітарну ситуацію, можливість роботи на окремих проблемних ділянках і використання карт-завдань. При цьому потрібно враховувати метеорологічні умови, швидкість вітру, якість розпилення, безпечну висоту польоту і нормативні вимоги до застосування засобів захисту рослин.

Таблиця 2.5 – Порівняння роботизованих засобів догляду за посівами

Характеристики	Робот-прополювач	Агродрон
Основне призначення	механічне прополювання після сходів	обприскування препаратами та мікродобривами
Навігація	RTK GPS, рух по рядках	автоматичний політ за маршрутом, карти-завдання
Вплив на ущільнення ґрунту	мінімальний	відсутній, оскільки машина не торкається ґрунту
Роль у технології	заміщення частини гербіцидного навантаження	оперативне внесення без колій і простою трактора
Обмеження	потреба в точній підготовці поля та кількох роботах	залежність від погоди, регламентів польотів і заряджання батарей

2.7. Організація збирання удосконаленим кормозбиральним комбайном

Збирання кукурудзи на силос повинно виконуватися без затримок, оскільки перезволожена або пересушена маса погіршує якість ущільнення і подальшого бродіння. Для проектованої площі 250 га прийнято чотири агрегати на базі удосконаленого комбайна КСС-2,6А. Така кількість забезпечує сумарну продуктивність близько 4 га/год, що дозволяє зібрати площу за 6-7 робочих діб. У складі кожного збирального агрегату передбачено трактор John Deere 6R 215, який має достатній запас потужності для приводу робочих органів, транспортування комбайна і роботи в умовах підвищеної енергомісткості подрібнення.

Модернізований подрібнювальний апарат із рифовим рекатером доцільно застосовувати саме на кукурудзі у восковій стиглості, коли зерно вже містить значну кількість крохмалю. Додаткове дроблення зерна і розщеплення листостеблової маси підвищує доступність поживних речовин для тварин та покращує ущільнення силосу. Водночас збільшення опору подрібненню потребує своєчасного заточування ножів, контролю зазорів між ножами і протирізальними елементами, а також недопущення потрапляння каміння, дроту та інших сторонніх предметів.

Раціональна організація збирання передбачає попередню підготовку силосної траншеї, розмітку маршрутів руху транспорту, створення запасу плівки і матеріалів для герметизації, а також чергування механізаторів. При

роботі чотирьох комбайнів основна умова - безперервне відведення маси. Якщо транспорт запізнюється, продуктивність усього комплексу падає, а втрати часу комбайнів перевищують економію на кількості причепів. Тому у проекті прийнято парк із 10 транспортних одиниць, що дозволяє розвантажувати масу без зупинок збиральних агрегатів.

Таблиця 2.6 – Організаційні параметри збирання та силосування

Показник	Проектне значення
Сумарна площа збирання	250 га
Прийнята врожайність зеленої маси	45 т/га
Загальна маса для транспортування	11 250 т
Кількість комбайнів КСС-2,6А	4 од.
Розрахункова продуктивність одного комбайна	1,0 га/год
Сумарна продуктивність парку комбайнів	4,0 га/год
Розрахункова тривалість збирання	6-7 діб
Кількість транспортних одиниць	10 од.
Основна вимога до силосування	безперервне ущільнення і швидке укриття траншеї

Висновки до розділу 2

У розділі розроблено механізовану технологію вирощування кукурудзи на силос на площі 250 га. Технологічна карта включає післязбиральний обробіток ґрунту, основне розпушування, весняну підготовку поля, внесення добрив, точний висів, роботизований післясходовий догляд, обприскування агродроном, збирання удосконаленими комбайнами КСС-2,6А, транспортування, ущільнення та укриття силосної маси.

Запропонований комплекс машин базується на сучасних тракторах, широкозахватних агрегатах, точній сівалці, роботах FarmDroid FD20 та агродронах DJI Agras T50. Розрахунки показують, що для своєчасного збирання 250 га доцільно використовувати чотири удосконалені кормозбиральні комбайни, десять транспортних одиниць і засоби безперервного ущільнення силосу. Орієнтовна загальна потреба дизельного пального становить близько 23,9 тис. л, а затрати праці - близько 1,5 тис. люд.-год. Впровадження роботизованого догляду та дронового внесення зменшує ущільнення ґрунту, підвищує оперативність виконання робіт і створює основу для подальшого переходу до точного землеробства.

РОЗДІЛ 3
ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

3.1. Загальна характеристика комбайна та технологічного процесу

Для механізованого збирання кукурудзи на силос доцільно застосовувати кормозбиральний комбайн КСС-2,6А або машину аналогічного призначення. Такий агрегат забезпечує зрізування високостеблових культур, їх подачу до подрібнювального вузла, різання зеленої маси на частинки потрібної довжини та завантаження подрібненої маси у транспортний засіб. Машина може використовуватися під час збирання кукурудзи у фазі молочно-воскової та воскової стиглості, а також соняшнику й інших силосних культур.

Комбайн складається з жатки, подільників, різального апарата, ланцюгово-планчастого транспортера, мотовила, сниці, живильного апарата, подрібнювального барабана, протирізального бруса, силосопроводу, вивантажувального транспортера, пристрою для заточування ножів, рекатера, приводних механізмів та гідравлічної системи. Узгоджена робота цих вузлів дає можливість безперервно формувати потік рослинної маси та направляти його в зону подрібнення.

Під час руху агрегату вздовж рядків різальний апарат зрізує рослини, а мотовило спрямовує їх на платформу жатки. Далі маса підхоплюється транспортером і передається до живильного апарата. Бітерний барабан разом із гладким вальцем ущільнює шар рослин та подає його до протирізального бруса. Ножі барабана відокремлюють частинки заданої довжини, після чого повітряно-механічний потік спрямовує подрібнену масу в силосопровід і на вивантажувальний транспортер.

Модернізація подрібнювального апарата спрямована на підвищення якості силосної маси. Особливо важливо забезпечити не тільки різання стебел, а й додаткове руйнування зернівок кукурудзи та розщеплення листостеблової частини. Для цього в конструкції доцільно передбачити рифову

доподрібнювальну поверхню, яка працює разом із ножовим барабаном і підвищує інтенсивність механічної дії на масу.

3.2. Конструкція і робота основних вузлів комбайна

3.2.1. Жатка

Жатка є робочим органом, який безпосередньо взаємодіє з рослинами у полі. Її основою є платформа, обмежена боковинами. Передня частина обладнується подільниками, що розділяють рядки і направляють стебла до різального апарата. За необхідності активний подільник можна перевести у пасивний режим, що спрощує роботу на окремих агрофонах.

Привід різального апарата здійснюється від головного редуктора через ланцюгову передачу, проміжні вали, карданний вал та кривошипно-шатунний механізм. Зрізана маса переміщується ланцюгово-планчастим транспортером у бік живильного апарата. Щоб зменшити втрати рослинної маси і запобігти надмірному провисанню нижньої гілки транспортера, під платформою встановлюються піддони з технологічними люками.

Висота зрізу задається положенням копіювального башмака, який повторює нерівності поля. Його тиск на ґрунт регулюється пружинним зрівноважувальним механізмом. Для проходження перешкод, виконання поворотів і переведення жатки у транспортне положення використовується механізм підйому.

3.2.2. Мотовило

Мотовило призначене для організованого укладання стебел на платформу жатки після зрізування. Воно має п’ятилопатеву конструкцію та встановлюється на підвісках рами, шарнірно з’єднаної з кронштейнами силосорізки. Виліт мотовила змінюється тягами, а висота його розміщення регулюється гідроциліндрами.

Щоб планки мотовила не торкалися транспортера жатки, на штоках гідроциліндрів передбачаються обмежувачі. Під час опускання жатки у робоче положення мотовило автоматично вмикається, а при підніманні жатки у

транспортне положення вимикається. Це знижує навантаження на привод і підвищує зручність керування агрегатом.

3.2.3. Живильний апарат

Живильний апарат формує рівномірний шар маси перед ножовим барабаном. До його складу входять бітерний барабан, гладкий валець, ведучий вал транспортера жатки та редуктор. Бітерний барабан здатний переміщуватися у вертикальних напрямних, що дає можливість пристосовуватися до зміни товщини потоку рослин.

Пружини забезпечують плавність переміщення барабана і задають необхідний тиск на шар маси. На валу бітерного барабана встановлюється обгінна муфта. Вона від’єднує барабан від приводу при різкій зміні частоти обертання та дає змогу вузлу обертатися за інерцією після вимкнення вала відбору потужності трактора. Це зменшує ударні навантаження і захищає деталі від пошкоджень.

3.2.4. Подрібнювальний апарат

Подрібнювальний апарат є ключовим вузлом комбайна, від якого залежить якість підготовки силосної маси. Він складається з протирізального бруса з пластинами та ножового барабана. Барабан виконаний у вигляді вала з дисками, на яких закріплені спірально розміщені ножі. Така схема забезпечує поступове входження ножів у шар маси, зменшує нерівномірність навантаження та покращує транспортування подрібнених частинок.

Під час роботи ножі зрізують порції рослинної маси біля протирізальної кромки і одночасно надають їй швидкості, необхідної для переміщення у силосопровід. У шків приводу барабана вмонтована обгінна муфта, завдяки якій барабан після вимкнення ВВП не зупиняється миттєво, а плавно вибігає за інерцією. Це важливо для надійності передач і безпечного завершення робочого циклу.

Недоліком базової конструкції є те, що частина зерна кукурудзи може залишатися недостатньо пошкодженою, а окремі частинки стебел — надто довгими. Тому модернізація полягає у введенні додаткового рифового

елемента, який збільшує час перебування маси в зоні барабана та створює додаткові пари різання і тертя.

3.2.5. Рекатер як елемент доподрібнення

Рекатер є допоміжним пристроєм, що встановлюється після основного ножового апарата або у зоні його дії. Його призначення — підвищити ступінь подрібнення листостеблової маси та інтенсивніше руйнувати зернівки кукурудзи під час збирання у восковій і технічній стиглості.

Дія рифового рекатера ґрунтується на підвищенні сили тертя між подрібненою масою та рифленою поверхнею підбарабання. Коли частинки проходять через зону рифів, вони довше утримуються у робочому просторі, повторно взаємодіють із ножами барабана і піддаються додатковому розщепленню. У результаті збільшується кількість розкритих зерен та зменшується частка грубих частинок у силосній масі.

3.2.6. Силосопровід і вивантажувальний транспортер

Силосопровід служить для спрямування потоку подрібненої маси від барабана до транспортера або кузова транспортного засобу. Його конструкція включає камеру над барабаном, каркас вивантажувального транспортера, дефлектор та захисний фартух. Форма каналу повинна забезпечувати мінімальні втрати швидкості потоку й запобігати накопиченню маси у кутах.

Вивантажувальний транспортер має ланцюгово-планчасту будову зі скребками. Каркас складається з нижньої та верхньої частин, які в робочому положенні з’єднуються болтами. Переведення відкидної частини з робочого положення у транспортне виконується лебідкою. Верхня частина транспортера закривається кришками, що запобігає видуванню подрібненої маси вітром, а вивантажувальне вікно обладнується фартухом.

3.2.7. Пристрій для заточування ножів

Якість різання значною мірою залежить від гостроти ножів барабана. Для їх обслуговування комбайн оснащується заточувальним пристроєм, який складається з кожуха, напрямних і заточувальної головки. Головка переміщується по напрямних за допомогою каната при обертанні штурвала.

Регулярне заточування знижує питомі енерговитрати, зменшує розривання стебел і покращує однорідність подрібненої маси.

3.3. Підготовка комбайна до експлуатації

3.3.1. Монтаж і складання робочих органів

Перед початком складання необхідно оглянути всі вузли, перевірити комплектність, справність підшипникових опор, стан різьбових з’єднань і наявність стопорних елементів. Якщо у місцях кріплення не передбачені контргайки, під гайки встановлюють пружинні шайби. Усі болтові з’єднання затягують без перекосів, оскільки послаблення кріплень під час роботи може спричинити вібрації та пошкодження деталей.

Складання жатки виконують у такій послідовності:

– польовий подільник установлюють на платформу та закріплюють болтами;

– праву боковину розміщують між пластинами і рамою платформи, після чого фіксують кріпильними деталями;

– на подільник монтують щиток, а з протилежного боку встановлюють ліву боковину;

– жатку підводять до силосорізки, використовуючи похило встановлені дошки або інші допоміжні пристрої, що забезпечують безпечне стикування.

Монтаж мотовила починають із установлення його рами на кронштейни силосорізки. Раму закріплюють болтами, гайками та контргайками. Потім збирають колесо мотовила: на вісь установлюють диски з п’ятигранниками, у напрямні вставляють дерев’яні промені та фіксують їх металевими накладками. Після складання перевіряють легкість обертання і відсутність зачіпань.

3.3.2. Агрегатування з трактором

З’єднання комбайна з трактором виконують на рівному майданчику. Спочатку домкратом піднімають сницю до рівня причіпної скоби трактора.

Трактор подають назад так, щоб скоба увійшла у причіпний пристрій сниці, після чого суміщають отвори, вставляють палець і надійно шплінтують його.

Після механічного з’єднання з телескопічного карданного вала знімають підтримувальний хомут, повертають стійку на сницю та приєднують кардан до ВВП трактора. Далі з’єднують гідравлічні шланги комбайна з виходами розривних муфт трактора. Перед запуском перевіряють правильність обертання робочих органів, герметичність гідросистеми та надійність усіх захисних кожухів.

3.4. Технологічний порядок роботи комбайна

Перед щоденним виїздом у поле виконують контрольний огляд машини. Особливу увагу приділяють кріпленню планок транспортера жатки, стану ножів, натягу ланцюгів і пасів, наявності мастила у вузлах тертя та справності захисних пристроїв. Перед увімкненням ВВП трансмісію бажано провернути вручну на декілька обертів, щоб переконатися у вільному ході механізмів.

Залежно від рельєфу поля, висоти рослин і стану посіву встановлюють потрібну висоту зрізу копіювальним башмаком та підбирають режим роботи мотовила. Якщо агрегат рухається зі швидкістю понад 8 км/год і подача стебел відбувається стійко, мотовило може бути вимкнене. У такому випадку його привод фіксують у відключеному положенні, а саме мотовило піднімають у верхнє положення.

На поворотах, під час виїзду з рядків і при переїздах жатку піднімають у транспортне положення. Оператор повинен постійно контролювати подачу маси, роботу живильного апарата, барабана та вивантажувального транспортера. Забивання робочих органів не можна допускати, оскільки воно призводить до різкого збільшення навантаження на приводи та може викликати поломку.

Якщо з’являються ознаки забивання живильного апарата, подрібнювального барабана або транспортера, трактор зупиняють і короткочасно прокручують трансмісію. При забиванні різального апарата

комбайн подають назад без піднімання жатки, очищують зону різання, потім жатку підіймають гідроциліндром і пропускають накопичену масу. Під час подальшого руху вперед жатку опускають приблизно за метр до входження у рослинну масу.

У разі сильного забивання робоче місце очищають вручну тільки після повної зупинки агрегату і вимкнення приводу. Після очищення механізми прокручують у напрямку робочого обертання, а ВВП вмикають плавно, без різкого навантаження. Робота на полях, де є каміння, дріт та інші сторонні предмети, не допускається, оскільки їх потрапляння у живильний або подрібнювальний апарат може спричинити аварійну поломку.

3.5. Післясезонне обслуговування і зберігання

Після завершення сезону комбайн необхідно підготувати до тривалого зберігання. Найкращими умовами є закрите приміщення або навіс. Якщо машина зберігається на відкритому майданчику, поверхня повинна бути рівною, мати тверде покриття і невеликий ухил 2–3° для відведення води.

Перед постановкою на зберігання виконують післясезонне технічне обслуговування, очищують машину від залишків рослинної маси, перевіряють стан вузлів і проводять холосту обкатку протягом 10 хв. Після цього знімають клинопасові паси приводу подрібнювального барабана та мотовила, а також шланги високого тиску. Демонтовані шланги промивають у мильному розчині, висушують і зберігають у захищеному місці.

Ніж різального апарата, планки і промені мотовила, а також шліфувальний сегмент заточувального пристрою знімають і здають на склад. Ніж перед зберіганням покривають шаром консервувального мастила. Ланцюгово-планчасті транспортери очищують, змащують і встановлюють назад на комбайн без натягування, щоб уникнути деформації ланок під час тривалого простою.

Комбайн установлюють на підставки у горизонтальному положенні. Тиск у шинах знижують до 1,1–1,2 кгс/см². Штуцери гідроциліндрів і маслопроводів

закривають заглушками, а інструмент і змінні деталі передають на складське зберігання.

3.6. Розрахунок зірочок ланцюгових передач

Ланцюгові передачі комбайна забезпечують передавання крутного моменту від привідних валів до робочих органів. Для їх надійної роботи необхідно правильно визначити геометричні розміри зірочок. Розрахунок виконуємо для роликового ланцюга з урахуванням кроку, діаметра ролика, ширини пластини та кількості зубців зірочки.

Основні розрахункові залежності мають такий вигляд:

$$m = P / \pi, \quad (3.1)$$

$$d = P / \sin(180° / z), \quad (3.2)$$

$$D_e = P \cdot (0{,}5 + \operatorname{ctg}(180° / z)), \quad (3.3)$$

$$D_i = d - 2r, \quad (3.4)$$

$$r = 0{,}5025 \cdot d_1 + 0{,}05, \quad (3.5)$$

$$D_c = P \cdot \operatorname{ctg}(180° / z) - 1{,}3h. \quad (3.6)$$

де m — модуль, мм; P — крок ланцюга, мм; z — кількість зубців зірочки; d — ділильний діаметр, мм; D_e — діаметр кола виступів, мм; D_i — діаметр кола впадин, мм; r — радіус впадини, мм; d_1 — діаметр ролика ланцюга, мм; Dc — діаметр проточки, мм; h — ширина пластини ланцюга, мм.

Вихідні параметри роликових ланцюгів наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку зірочок

P, мм	Bн, мм	A, мм	d_1, мм	h, мм
12,7	5,4	13,92	8,51	11,8
15,875	9,65	16,59	10,16	14,8
19,05	12,7	25,51	11,91	18,2
25,4	15,88	29,29	15,88	24,2
31,75	19,05	35,76	19,05	30,2

3.6.1. Зірочка гладкого вала живильного апарата

Для гладкого вала живильного апарата приймаємо z = 22. Розрахунок виконуємо для ланцюга з кроком P = 25,4 мм та діаметром ролика d_1 = 15,88 мм.

– модуль: m = P / π = 25,4 / 3,14 = 8,0 мм;

– ділильний діаметр: d = 25,4 / sin(180° / 22) = 25,4 / 0,14 = 180 мм;

– діаметр кола виступів: D_e = 25,4 · (0,5 + 6,9) = 188 мм;

– радіус впадини: r = 0,5025 · 15,88 + 0,05 = 8 мм;

– діаметр кола впадин: D_i = 180 – 2 · 8 = 164 мм;

– ширина зуба: b = 0,9 · 15,88 – 0,15 = 14 мм;

– ширина вінця для дворядного ланцюга: B = (2 – 1) · 29,29 + 14 = 43 мм;

– радіус заокруглення зуба: R = 1,7 · 15,88 = 27 мм;

– фаска: f = 0,2 · 14 = 2,8 мм.

Довжину посадочного отвору приймаємо рівною ширині зубчастого вінця: L = B = 43 мм. Діаметр маточини визначаємо за співвідношенням Dст = 1,55 · d_0. При d_0 = 35 мм отримаємо Dст = 1,55 · 35 = 54,25 мм.

3.6.2. Зірочка веденого вала головного редуктора

Для веденого вала головного редуктора приймаємо z = 10. За тих самих параметрів ланцюга отримуємо такі розміри зірочки:

– модуль: m = 25,4 / 3,14 = 8,0 мм;

– ділильний діаметр: d = 25,4 / sin(180° / 10) = 25,4 / 0,31 = 82 мм;

– діаметр кола виступів: D_e = 25,4 · (0,5 + 3,07) = 90 мм;

– радіус впадини: r = 0,5025 · 15,88 + 0,05 = 8 мм;

– діаметр кола впадин: D_i = 82 – 2 · 8 = 66 мм;

– діаметр проточки: Dc = 25,4 · 3,0 – 1,3 · 24,2 = 44 мм;

– ширина зуба: b = 0,9 · 15,88 – 0,15 = 14 мм;

– ширина вінця: B = (2 – 1) · 29,29 + 14 = 43 мм;

– радіус заокруглення зуба: R = 1,7 · 15,88 = 27 мм;

– товщина обода: s = 1,5 · (90 – 82) = 12 мм;

– товщина диска: C = 1,3 · 12 = 15,6 мм;

– фаска: f = 0,2 · 14 = 2,8 мм.

Для цієї зірочки також приймаємо L = B = 43 мм. Діаметр маточини становить Dст = 1,55 · 35 = 54,25 мм. Товщину торців зубчастого вінця визначаємо як S = 2,2m + 0,05B = 2,2 · 8 + 0,05 · 43 = 19,75 мм.

3.6.3. Зірочка ведучого вала живильного апарата

Для ведучого вала живильного апарата приймаємо z = 50. Велика кількість зубців забезпечує плавніше зачеплення ланцюга і зменшує нерівномірність руху робочого органа.

– модуль: m = 25,4 / 3,14 = 8,0 мм;

– ділильний діаметр: d = 25,4 / sin(180° / 50) = 25,4 / 0,062 = 411 мм;

– діаметр кола виступів: D_e = 25,4 · (0,5 + 16) = 419 мм;

– радіус впадини: r = 0,5025 · 15,88 + 0,05 = 8 мм;

– діаметр кола впадин: D_i = 411 – 2 · 8 = 395 мм;

– діаметр проточки: Dc = 25,4 · 16 – 1,3 · 24,2 = 375 мм;

– ширина зуба: b = 0,9 · 15,88 – 0,15 = 14 мм;

– ширина вінця: B = (2 – 1) · 29,29 + 14 = 43 мм;

– радіус заокруглення зуба: R = 1,7 · 15,88 = 27 мм;

– товщина обода: s = 1,5 · (419 – 411) = 12 мм;

– товщина диска: C = 1,3 · 12 = 15,6 мм;

– фаска: f = 0,2 · 14 = 2,8 мм.

3.6.4. Зірочка ведучого вала редуктора вивантажувального транспортера

Для ведучого вала редуктора вивантажувального транспортера приймаємо z = 12. Така зірочка забезпечує необхідну частоту руху транспортера і достатній запас міцності передачі.

– модуль: m = 25,4 / 3,14 = 8,0 мм;

– ділильний діаметр: d = 25,4 / sin(180° / 12) = 25,4 / 0,26 = 98 мм;

– діаметр кола виступів: D_e = 25,4 · (0,5 + 3,7) = 106 мм;

– радіус впадини: r = 0,5025 · 15,88 + 0,05 = 8 мм;

– діаметр кола впадин: D_i = 98 – 2 · 8 = 82 мм;

– ширина зуба: b = 0,9 · 15,88 – 0,15 = 14 мм;

– ширина вінця: B = (2 – 1) · 29,29 + 14 = 43 мм;

– радіус заокруглення зуба: R = 1,7 · 15,88 = 27 мм;

– фаска: f = 0,2 · 14 = 2,8 мм.

Отримані розміри зірочок забезпечують сумісність із прийнятим дворядним роликовим ланцюгом та можуть бути використані під час конструкторського доопрацювання приводу робочих органів.

3.7. Обґрунтування параметрів рифового рекатера

Для підвищення якості подрібнення силосної кукурудзи найбільш доцільним є застосування рифового рекатера. На відміну від гладкої поверхні, рифлена робоча зона створює додатковий опір руху маси, посилює її взаємодію з ножами барабана і сприяє роздавлюванню зернівок. Це особливо важливо під час збирання кукурудзи у фазі воскової стиглості, коли зерно має підвищену твердість і потребує інтенсивнішого механічного впливу.

Механізм роботи рифового рекатера можна пояснити трьома основними процесами. По-перше, частинки маси руйнуються при ударі об виступи рифів. По-друге, після відбиття від рифленої поверхні вони знову потрапляють у зону дії ножів барабана. По-третє, між лезами ножів і виступами рифів виникають додаткові ріжучі пари, що сприяє кращому розщепленню стебел.

У запропонованій модернізації рифову поверхню доцільно формувати з планок ребристого бичового профілю. Такі елементи мають достатню жорсткість, зносостійкість і придатні для роботи в умовах інтенсивного контакту з рослинною масою. Для забезпечення зоотехнічних вимог до силосу крок розміщення планок приймають у межах 15–40 мм.

Основні параметри рифового рекатера приймаємо такими:

– кут установлення рифової поверхні відносно протирізальної пластини: $\theta_1 = 50°$;

– кут охоплення барабана рифовою поверхнею: $\theta_2 = 70°$;

– зазор між ножами барабана і виступами рифів: $\Delta = 2$ мм;

– висота виступів: h = 1,4 · 13 = 18,2 мм;

– довжина виступу: $t_1 = 14(tg\alpha + tg\beta) = 14(tg30° + tg70°) = 14(0,577 + 2,74) = 45,7$ мм;

– кут загострення виступу: $\gamma = 90°$;

– кут нахилу виступів до твірної підбарабання: $\tau_2 = 30°$;

– відстань між рядами рекатера: $S = 4 \cdot d_{екв} = 4 \cdot 5 = 20$ мм;

– радіус підбарабання: $R = 248$ мм.

Запропоновані параметри дають можливість розмістити рифову поверхню у зоні найбільш ефективної взаємодії з подрібнювальним барабаном. Зазор 2 мм забезпечує інтенсивний вплив на масу, але не допускає контакту ножів із рифами. Кут охоплення 70° збільшує тривалість перебування частинок у робочій зоні, а крок 20 мм між рядами створює достатню кількість зон удару та тертя.

Встановлення рифового рекатера покращує фракційний склад силосної маси та підвищує ступінь пошкодження зерна. Разом з тим слід ураховувати, що додаткове подрібнення потребує більшої потужності приводу. За результатами досліджень при збиранні кукурудзи у фазі воскової стиглості комбайном КСС-2,6А застосування рекатера може зменшувати продуктивність приблизно на 12,7 %, що пояснюється зростанням енерговитрат на процес доподрібнення.

Отже, модернізація подрібнювального апарата шляхом установлення рифового рекатера є технологічно обґрунтованою. Вона підвищує якість підготовки силосної маси, сприяє кращому розкриттю зерна кукурудзи та забезпечує отримання корму з більш однорідною структурою. При цьому під час експлуатації необхідно враховувати збільшення навантаження на привод і своєчасно контролювати стан ножів, рифів та ланцюгових передач.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1. Вихідні умови та мета економічної оцінки

Техніко-економічне обґрунтування виконується для проектної технології вирощування кукурудзи на силос на площі 250 га. Основними проектними рішеннями є застосування сучасного комплексу машин, роботизованого післясходового прополювання, обприскування агродроном та збирання удосконаленим кормозбиральним комбайном КСС-2,6А з модернізованим подрібнювальним апаратом. Економічна оцінка має показати, чи забезпечують ці рішення зниження собівартості силосної маси, скорочення витрат праці та підвищення прибутковості виробництва.

За базу порівняння прийнято традиційну технологію, у якій післясходовий догляд виконується звичайними міжрядними агрегатами та штанговим обприскувачем, а збирання проводиться кормозбиральним комбайном без доподрібнювальної рифової поверхні. Проектний варіант відрізняється вищою точністю виконання операцій, меншим хімічним навантаженням, відсутністю колій під час обприскування дроном та кращою якістю подрібнення силосної маси.

Таблиця 4.1 – Вихідні показники для техніко-економічного розрахунку

Показник	Значення	Примітка
Площа посіву кукурудзи на силос	250 га	відповідно до завдання на проектування
Проектна врожайність зеленої маси	45 т/га	прийнято у технологічній карті
Валовий збір у проектному варіанті	11 250 т	250 га × 45 т/га
Валовий збір у базовому варіанті	10 625 т	умовно 42,5 т/га
Розрахункова ціна дизельного пального	85,8 грн/л	орієнтир за відкритими даними червня 2026 р.
Розрахункова оплата праці	120 грн/люд.-год	умовно прийнято для проекту
Умовна виробнича вартість силосної маси	1000 грн/т	для внутрішньогосподарської оцінки корму
Капітальні витрати на модернізацію КСС-2,6А	320 000 грн	4 комбайни по 80 тис. грн

4.2. Методика визначення виробничих витрат

Економічна ефективність визначалась шляхом порівняння базового та проектного варіантів за сумою прямих виробничих витрат, собівартістю 1 т силосної маси, прибутком, рівнем рентабельності та строком окупності витрат на модернізацію. До складу витрат включено насіння, добрива, засоби захисту рослин, пальне, оплату праці, ремонт і технічне обслуговування, амортизаційно-сервісні витрати на машини, а також витрати на закладання силосу.

Вартість дизельного пального визначали множенням його витрати за технологічною картою на розрахункову ціну 1 л. Затрати праці визначали за кількістю людино-годин, потрібних для виконання всього комплексу робіт. Для робота-прополювача і агродрона у витратах враховано не повну купівельну вартість машин, а частку амортизації, сервісу, заряджання батарей та операторського супроводу, оскільки така техніка може використовуватися на кількох культурах або як сервісна послуга.

$$C_п = C_н + C_д + C_{ззр} + C_{пальн} + C_{прац} + C_{рем} + C_{ам} + C_{сил}, \quad (4.1)$$

де $C_п$ – загальні проектні витрати; $C_н$ – вартість насіння; $C_д$ – добрива; $C_{ззр}$ – засоби захисту та біопрепарати; $C_{пальн}$ – пальне; $C_{прац}$ – оплата праці; $C_{рем}$ – ремонт і технічне обслуговування; $C_{ам}$ – амортизація та сервіс машин; $C_{сил}$ – витрати на силосування.

$$S_т = C_п / Q;$$

$$П = Q \times Ц_с - C_п;$$

$$R = П / C_п \times 100\%;$$

$$T_{ок} = K / E_р.$$

У наведених формулах $S_т$ – собівартість 1 т силосу, Q – валовий збір зеленої маси, $Ц_с$ – умовна виробнича вартість 1 т силосу, $П$ – прибуток, R – рівень рентабельності, K – додаткові капітальні вкладення, $E_р$ – річний економічний ефект.

4.3. Розрахунок витрат за проектною технологією

Проектна технологія передбачає більшу частку витрат на точні та автоматизовані операції, однак це компенсується економією пального, скороченням ручної праці, зменшенням витрат на гербіцидний захист і підвищенням залікового виходу якісної силосної маси. Найбільшими статтями залишаються мінеральні добрива, пальне та насіння, оскільки вони безпосередньо формують урожайність культури.

Таблиця 4.2 – Структура витрат за проектним варіантом

Стаття витрат	Всього, грн	На 1 га, грн	Частка, %
Насіння	1 250 000	5000,0	14,3
Добрива	2 650 000	10600,0	30,3
Захист рослин і біопрепарати	600 000	2400,0	6,9
Пальне	2 048 561	8194,2	23,5
Оплата праці	184 080	736,3	2,1
Ремонт і ТО	650 000	2600,0	7,4
Амортизація / сервіс роботів і дронів	900 000	3600,0	10,3
Силосування, плівка, консервант	450 000	1800,0	5,2
Разом	8 732 641	34930,6	100,0

Загальна сума витрат за проектною технологією становить 8 732 641 грн, або 34930,6 грн/га. За валового збору 11 250 т собівартість 1 т силосної маси дорівнює 776,2 грн/т. Такий рівень витрат є прийнятним для інтенсивної технології, оскільки у розрахунок включено не лише польові операції, а й транспортування, ущільнення та підготовку силосної маси до зберігання.



Рис. 4.1. Структура витрат за проектною технологією вирощування кукурудзи на силос.

4.4. Порівняння базового і проектного варіантів

Порівняння показує, що застосування роботизованого прополювання та агродрона знижує потребу у заїздах важких агрегатів у посіви. Це скорочує витрати пального, зменшує ущільнення ґрунту і забезпечує оперативне виконання обприскування у короткі агротехнічні строки. Удосконалений комбайн КСС-2,6А має дещо більшу енергомісткість процесу подрібнення, проте підвищує якість розщеплення листостеблової маси та дроблення зерна, що поліпшує умови силосування.

Таблиця 4.3 – Порівняльна економічна оцінка базового та проектного варіантів

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміна
Валовий збір зеленої маси, т	10 625	11 250	625
Витрата дизельного пального, л	27 000	23 876	-3 124
Затрати праці, люд.-год	1 950	1 534	-416
Витрати на захист рослин, грн	850 000	600 000	-250 000
Загальні виробничі витрати, грн	9 220 600	8 732 641	-487 959
Собівартість 1 т силосу, грн/т	867,8	776,2	-91,6
Вартість валової продукції, грн	10 625 000	11 250 000	625 000
Прибуток, грн	1 404 400	2 517 359	1 112 959
Рентабельність, %	15,2	28,8	+13,6

За прийнятих умов проектний варіант дає річний економічний ефект 1 112 959 грн. Він формується за рахунок двох складових: зниження витрат на 487 959 грн та збільшення залікової вартості валової продукції на 625 000 грн. Собівартість 1 т силосу зменшується з 867,8 до 776,2 грн/т, тобто на 91,6 грн/т.

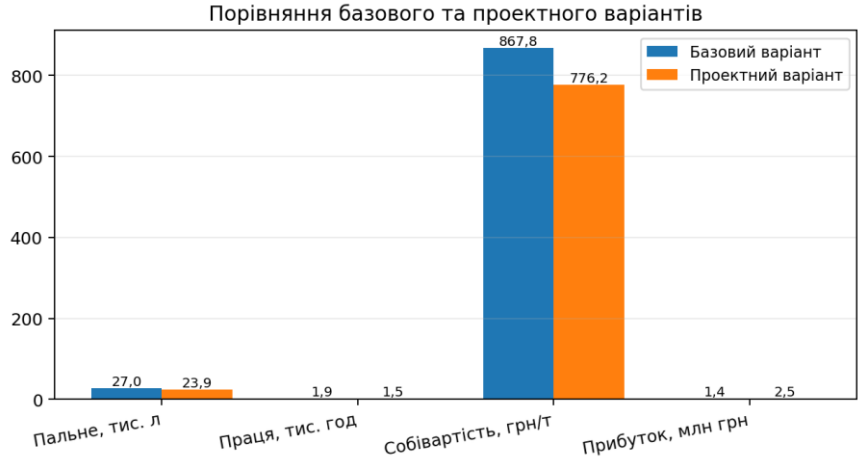


Рис. 4.2. Порівняння основних показників базового та проектного варіантів.

4.5. Економічний ефект від модернізації подрібнювального апарата

Модернізація подрібнювального апарата передбачає використання рифової доподрібнювальної поверхні, що підсилює механічну дію на рослинну масу. У процесі збирання це забезпечує краще розщеплення стебел і додаткове руйнування зернівок кукурудзи. З технологічної точки зору це важливо, тому що рівномірно подрібнена маса щільніше вкладається у траншею, швидше видаляє повітря під час трамбування і створює кращі умови для молочнокислого бродіння.

Додаткові капітальні витрати на модернізацію чотирьох комбайнів прийнято на рівні 320 тис. грн. Ці витрати включають виготовлення або придбання рифових планок, кріпильних елементів, монтажні роботи, налагодження зазорів та перевірку якості різання. Оскільки модернізація стосується наявних машин, її окупність визначається не повною вартістю комбайнів, а лише додатковими витратами на удосконалений вузол.

Таблиця 4.4 – Джерела формування річного економічного ефекту

Проектне рішення	Економічний результат	Ефект, грн
RTK-навігація, точний висів і контроль перекриттів	менше перевитрат насіння, добрив і робочого часу	205 000
Роботизоване післясходове прополювання FarmDroid FD20	зменшення гербіцидного навантаження і витрат ручного контролю	250 000
Обприскування агродроном DJI Agras T50	оперативність внесення, відсутність колій і менші витрати пального	95 000
Удосконалений подрібнювальний апарат КСС-2,6А	краще дроблення зерна, щільніше укладання і менші втрати кормової цінності	310 000
Раціональна логістика транспортування та ущільнення	зменшення простоїв комбайнів і втрат зеленої маси	253 000
Разом	розрахунковий річний ефект проекту	1 112 959

Строк окупності витрат на модернізацію подрібнювального апарата визначається за формулою $T_{ок} = K / E_р$. За $K = 320\ 000$ грн і річного ефекту 1 112 959 грн строк окупності становить 0,3 року. Навіть якщо фактичний ефект буде нижчим через коливання ціни корму або підвищення витрат на сервіс, модернізація залишається економічно доцільною, оскільки основна частина приросту результату пов’язана з якістю та збереженням силосної маси.

4.6. Аналіз чутливості та висновки до розділу

Оскільки вартість силосної маси може відрізнятися залежно від регіону, структури тваринницького підприємства та ринкової кон’юнктури, виконано аналіз чутливості річного економічного ефекту до зміни умовної вартості 1 т силосу. Розрахунок показує, що проект зберігає позитивний результат навіть за нижчої оцінки корму, оскільки має не лише виробничий, а й ресурсозберігальний ефект.

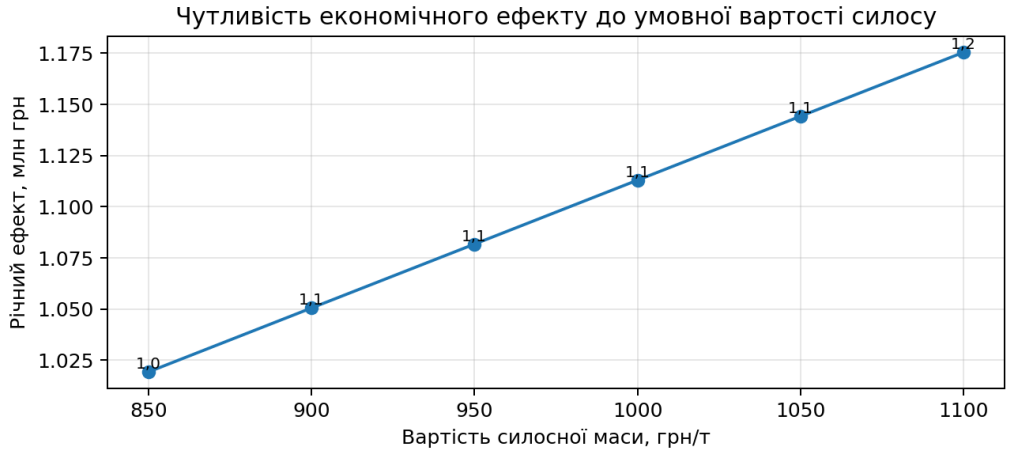


Рис. 4.3. Залежність річного економічного ефекту від умовної вартості силосу

Таблиця 4.5 – Чутливість строку окупності до вартості силосної маси

Умовна вартість силосу, грн/т	Річний економічний ефект, грн	Окупність модернізації, року
850	1 019 209	0,3
900	1 050 459	0,3
950	1 081 709	0,3
1000	1 112 959	0,3
1050	1 144 209	0,3
1100	1 175 459	0,3

Отже, техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність запропонованих проектних рішень. Для площі 250 га проектна технологія забезпечує скорочення витрат пального на 3124 л, зменшення затрат праці на 416 люд.-год і зниження собівартості силосної маси на 91,6 грн/т порівняно з базовим варіантом. Рівень рентабельності підвищується з 15,2 до 28,8 %, а річний економічний ефект становить 1,113 млн грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано технологію вирощування кукурудзи на силос із модернізацією подрібнювального апарату кормозбирального комбайна. Актуальність теми зумовлена важливим значенням кукурудзяного силосу в кормовиробництві та необхідністю підвищення якості заготівлі кормів, зменшення виробничих витрат і раціонального використання машинно-тракторного парку.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан вирощування кукурудзи на силос в Україні та світі. Встановлено, що кукурудза є однією з основних кормових культур завдяки високій урожайності зеленої маси, добрій силосованості та значній енергетичній цінності. Розглянуто сучасні технології її вирощування, що передбачають точний висів, оптимізоване удобрення, захист рослин, GPS-навігацію, цифровий моніторинг і контроль якості технологічних операцій.

У другому розділі розроблено механізовану технологію вирощування кукурудзи на силос на площі 250 га. Технологічна карта охоплює основні операції: обробіток ґрунту, внесення добрив, передпосівну підготовку, сівбу, догляд за посівами, обприскування, збирання, транспортування та закладання силосної маси. Для виконання робіт підібрано сучасну техніку, зокрема трактори John Deere, агрегати HORSCH, LEMKEN та Väderstad, робот FarmDroid FD20, агродрон DJI Agras T50 і модернізовані комбайни КСС-2,6А. За врожайності 45 т/га валовий збір зеленої маси становить 11 250 т, що потребує використання чотирьох комбайнів і десяти транспортних одиниць.

У третьому розділі розглянуто модернізацію подрібнювального апарату силосозбирального комбайна КСС-2,6А. Запропоновано використання рифового рекатера, який забезпечує додатковий механічний вплив на подрібнену масу, сприяє кращому розщепленню стебел і дробленню зерна кукурудзи. Це підвищує якість силосної маси, покращує її ущільнення та створює сприятливі умови для процесу силосування.

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень. Встановлено, що впровадження запропонованої технології дає змогу зменшити собівартість 1 т силосної маси з 867,8 до 776,2 грн/т, скоротити витрати пального на 3124 л, а затрати праці — на 416 люд.-год. Рівень рентабельності підвищується з 15,2 до 28,8 %, річний економічний ефект становить близько 1,113 млн грн, а строк окупності модернізації — приблизно 0,29 року.

Отже, запропонована технологія вирощування кукурудзи на силос із використанням сучасних машин, роботизованого догляду, агродрона та модернізованого кормозбирального комбайна є технічно й економічно доцільною. Вона забезпечує своєчасне виконання польових робіт, підвищення якості подрібнення силосної маси, зниження витрат і покращення економічних показників виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. Статистичний банк даних. URL: https://stat.gov.ua/uk/explorer (дата звернення: 17.06.2026).

2. Посівні площі основних сільськогосподарських культур (тис. га). Єдиний державний вебпортал відкритих даних. URL: https://data.gov.ua/dataset/fbef4abf-8ba3-4d45-85db-c63c95e4fec7/resource/cb758623-467d-451b-9fb8-234d9bd3465b (дата звернення: 17.06.2026).

3. Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН. Науковий супровід технологій вирощування польових та кормових культур. URL: https://fri.vin.ua/poslugi/ (дата звернення: 17.06.2026).

4. Кукурудза на силос: технології вирощування та збирання, визначення сухої речовини. SuperAgronom.com. URL: https://superagronom.com/articles/455-kukurudza-na-silos-tehnologiyi-viroschuvannya-ta-zbirannya-viznachennya-suhoyi-rechovini (дата звернення: 17.06.2026).

5. Кукурудза на силос — технологія вирощування та аспекти силосування. LNZ Group. URL: https://www.lnz.com.ua/news/kukurudza-na-silos-tehnologia-virosuvanna-ta-aspekti-silosuvanna (дата звернення: 17.06.2026).

6. Кукурудза на силос. Силосні гібриди Маїс. URL: https://mais-seeds.com/technologiia-vyroshchuvannia/kukuruza-na-silos/ (дата звернення: 17.06.2026).

7. Урожайність кукурудзи на силос при традиційному вирощуванні в порівнянні з технологією «озиме жито і кукурудза в одному сезоні». KWS Україна. URL: https://www.kws.com/ua/uk/novyny-ta-podiyi/novyny/novyny-kukurudzy/urozhajnist-kukurudzy-na-sylos-pry-tradytsijnomu-vyroshchuvanni-v-porivnyanni-z-tehnologiyeyu-ozyme-zhyto-i-kukurudza-v-odnomu-sezoni/ (дата звернення: 17.06.2026).

8. Кукурудза на силос – поживні якості та енергетичний профіль силосу. MAS Seeds Україна. URL: https://www.masseeds.ua/інновації/інновації-для-силосної-та-зернової-ку/енергетичний-профіль-силосу-поживні/ (дата звернення: 17.06.2026).

9. Михайлов А. Д. Основні види продукції рослинництва : навчальні матеріали. Харків, 2023. URL: https://repo.btu.kharkiv.ua/bitstreams/bdc86908-c40d-4a54-8f37-d4cd1b600f79/download (дата звернення: 17.06.2026).

10. Культиватор Väderstad NZ Aggressive 500–1000. Технторг. URL: https://technotorg.com/katalog-uk/silgosptekhnika/gruntoobrobka/kultivatori/kultivator-nz-aggressive-500-1000/ (дата звернення: 17.06.2026).

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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. Випуск 3 (48) 2025. Технічні науки. С.149-160.

17. JCB вперше презентував на українському ринку трактор Fastrac 8330. Traktorist.ua. URL: https://traktorist.ua/news/764-jcb-vpershe-prezentuvav-na-ukrayinskomu-rinku-traktor-fastrac-8330 (дата звернення: 17.06.2026).

18. FAOSTAT. Food and agriculture data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/faostat/en/ (accessed: 17.06.2026).

19. FAOSTAT. Green corn (maize). UNdata. URL: https://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode%3A446 (accessed: 17.06.2026).

20. Gilliams S., De Witte E., Smets B. Comparison of WorldCereal with FAOSTAT data. Rome : FAO, 2023. URL: https://openknowledge.fao.org/bitstreams/a34723c9-728a-4f9e-9d5c-e5d501aad3e7/download (accessed: 17.06.2026).

21. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc8166en (accessed: 17.06.2026).

22. OECD-FAO Agricultural Outlook 2024–2033. Paris : OECD Publishing ; Rome : FAO, 2024. URL: https://www.fao.org/markets-and-trade/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/3/en (accessed: 17.06.2026).

23. Precision farming technologies in the Ukrainian agricultural sector. Agroberichten Buitenland, 2021. URL: https://www.agroberichtenbuitenland.nl/documenten/2021/11/5/ukraine-precision-farming-study (accessed: 17.06.2026).

24. HORSCH Joker RT. HORSCH Maschinen GmbH. URL: https://www.horsch.com/en/products/soil-cultivation/disc-harrows/joker-rt (accessed: 17.06.2026).

25. Joker RT : technical data. HORSCH Maschinen GmbH. URL: https://cdn.horsch.com/celum/7703_original.pdf (accessed: 17.06.2026).

26. Karat 10 three-beam cultivator. LEMKEN GmbH & Co. KG. URL: https://lemken.com/en-en/agricultural-machines/soil-cultivation/stubble-cultivation/cultivators/karat-10 (accessed: 17.06.2026).

27. Tempo L – trailed high speed planter. Väderstad AB. URL: https://www.vaderstad.com/en/planting/tempo-planter/tempo-l (accessed: 17.06.2026).

28. NZ Aggressive – tine harrow with high capacity. Väderstad AB. URL: https://www.vaderstad.com/en/tillage/tine-harrows/nz-aggressive (accessed: 17.06.2026).

29. ZA-TS mounted spreader. AMAZONE. URL: https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/fertilising-technology/mounted-spreader/za-ts-mounted-spreader-51506 (accessed: 17.06.2026).

30. AGRAS T50. DJI Agriculture. URL: https://ag.dji.com/t50 (accessed: 17.06.2026).

31. AGRAS T50 specifications. DJI Agriculture. URL: https://ag.dji.com/t50/specs (accessed: 17.06.2026).

32. FarmDroid FD20. FarmDroid. URL: https://farmdroid.com/products/farmdroid-fd20/ (accessed: 17.06.2026).

33. FarmDroid FD20 factsheet. FarmDroid, 2023. URL: https://farmdroid.com/wp-content/uploads/Factsheet-FD20-Metricimperial-2023.pdf (accessed: 17.06.2026).

34. 8R 340 tractor. John Deere. URL: https://www.deere.africa/en/tractors/row-crop-tractors/row-crop-8-family/8r-340-tractor/ (accessed: 17.06.2026).

35. JCB Fastrac 8330 tractor. JCB. URL: https://jcbcea.com.au/machines/fastrac-tractors/8330-fastrac-tractor/ (accessed: 17.06.2026).