

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Удосконалення процесу внесення мінеральних добрив при сівбі кукурудзи
з розробкою конструкції сошника глибокорозпушувача**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-4-24
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Давидов Олександр Володимирович

Керівник: _____ Теслюк Геннадій Володимирович

Рецензент: _____ Степанов Станіслав Іванович

Дніпро, 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г. В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » _____ 20 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Давидов Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення процесу внесення мінеральних добрив при сівбі кукурудзи з розробкою конструкції сошника глибокорозпушувача

керівник роботи Теслюк Геннадій Володимирович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» 10 _____ 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи до 10.12.2025

3. Вихідні дані до проекту. Аналіз поточного рівня розвитку галузі рослинництва та існуючих конструкцій машин, призначених для виконання операцій сівби та внесення добрив. Розгляд конструктивних особливостей, огляд наукових джерел і новітніх досліджень з обраного напрямку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз конструкцій малогабаритних обприскувачів. 2. Польові та експериментальні дослідження. 3. Методика дослідження коливних процесів. 4. Охорона праці. 5. Показник економічної результативності. Висновки. Література. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. 2. Технічний та конструктивний аналіз обладнання. 3. Дослідження в умовах експерименту. 5. Результати економічної ефективності. 6. Висновки (1 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
2	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
3	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
4	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
5	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
Нормоконтроль	Золотовська О.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання і задачі досліджень	до 18. 09.2025	виконав
2	Аналітичний	до 26. 09.2025	виконав
3	Експериментальний	до 30. 10.2025	виконав
4	Охорона праці	до 21. 11.2025	виконав
5	Економічний	до 28. 11.2025	виконав
6	Демонстраційна частина	до 02. 12.2025	виконав

Студент

_____ (підпис)

Давидов О.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Теслюк Г. В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Давидов О.В. Удосконалення процесу внесення мінеральних добрив при сівбі кукурудзи з розробкою конструкції сошника глибокорозпушувача / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У першому розділі, присвяченому огляду стану досліджуваної проблеми, висвітлено сучасні способи внесення добрив та існуючі конструктивні рішення для підґрунтового внесення. Визначено їх сильні та слабкі сторони, а також окреслено ключові напрями, за якими проводитимуться подальші дослідження.

Другий розділ містить обґрунтування розробленої конструкції сошника-глибокорозпушувача, що забезпечує пошарове та дозоване внесення добрив під час сівби.

У третьому розділі виконано моделювання роботи запропонованого пристрою та проаналізовано результати його функціонування. Для оцінки процесу розподілу добрив застосовано програмне середовище EDEM.

Четвертий розділ присвячено питанням безпеки при виконанні технологічного процесу сівби із паралельним внесенням мінеральних добрив, а також організаційним аспектам функціонування системи охорони праці на виробництві.

У п'ятому розділі наведено розрахунок економічної доцільності впровадження запропонованого глибокорозпушувального сошника та обґрунтовано його економічний ефект.

Ключові слова: агрегат для висіву насіння, технічний засіб для загортання насіння в ґрунт, подача добрив мінерального походження у ґрунт.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА НАУКОВИХ ЦІЛЕЙ	9
1.1. Принципи та способи ґрунтового внесення мінеральних добрив	9
1.2. Інноваційні машини і технології внесення мінеральних добрив	13
1.3. Основні результати та завдання роботи	22
2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СОШНИКА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ У ПОЄДНАННІ З СІВБОЮ	24
2.1. Конструкція та принцип дії запропонованого посівного агрегату	24
2.2. Конструктивні особливості та принцип роботи сошника- глибокорозпушувача для поетапного внесення добрив	27
2.3. Проектування та обчислення основних компонентів котушки дозатора добрив	28
2.4. Дослідження динаміки подачі добрив у канавку висівної котушки	31
2.5. Дослідження динамічних характеристик процесу виведення добрив з паза котушки	34
Висновки по розділу	37
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ЗА ДОПОМОГОЮ СТВОРЕНОГО ПРИСТРОЮ ШЛЯХОМ МОДЕЛЮВАННЯ	38
3.1. Створення моделі для імітаційного моделювання	38
3.2. Методи та послідовність проведення експерименту	40
3.3. Показники, отримані в ході експериментальної роботи	41
Висновки до розділу	45
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	46
4.1. Загальні положення та ідентифікація небезпечних виробничих факторів	46
4.2. Вимоги до технічного стану агрегату та організація безпечної роботи тракториста-машиніста	47
4.3. Безпечна робота з мінеральними добривами	48

4.4. Пожежна безпека та вимоги санітарії та особистої гігієни	48
Висновок по розділу	49
5. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ	50
Висновок по розділу	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Врожайність культур є основним показником результативності роботи аграрного господарства, оскільки безпосередньо залежить від комплексу виробничих умов. Одним із визначальних чинників виступає система забезпечення ґрунту поживними речовинами, що досягається шляхом застосування добрив різного типу. Мінеральні добрива, на відміну від органічних, діють швидше, оскільки після розчинення у ґрунтовій волозі вони надходять у рослину у вигляді доступних іонів та катіонів [1]. Як у минулому, так і сьогодні мінеральні добрива залишаються *indispensableness* елементом інтенсивного землеробства та підвищення продуктивності полів [2].

Завдяки своїм агрохімічним характеристикам, мінеральні добрива все активніше застосовуються у сучасному рослинництві. Проте результат їх використання багато в чому визначається способом подачі в ґрунт і технічним рівнем тукових агрегатів. Практика показує, що при роботі більшості машин для поверхневого нанесення, зокрема розкидачів, показник фактичної рівномірності розподілу добрив може перевищувати допустиме відхилення $\pm 25\%$. Подібні коливання у нормі внесення здатні знизити урожай і погіршити якість вирощуваної продукції.

Крім того, під час загортання добрив ґрунтообробними знаряддями спостерігається нерівномірне їх розташування по глибині профілю, що також впливає на доступність поживних елементів. Після оранки значна частина внесеного матеріалу переміщується на глибину 9–20 см, де молоді рослини не можуть одразу його засвоїти. Натомість при використанні дискових борін або культиваторів 50–90% добрив залишаються у верхньому шарі ґрунту, який швидко висихає, ускладнюючи поглинання корінням.

На відміну від поверхневого внесення, локальне розміщення добрив забезпечує кращий ефект, що підтверджують наукові дослідження. За даними випробувань, локальна подача може підвищити ефективність живлення рослин орієнтовно на 25% у порівнянні із поверхневим методом, що позитивно впливає на врожай. Однак цей спосіб потребує високої точності дозування, адже поживні

речовини закладаються безпосередньо в зону розміщення насіння під час сівби або до кореневої системи при міжрядному обробітку.

З огляду на це, зростає інтерес до створення нових технічних рішень, здатних забезпечити якісніше локальне внесення добрив. Аналіз сучасних технологій показує: найбільшого поширення набули сівалки та ґрунтообробна техніка, обладнана висівними апаратами для добрив. Такі системи мають гарантувати стабільне дозування з максимально допустимим відхиленням не більше 10%, а нерівномірність подачі не повинна перевищувати $\pm 10\%$.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА НАУКОВИХ ЦІЛЕЙ

1.1. Принципи та способи ґрунтового внесення мінеральних добрив

Сприятливі умови для росту й розвитку культурних рослин формуються за рахунок раціонального чергування культур у сівозміні, якісного та вчасного обробітку ґрунту, а також правильного вибору методів, норм та строків внесення добрив. Рівень урожайності залежить від потенційної родючості ґрунту і визначається дією цілого комплексу чинників — температури, освітленості, вологості, забезпеченості елементами живлення тощо.

Однією з основних передумов підвищення врожайності є внесення оптимальної кількості добрив та своєчасне підживлення посівів мінеральними поживними речовинами протягом вегетації.

Наукові дані свідчать, що ступінь засвоєння добрив рослинами значно залежить від технології їх внесення. Це пояснюється тим, що при різних способах подачі гранульованих мінеральних добрив змінюється характер їх розподілу в ґрунті та відстань від кореневої системи, що безпосередньо впливає на ефективність живлення рослин.

За найбільш характерними ознаками способи внесення мінеральних добрив [6] умовно поділяються на дві групи (рис. 1.1).



Рисунок 1.1. Систематизація методів внесення гранульованих мінеральних добрив [5]

Найпоширенішою на сьогодні є технологія внесення мінеральних добрив шляхом поверхневого розкидання із подальшим загортанням у ґрунт різними обробними агрегатами. Такий спосіб характеризується значною продуктивністю та дозволяє швидко обробляти великі площі, що позитивно впливає на економічні показники господарства, знижує затрати часу й дає можливість ефективніше планувати польові роботи [6].

Однак поряд із перевагами поверхневе внесення має суттєві недоліки. Найсуттєвішою проблемою вважається нерівномірне розсіювання добрив по поверхні поля, що подекуди досягає 25 - 30%. Як зазначають наукові джерела, під час подальшого загортання гранульованих добрив ґрунтообробними машинами їхнє змішування з ґрунтом відбувається безсистемно, а просторове положення часток здебільшого має випадковий характер та не підпорядковується чітким закономірностям. Як наслідок - значна частина гранул залишається на недостатній глибині та не потрапляє в зону активного коренеутворення. Крім того, добрива, що знаходяться поблизу поверхні, можуть втрачатися через вивітрювання, вимивання дощами або поверхневим стоком, а це не лише знижує їх дію, а й створює додаткове екологічне навантаження [8]

Дані експериментів свідчать, що при загортанні добрив орними знаряддями від 17,5 до 48,1% поживних речовин залишаються у верхньому шарі 0–5 см, а 38–78% зосереджуються в межах 10-сантиметрової товщі. При роботі дискових борін або культиваторів до 50–90% добрив накопичуються лише у верхніх 2–3 см ґрунту. Це є критичним для південних та центральних регіонів України, де вологість зберігається переважно на глибині понад 10 см, тому добрива, що лежать у поверхневому шарі, фактично не доступні кореневій системі культур. Наслідками такого явища є зниження коефіцієнта використання поживних речовин, підвищені енерговитрати на гектар, збільшення собівартості продукції та погіршення біологічної активності ґрунту [9].

Додатковою проблемою виступає ерозійна нестійкість поверхневого шару ґрунту. Розвіювання та змив часток деструктованого горизонту можуть призвести до потрапляння добрив у водойми та прилеглі території, що викликає забруднення, розвиток евтрофікаційних процесів та інші екологічні ризики.

Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності удобрення є суміщення внесення добрив з іншими технологічними операціями. Зокрема, у світовій та українській агротехнічній практиці активно застосовується внесення добрив під час сівби. Такий підхід забезпечує локалізацію поживних елементів у близькості до насіння або кореневої системи, що значно покращує їхнє засвоєння, прискорює початковий ріст рослин, знижує втрати поживних речовин і в результаті підвищує врожайність. Додатковою перевагою є скорочення кількості проходів техніки полем, що зменшує ущільнення ґрунту та економить паливно-енергетичні ресурси.

Використання технологій суміщеного внесення добрив із сівбою стало основою для розвитку більш досконалих способів локального удобрення. Суть методу полягає у розміщенні добрив у вигляді стрічок або зон безпосередньо в кореневмісному шарі, на відстані 3 - 5 см від насіння. Така точність подачі забезпечує рослинам легкодоступні поживні елементи вже на ранніх етапах розвитку, що сприяє формуванню потужної кореневої системи, рівномірним сходам та підвищенню стійкості до несприятливих факторів середовища.

Локальне внесення добрив особливо ефективно у поєднанні з сучасними системами землеробства, такими як Strip -Till, Mini -Till та No - Till. За цих технологій ущільнення ґрунту зменшується, а поживні речовини зберігають активність триваліший час, оскільки внесення здійснюється на контрольовану глибину, де забезпечується оптимальна вологість. Це дозволяє значно скоротити втрати добрив та підвищити коефіцієнт їх використання на 20–40% порівняно з поверхневим розсіюванням.

Паралельно з упровадженням локальних способів удобрення з'явилась потреба у створенні спеціалізованих технічних засобів, здатних забезпечувати стабільну норму внесення та рівномірний розподіл гранул по глибині. Сучасні сошники та розподільчі механізми оснащуються дозаторами змінної продуктивності, електронними системами контролю, GPS-навігацією та датчиками швидкості руху. Це відкриває можливість працювати в автоматизованому режимі, коригуючи норму добрив залежно від родючості окремих ділянок поля, вологості чи фаз розвитку культури.

Варто зазначити, що інтеграція точного землеробства у процес внесення добрив є важливим кроком до максимально раціонального використання ресурсів. Карти врожайності, аерофотознімки, супутниковий моніторинг та ґрунтові аналізи дозволяють визначати ділянки з різним рівнем живлення та вносити добрива диференційовано. Такий підхід не лише підвищує врожайність, а й зменшує перевитрати мінеральних компонентів, що робить виробництво продукції більш економічно вигідним та екологічно безпечним.

Одночасне внесення добрив із сівбою хоч і має низку переваг, проте не позбавлене недоліків. Зокрема, поживні речовини можуть потрапляти або безпосередньо у насіннєвий рядок, або зміщуватися вбік, що для деяких культур є небажаним. Якщо гранули розташовуються збоку від рядка, частина добрив стає доступною для бур'янів, а корені посіяних рослин змушені витратити більше часу та енергії, щоб досягти зони живлення. Окрім цього, такий спосіб дозволяє вносити лише початкову, обмежену норму добрив, оскільки об'єм висівних апаратів і бункерів є фізично обмеженим. Надмірна кількість мінеральних речовин у зоні розміщення насіння також може пригнічувати його проростання.

Основний обсяг добрив зазвичай подається під час проведення основного обробітку ґрунту - як при оранці, так і за безвідвальних технологій. У цьому випадку гранульовані матеріали розміщуються безпосередньо під робочими органами агрегатів. Такий підхід має ряд переваг: поєднується кілька технологічних операцій в один прохід - розпушування, внесення та загорання добрив. Це дозволяє знизити загальні витрати на виробництво, скоротити кількість проходів техніки та, відповідно, зменшити її тиск на ґрунт. При цьому поживні речовини залишаються на заданій глибині, де вони краще зберігаються та менш схильні до вимивання чи втрат під дією зовнішніх факторів.

Найбільш результативним з агротехнічної точки зору вважається локальне внесення добрив. При цьому методі добрива не потребують додаткового загорання, адже потрапляють відразу в ґрунтовий шар, доступний для кореневої системи. Як наслідок - скорочуються втрати поживних елементів, що можуть випаровуватися з поверхні або змиватися опадами, а коефіцієнт їх засвоєння рослинами є значно вищим [9].

Такий спосіб внесення дає можливість економніше використовувати невеликі порції мінеральних добрив, що позитивно позначається на загальних виробничих витратах та скорочує час, необхідний для підживлення рослин [10].

Практика як українських, так і іноземних науковців свідчить про високу результативність комбінованих ґрунтообробних агрегатів без застосування плуга. Вони сприяють збереженню родючості ґрунту, зменшують ризик ерозії, а також зменшують механічний тиск техніки завдяки скороченню кількості її проходів.

Особливо високих результатів цей метод демонструє тоді, коли безплужний обробіток ґрунту поєднується з точковим внесенням добрив. Для цього використовують туковисівні сошники або спеціальні додаткові пристрої, які встановлюють на ґрунтообробних машинах. Такий підхід дозволяє подавати поживні речовини безпосередньо в зону розвитку коренів рослин, підвищуючи ефективність їх використання та забезпечуючи більш рівномірне живлення культур.

1.2. Інноваційні машини і технології внесення мінеральних добрив

На сучасному етапі агротехніки існує велике різноманіття конструкцій ґрунтообробного та комбінованого обладнання, що дозволяє одночасно виконувати операції з обробки ґрунту та внесення мінеральних добрив. Серед найбільш поширених рішень - плоскорізи та важкі культиватори, які поєднують функції розпушування ґрунту та рівномірного розподілу добрив. Використання таких агрегатів дозволяє скоротити кількість проходів по полю, зменшити енергетичні витрати та підвищити продуктивність обробки гектару.

Зміни кліматичних умов останніх років значно впливають на агротехнологічні процеси, особливо у центральних регіонах України, де нерідко спостерігаються посушливі періоди. У зв'язку з цим ефективним рішенням стає застосування глибокого обробітку ґрунту за допомогою чизельних робочих органів. Такий підхід дозволяє руйнувати ущільнену підорну підшву, покращує аерацію ґрунту та сприяє збереженню вологи у глибинних шарах, що забезпечує оптимальні умови для розвитку кореневої системи культурних рослин.

Крім того, глибокий обробіток сприяє більш рівномірному розподілу добрив у ґрунті, знижує потребу у повторних операціях і підвищує ефективність використання поживних речовин. Це, у свою чергу, підвищує врожайність та якість продукції, зменшує втрати добрив через вимивання або випаровування та знижує витрати на паливо і робочу силу. Поліпшення структури ґрунту, зменшення ущільнення та створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи роблять такий спосіб обробітку особливо актуальним для інтенсивного землеробства.

Особливості чизельних глибокорозпушувачів (рис.1.2) ідеально підходять для створення комбінованих машин, оснащених пристроями для внесення основної дози мінеральних добрив. Такі агрегати дозволяють поєднати декілька технологічних операцій в один прохід, що забезпечує одночасне розпушування ґрунту, внесення добрив та їх загортання на оптимальну глибину. Це значно підвищує точність внесення, зменшує витрати ресурсів і дозволяє досягти максимальної продуктивності культур.



Рисунок 1.2. Чизельний глибокорозпушувач-удобрювач [10].

Завдяки своїм технічним характеристикам та універсальності, комбіновані чизельні агрегати стають ключовим елементом сучасних високопродуктивних технологій землеробства, що дозволяє поєднати економічну ефективність, раціональне використання добрив і збереження родючості ґрунтів.

Характерною рисою цієї задачі є те, що сімейство чизельних глибокорозпушувачів відрізняється робочою шириною, яка коливається в межах 1,5–4,5 м. Встановлення одного універсального бункера для всіх моделей призвело б до значного зниження уніфікації вузлів і агрегатів, що ускладнило б обслуговування та підвищило виробничі витрати.

Тому при проектуванні комбінованих машин необхідно враховувати ширину захвату конкретної моделі, забезпечуючи відповідну адаптацію системи внесення добрив. Це дозволяє не лише зберегти уніфікацію ключових вузлів, але й підвищити ефективність використання добрив, забезпечуючи їх рівномірне розміщення у ґрунті та оптимальні умови для розвитку кореневої системи культурних рослин. Таке технічне рішення сприяє підвищенню продуктивності агрегату та зменшенню енергетичних та матеріальних витрат на його експлуатацію.

Для забезпечення універсальності пропонується використовувати секційний бункер стандартного типу, придатний для всіх моделей машин. Одна секція має ширину 0,9 м і оснащена трьома катушковими дозаторами. Під кожен глибокорозпушувач встановлюється стільки секцій, скільки необхідно для покриття його робочої ширини.

Обертання катушкових висівних апаратів забезпечується спеціальним колесом, шарнірно змонтованим на рамі агрегату. (рис. 1.3). Така конструкція забезпечує уніфікацію вузлів для різних моделей машин, дозволяє регулювати ширину внесення добрив залежно від робочого захвату та гарантує рівномірне дозування гранул у ґрунт. Крім того, використання секційного бункера спрощує технічне обслуговування та заміну висівних апаратів, знижує витрати на виготовлення комплектуючих і підвищує ефективність роботи агрегату.

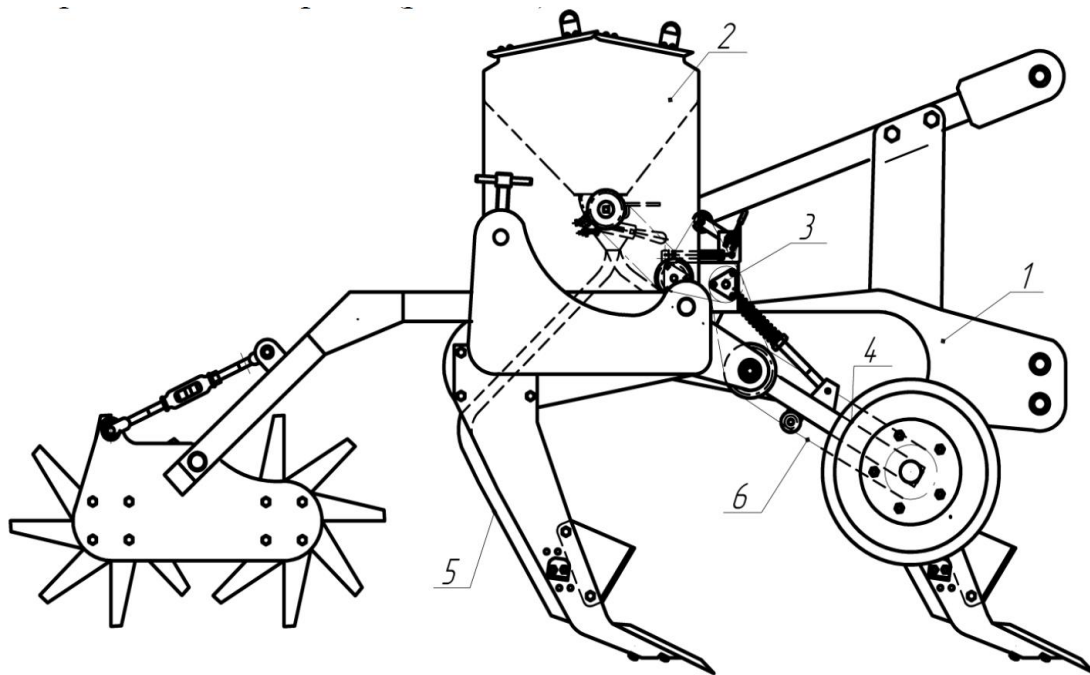


Рисунок. 1.3. Загальний вигляд глибокорозпушувача з функцією внесення мінеральних добрив: 1 - робочий орган-глибокорозпушувач; 2 – бункер із висівними апаратами для дозованого внесення добрив; 3 – коробка передач для регулювання обертів висівних апаратів; 4 – приводне колесо, що передає рух на висівні механізми; 5 – тукопровід для транспортування добрив до робочих апаратів; 6 – ланцюгові передачі, що забезпечують синхронізацію руху всіх механізмів.

Машини цієї групи представляють собою комбінацію базових елементів обприскувачів або підживлювачів-обприскувачів із ґрунтообробними або посівними агрегатами. На основну раму таких комплексних машин встановлюються один або декілька баків для рідких добрив, насосні системи, регулятори тиску, трубопроводи та інші допоміжні пристрої, необхідні для забезпечення рівномірного розподілу робочого розчину.

Заповнення баків водою або робочою сумішшю зазвичай проводиться за допомогою мобільних цистерн через спеціальні заливні горловини, що спрощує процес підготовки до роботи та скорочує час на дозаправку (рис. 1.4). Додатково, сучасні моделі таких машин можуть оснащуватися системами автоматичного

контролю витрати добрив і тиску, GPS-навігацією та електронними регуляторами для точного дозування. Це дозволяє підвищити ефективність внесення рідких добрив, забезпечити їх рівномірне розподілення по всій площі обробки та мінімізувати втрати поживних речовин.

Завдяки інтеграції обприскувачів із ґрунтообробними або посівними агрегатами, такі машини дозволяють поєднувати кілька технологічних операцій в один прохід: підживлення культур, обробіток ґрунту та посів, що значно підвищує продуктивність та економічну ефективність агропідприємств.

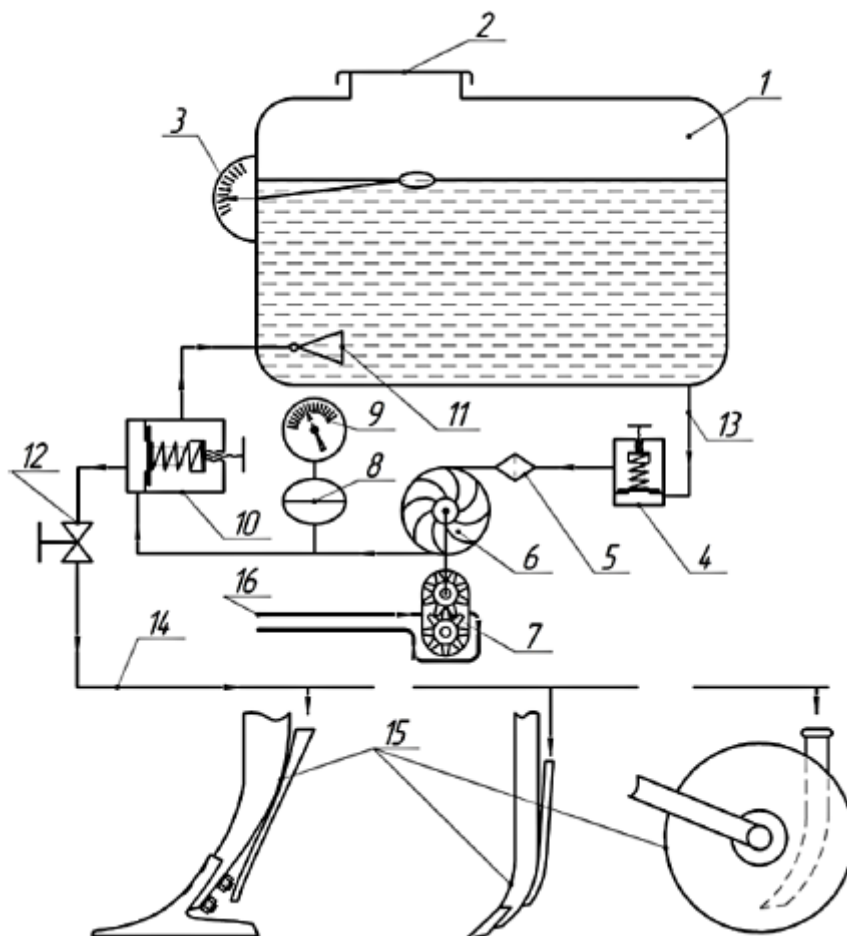


Рисунок 1.4. Принципова схема роботи навісного пристрою для подачі рідких добрив.

В конструкції можуть застосовуватися різні типи насосів, наприклад поршневі або ротаційні, а також різні способи їхнього приводу - від гідромоторів або від валу відбору потужності трактора. Навіть у найпростіших системах подачі рідких добрив до ґрунтообробного обладнання принцип роботи залишається

однаковим. Гідромотор, що отримує енергію від гідросистеми трактора, обертає ротор насоса. У всмоктувальній магістралі виникає вакуум, який забезпечує переміщення рідини з бака через відсічний клапан і фільтр до регулятора тиску. Далі рідина спрямовується безпосередньо до робочих органів, забезпечуючи їхнє рівномірне зволоження або внесення добрив. Таке поєднання дозволяє не лише одночасно обробляти ґрунт та вносити добрива чи робочі розчини, а й підвищує точність дозування та рівномірність внесення, що позитивно впливає на ефективність агротехнічних заходів. Крім того, інтеграція насосної системи та трубопроводів безпосередньо на рамі агрегату спрощує обслуговування машини та скорочує час на підготовку до роботи.

Конструкція регулятора рідини передбачає можливість пропускати робочий розчин у двох напрямках залежно від заданого тиску. Коли тиск у регуляторі досягає заданого значення, рідкі добрива спрямовуються у нагнітальну систему і далі по трубопроводах надходять до ґрунтообробних робочих органів. Там рідина через спеціальні розпилювачі або трубки подається в борозни, які після цього закриваються ґрунтом.

Внесення добрив може здійснюватися двома способами: шляхом розміщення на поверхні ґрунту з подальшим перемішуванням за допомогою робочих органів, або через розпилення безпосередньо на листя та стебла рослин. У якості робочих органів для цих операцій застосовуються стрілчасті лапи, долотовидні ножі-підживлювачі, дискові механізми та інші відповідні конструкції.

Беручи до уваги значущість поверхневого обробітку ґрунту, а також необхідність підвищення продуктивності робочих органів, зменшення ризику їх забивання рослинними рештками, зниження енерговитрат та збільшення строку служби техніки, для розв'язання поставленої проблеми було розроблено дискового типу комбінований робочий орган унікальної конструкції [11].

Такий підхід забезпечує більш рівномірне внесення добрив, підвищує точність дозування та покращує взаємодію робочих органів із ґрунтом, що сприяє підвищенню врожайності та якості сільськогосподарської продукції.

Запропонована лапа має форму конусного диска, який має нахил вперед під гострим кутом, що забезпечує його вільне обертання навколо осі стояка.

Порожнистий стояк інтегрований із піддискним простором, який використовується для транспортування та рівномірного розсіювання гранульованих мінеральних добрив або інших сипких матеріалів безпосередньо у підлаповий шар ґрунту. Зовнішній контур диска оснащений трапецієподібними вирізами, що підвищують ефективність розпушування ґрунту та сприяють рівномірному розподілу добрив, покращуючи умови живлення рослин і структуру ґрунту (рис. 1.5).

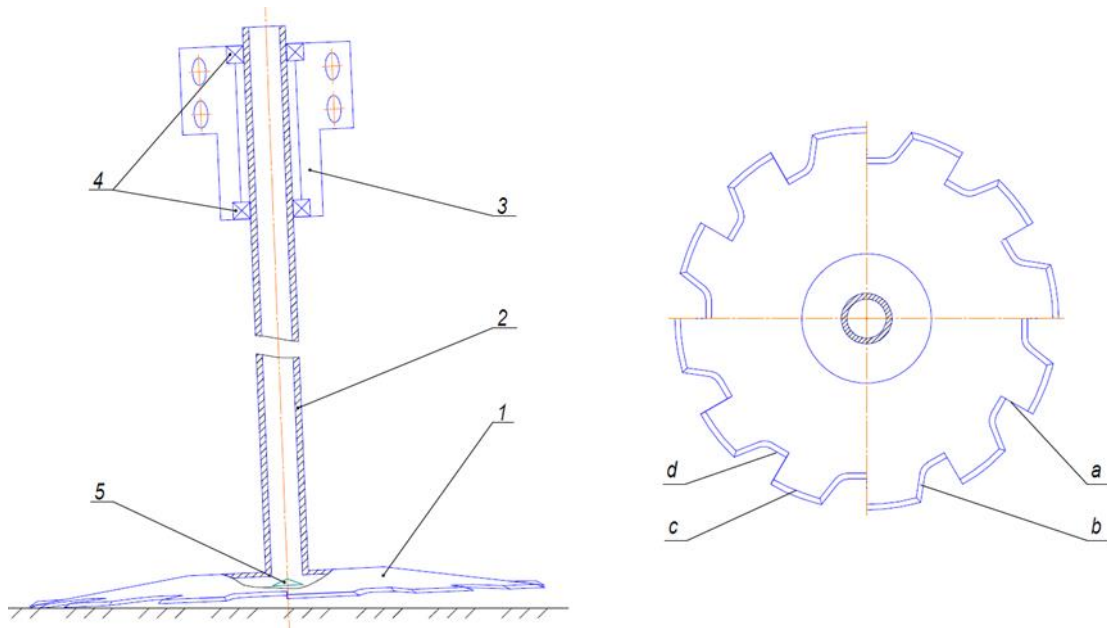


Рис. 1.5 Робочий орган дискового типу комбінованої конструкції

У конструкції дискового робочого органу (рис. 1.5) використовується конусоподібний робочий орган у вигляді диска 1, розташований під кутом до напрямку руху агрегату. Робочий орган закріплюється на стояку 2, який кріпиться до кронштейна 3 на рамі агрегата. Вільне обертання диска під час роботи забезпечується підшипниками 4, що гарантують безперешкодне рухоме з'єднання та стабільність роботи агрегату.

Завдяки такій конструкції комбінований дисковий робочий орган поєднує функції розпушування ґрунту та внесення добрив, що підвищує ефективність обробітку, забезпечує економію робочого часу та поліпшує умови для розвитку кореневої системи рослин.

По зовнішньому контуру диска виконані вирізи трапецієвидної форми, у яких праві сторони позначені як радіальні (а), а ліві – як бічні (b). Зуби диска загострені по зовнішньому діаметру (с), по лівих бічних сторонах (b) та у впадинах між ними (d).

FurrowJet від компанії Precision Planting — це сучасний інструмент для точного внесення добрив під час сівби (рис.1.6.). Сошники FurrowJet розроблені для точного та безпечного внесення стартових добрив у малих або середніх нормах (наприклад, суміші N-P-K). Щоб визначити оптимальну та безпечну норму внесення з урахуванням типу ґрунту, аграріям рекомендується консультиватися з постачальником добрив. Завдяки інноваційній конструкції, пристрій дозволяє одночасно вносити добрива у три зони: безпосередньо у рядок з насінням та по обидва його боки. Це забезпечує рослинам необхідне живлення на всіх стадіях росту, сприяючи максимальному розкриттю їх потенціалу врожайності.

Основною перевагою FurrowJet є здатність точно дозувати рідкі добрива у зоні посіву, що забезпечує ефективне засвоєння поживних речовин кореневою системою. Така технологія сприяє швидкому старту рослин та їх рівномірному розвитку, що особливо важливо на ранніх етапах росту, коли підтримка рослин є критичною.



Рис. 1.6. Сошник для внесення добрив FurrowJet від компанії Precision Planting

Система FurrowJet легко інтегрується з більшістю сучасних сівалок, що дозволяє аграріям точно регулювати внесення добрив. Це дає змогу знизити витрати на добрива, мінімізувати їх втрати та створити оптимальні умови для росту рослин, що сприяє підвищенню врожайності та покращенню економічної ефективності виробництва.

Сошник «SOLO» (рис.1.7.), виготовлений із поєднання сталі та пластику в Україні, призначений для внесення гранульованих добрив під час сівби різноманітних сільськогосподарських культур у рядок. Завдяки особливій конструкції, цей сошник забезпечує одночасну сівбу насіння та внесення добрив, що підвищує ефективність використання поживних речовин і сприяє рівномірному розвитку рослин. Використання «SOLO» дозволяє аграріям оптимізувати технологічний процес сівби, скоротити витрати на добрива та забезпечити кращі умови для стартового росту культур.



Рис. 1.7. Solo сошник для внесення гранульованих добрив

Особливості конструкції:

- форма робочого органу забезпечує рівномірне проникнення в ґрунт і точне формування рядка для насіння та добрив.

- система одночасного внесення насіння та добрив дозволяє забезпечити оптимальне живлення кореневої системи на стартових етапах росту.
- захисні елементи мінімізують ризик пошкодження насіння та гранул добрив під час роботи.
- регульовані параметри заглиблення та норми внесення дозволяють адаптувати сошник під конкретні культури та тип ґрунту.

Переваги використання:

- підвищення точності сівби та внесення добрив;
- зменшення втрат добрив та оптимізація їх використання;
- забезпечення рівномірного стартового росту рослин і підвищення врожайності;
- зручність монтажу на сучасні сівалки та адаптивність до різних технологічних процесів.

Особлива конструкція сошника зменшує ризик пошкодження насіння та добрив під час роботи, підвищує точність внесення та ефективність використання ресурсів. Використання «SOLO» дозволяє аграріям оптимізувати технологічний процес сівби, зменшити втрати добрив і покращити врожайність культур.

1.3. Основні результати та завдання роботи

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що інтегроване застосування локального внесення гранульованих мінеральних добрив разом із поверхневим обробітком ґрунту та сівбою є одним із найбільш ефективних способів підвищення родючості ґрунтів і врожайності сільськогосподарських культур. Такий метод дозволяє забезпечити більш раціональне використання добрив, мінімізувати втрати поживних речовин, а також створює сприятливі умови для повноцінного розвитку рослин на всіх етапах їхньої вегетації.

Виходячи з цього, **метою запропонованої роботи є розробка універсального агрегату, здатного працювати за новітніми технологіями рослинництва, зокрема за принципом no-till, із можливістю локального внесення мінеральних добрив у різні горизонти ґрунту. Це забезпечить ефективне живлення рослин протягом усього періоду їхнього росту та сприятиме підвищенню продуктивності і якості врожаю.**

З метою реалізації поставленої мети необхідно **розв'язати наступні завдання:**

- провести аналіз сучасних систем і машин, призначених для внесення мінеральних добрив, їх конструктивних особливостей та ефективності застосування;

- розробити механізм для дозованого внесення мінеральних добрив у різні горизонти ґрунту під час сівби кукурудзи;

- виконати моделювання процесу внесення добрив із застосуванням розробленого пристрою та дослідити його робочі характеристики;

- розробити комплекс заходів з охорони праці для безпечної експлуатації нового агрегату;

- провести техніко-економічний аналіз ефективності застосування розробленого агрегату, оцінити його вплив на продуктивність і витрати.

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СОШНИКА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ У ПОЄДНАННІ З СІВБОЮ

2.1 Конструкція та принцип дії запропонованого посівного агрегату

Технологія пошарового внесення добрив передбачає одноразове внесення усієї необхідної кількості мінеральних добрив для забезпечення повного циклу росту рослин із розподілом їх у ґрунті за різними шарами. При цьому базова доза добрив вноситься смугами поруч із насінням, а додаткові добрива, які будуть споживатися рослинами в процесі росту, вводяться порційно у нижні шари ґрунту. Такий підхід дозволяє досягти оптимального засвоєння поживних речовин кореневою системою рослин, що позитивно впливає на розвиток культур [13].

Пропонуємо базове внесення добрив доцільно здійснювати смуговим методом, розміщуючи їх із боковим відступом від насінини на відстані $L_1 = 50$ мм (рис. 2.1) при заглибленні $H_1 = 50$ мм. Такий підхід запобігає шкідливому впливу добрив на насіннєвий матеріал і створює сприятливі умови для його проростання. Подальше порційне підживлення виконується на більш значних глибинах $H_2 = 110$ мм та $H_3 = 160$ мм, що забезпечує поступове надходження поживних компонентів у кореневу зону в міру розвитку та росту культури.

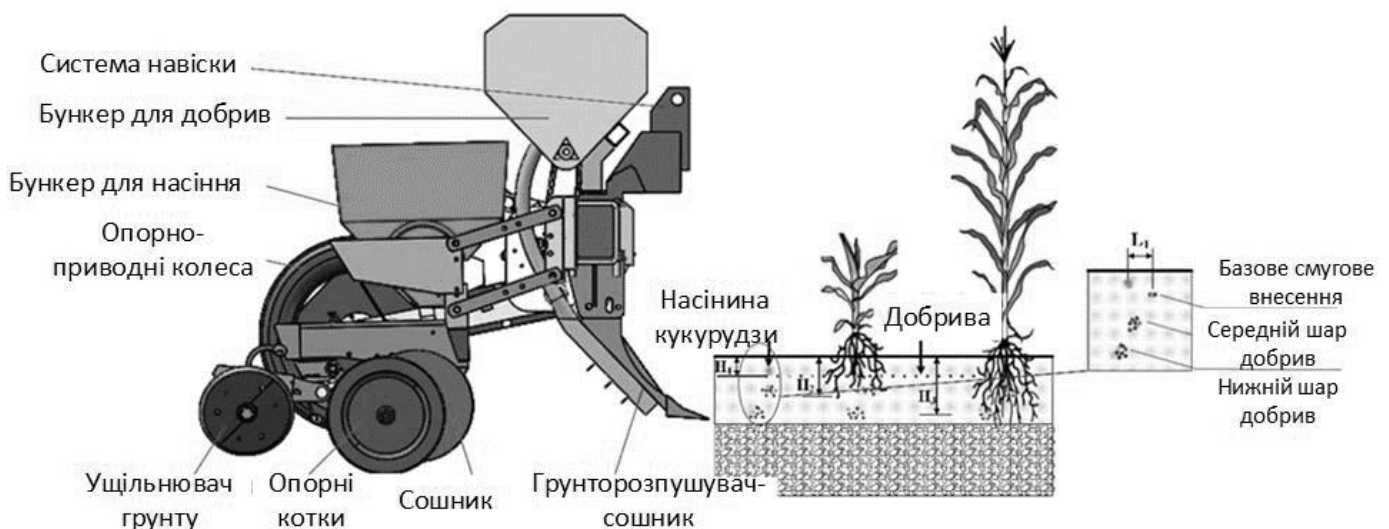


Рис. 2.1. Схема розташування добрив у ґрунті при пошаровому внесенні під кукурудзу

Переваги такої технології включають підвищення ефективності використання добрив, зменшення втрат поживних речовин через вимивання або випаровування, а також створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи на різних етапах вегетації. Завдяки точному розташуванню добрив у ґрунті пошарове внесення дозволяє підвищити врожайність та покращити якість продукції, водночас знижуючи енергетичні та матеріальні витрати на агротехнічні операції.

На рисунку 2.2 представлена схема агрегату, що складається з трактора та сівалки для просапних культур із багат шаровим внесенням добрив, який працює за технологією no-till. Сівалка підключається до задньої триточкової навіски трактора, що забезпечує надійну фіксацію та точність роботи агрегату під час руху по полю. Передній сошник-глибокорозпушувач закріплений на рамі болтовим з'єднанням і виконує дві ключові функції: розпушує ущільнений ґрунт у смугах та одночасно вносить мінеральні добрива. Таке багатфункціональне розташування дозволяє забезпечити оптимальні умови для проростання насіння, створюючи легкий доступ кореневої системи до поживних речовин і води. Висівні апарати закріплені на рамі сівалки за допомогою паралелограмної підвіски, що дозволяє їм повторювати рельєф ґрунту та зберігати постійну глибину висіву насіння. Опорні приводні колеса сівалки обертаються під дією тертя об ґрунт, передаючи рух на висівні апарати для точного та рівномірного розподілу насіння і гранульованих добрив.

Диски насінневих сошників виконують кілька важливих завдань: вони розрізають залишки соломи, формують посівне ложе та ущільнюють ґрунт у борозні. Завдяки цьому насіння розташовується на оптимальній глибині для швидкого проростання, а контакт із ґрунтом забезпечує достатнє зволоження та доступ до поживних речовин. Після висіву прикочувальні колеса завершують операцію ущільнення ґрунту навколо насіння, що сприяє кращому розвитку кореневої системи та підвищує енергію проростання. Завдяки такій конструкції агрегату досягається ряд переваг:

- рівномірне розміщення насіння та добрив у ґрунті, що підвищує ефективність їх засвоєння рослинами;
- зменшення втрат поживних речовин через вимивання або випаровування;

- оптимальні умови для проростання та розвитку кореневої системи, що сприяє підвищенню врожайності;
- зниження кількості проходів по полю, що економить паливно-мастильні матеріали та зменшує ущільнення ґрунту.
- можливість одночасного виконання кількох технологічних операцій - обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби — що підвищує продуктивність праці та скорочує загальні витрати.

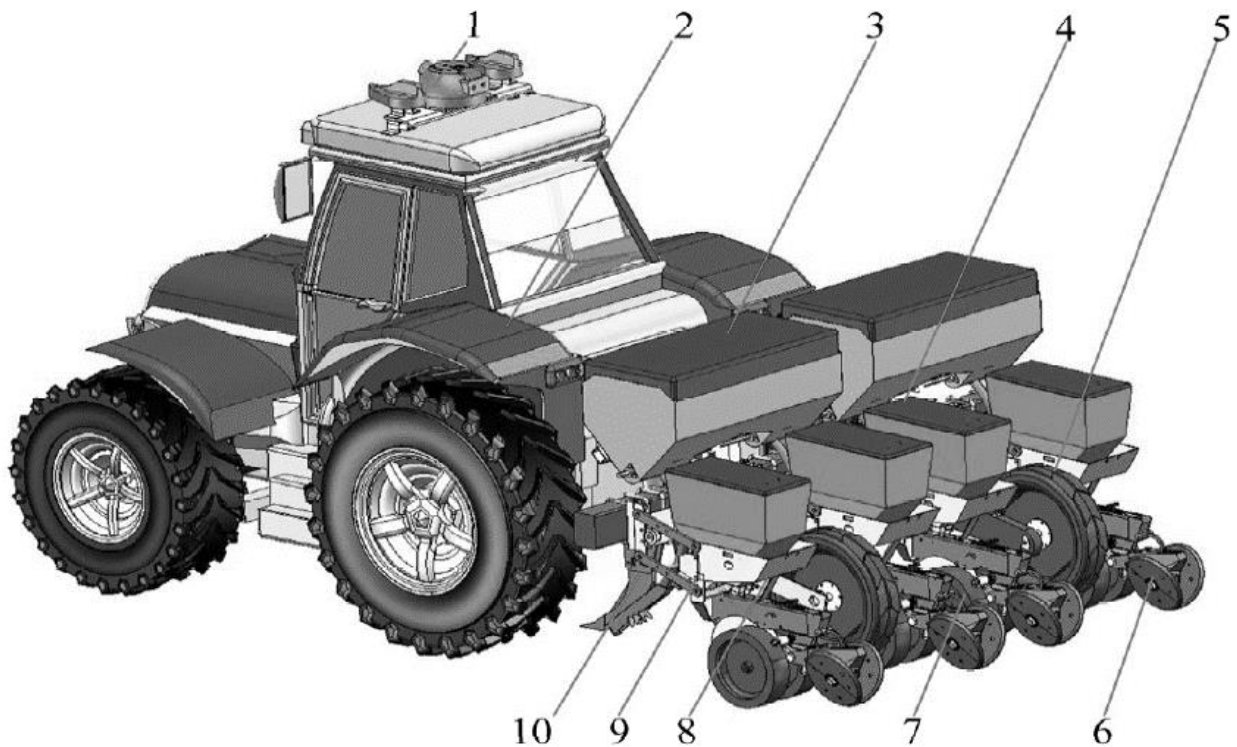


Рис. 2.2. Схематичне зображення агрегату для пошарового внесення добрив у рамках технології no-till.

Таким чином, запропонована конструкція агрегату забезпечує комплексне покращення агротехнічних показників, сприяє більш раціональному використанню добрив і створює оптимальні умови для отримання високого та якісного врожаю.

2.2. Конструктивні особливості та принцип роботи сошника-глибокорозпушувача для поетапного внесення добрив

Запропонований сошник-глибокого розпушення із порційним внесенням добрив являє собою інтегрований робочий орган, що включає сам глибокорозпушувач із кронштейном для кріплення до рами агрегату, тукопровід для подачі гранульованих добрив, приводний вал, електродвигун, реверсивний механізм, щіточку та дозувальну котушку з отворами, що забезпечують точне і рівномірне внесення добрив (рис. 2.3).

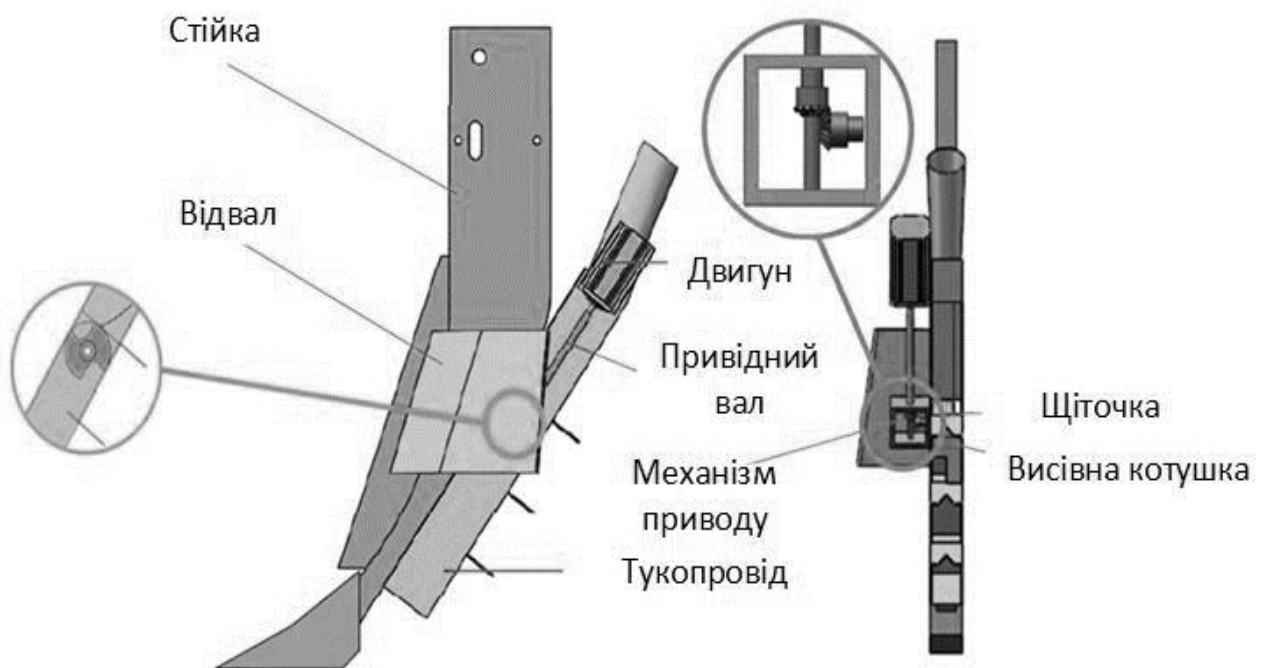


Рис. 2.3. Конструктивні особливості сошника для глибокого внесення добрив

У процесі руху агрегату датчик-приймач фіксує швидкість трактора та передає ці дані до комунікаційного контролера. Останній аналізує отриману інформацію і автоматично задає необхідні обороти електродвигуна, що відповідно впливає на кутову швидкість обертання висівної котушки. Завдяки цьому забезпечується стабільне й точне дозування гранульованих добрив.

Глибокорозпушувач під час роботи одночасно здійснює розпушення ґрунту та створює щілину для подальшого внесення добрив. Гранульовані добрива із

бункера потрапляють у трубопровід і під дією власної ваги рухаються вниз. Досягнувши внутрішньої перегородки, гранули розподіляються на два потоки: перший, виходячи через верхній отвір, уноситься смугою до верхнього горизонту ґрунту, забезпечуючи стартове живлення культур; другий спрямовується нижче - до висівної котушки, яка обертається за рахунок електродвигуна через приводний вал. Щіточка, розташована біля висівної котушки, забезпечує безперешкодний рух добрив у тукопроводі та запобігає їх застряганню всередині котушки. Далі гранули через середні і нижні випускні отвори подаються порціями у відповідні середній та нижній шари ґрунту, що дозволяє створити багат шарову систему живлення рослин. Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл поживних речовин по всій глибині кореневмісного шару, підвищує ефективність засвоєння добрив і сприяє оптимальному розвитку рослин протягом усього вегетаційного періоду.

Крім того, багат шарова подача добрив зменшує ризик їх втрат через вимивання або випаровування, дозволяє економно використовувати мінеральні ресурси та знижує енергетичні витрати на додатковий обробіток ґрунту. Така конструкція сошника-глибокорозпушувача забезпечує комплексне поєднання механічного розпушування ґрунту та точного дозування добрив, що значно підвищує агротехнічну ефективність застосування агрегату.

2.3. Проектування та обчислення основних компонентів котушки дозатора добрив

Ефективність і стабільність внесення мінеральних добрив значною мірою залежать від конструкції та розмірів котушки дозатора, прикладеного до неї зусилля приводу та способу розміщення гранул у пазах котушки. Ці параметри визначають рівномірність подачі добрив у ґрунт і точність їх дозування під час роботи агрегату.

Для вирощування кукурудзи рекомендована норма внесення мінеральних добрив зазвичай коливається в межах 450–750 кг/га². Добрива можуть вноситися різними способами: суцільним розподілом по поверхні ґрунту, рядковим або лунковим внесенням. Кожен з цих способів дозволяє забезпечити рослини

необхідною кількістю поживних речовин на відповідних етапах їх росту та розвитку.

З метою підвищення ефективності лункового порційного внесення добрив на визначеній глибині, яке забезпечує послідовне підживлення кукурудзи на різних стадіях її розвитку, була запропонована спеціальна конструкція катушки з пазами (рис. 2.4). Пази дозволяють дозувати гранули добрив порціями та рівномірно розподіляти їх у ґрунті, що підвищує точність внесення та мінімізує втрати поживних речовин через вимивання або вивітрювання.

Крім того, правильно спроектована катушка з пазами забезпечує стабільну роботу агрегату навіть при зміні швидкості руху та вологості ґрунту, дозволяючи підтримувати постійну норму внесення добрив і підвищувати продуктивність рослин. Такий підхід дозволяє поєднати механічну точність дозатора з агротехнічною ефективністю, забезпечуючи оптимальні умови для розвитку кукурудзи протягом усього вегетаційного періоду.

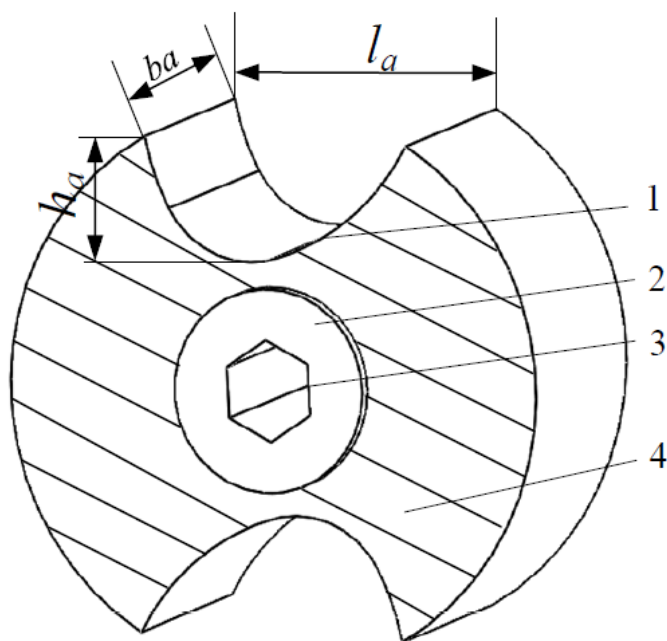


Рис. 2.4. Дозувальна катушка для подачі добрив: 1- жолоб; 2 - привідний вал, 3 - отвір для встановлення вала, 4 - тіло катушки

Кількість добрив, що подається з одного паза катушкового висівного апарату, визначається об'ємом самого жолоба.

$$V_1 = \frac{2}{3} l_a h_a b_a \quad (2.1)$$

де V_1 – жолобкова ємність (мм³);

l_a – поперечний розмір жолоба (мм);

h_a – глибина робочого жолоба (мм);

b_a – протяжність жолоба (мм).

На основі встановленої норми подачі добрив у кожен лунку, що складає в межах 6,8–10,8 г, для катушкового висівного механізму були підібрані оптимальні розміри робочих жолобів. Рекомендується застосовувати жолоби шириною 16–27 мм, глибиною 7–12 мм та довжиною близько 35 мм. Для стабільної та рівномірної подачі гранульованих добрив із катушки визначено, що в процесі дозування одночасно може працювати не більше чотирьох жолобів. Таке обмеження дозволяє врахувати геометричні характеристики кожного паза, а також діаметр тукопроводу, по якому рухається добриво, забезпечуючи безперебійний прохід гранул і точне дозування.

За умови, що гранули добрив вільно і швидко залишають жолоб, не спричиняючи додаткового опору повітря, тривалість вивантаження однієї дози з окремого паза може бути визначена за спеціальною розрахунковою формулою:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l_1}{v_1} \quad (2.2)$$

де t – порційне внесення добрив через катушку (с);

t_1 – тривалість вивантаження добрив з одного жолоба (с);

t_2 – інтервал подачі гранул між сусідніми жолобами робочого органа;

l_1 – проміжок між зернами висівної культури, мм

v_1 – швидкість переміщення робочого органу, мм/с

У поданому рівнянні показано, що кількість добрив, які потрапляють у ґрунт, залежить від співвідношення тривалості робочих циклів t_1/t . Тобто при русі сівалки вважається, що інтервал між висівом насінин кукурудзи (l_1) та швидкість переміщення агрегату (V_1) залишаються незмінними. Це дозволяє оцінювати дозування добрив, орієнтуючись саме на частоту циклів роботи механізму. На основі цього для забезпечення стабільного та рівномірного внесення добрив було обрано оптимальний діапазон робочих швидкостей агрегату від 1 до 4 км/год. Водночас це відповідає частоті обертання висівної котушки, яка повинна знаходитися в межах 6,67–20 об/хв, забезпечуючи точне дозування гранул добрив у лунки та рівномірний розподіл поживних речовин по всій площі посіву.

2.4. Дослідження динаміки подачі добрив у канавку висівної котушки

Під час розгляду процесу подачі добрив приймається спрощувальне припущення, що маса добрив поводить себе як суцільне однорідне тверде тіло. При цьому коливання системи та взаємне тертя частинок між собою не враховуються, оскільки їхній вплив на загальну картину руху в межах даного етапу аналізу є незначним. Об'єм добрив, що заповнює паз висівної котушки, трактується як єдина маса, для якої центр ваги обирається початком координатної системи [12]. У подальшому розглядаються траєкторії руху цієї маси відносно заданого початку координат: добрива здійснюють як нормальне, так і тангенціальне переміщення, що наочно відображено на рисунку 2.5. Такий підхід дозволяє спростити опис динаміки та зосередитися на ключових характеристиках процесу.

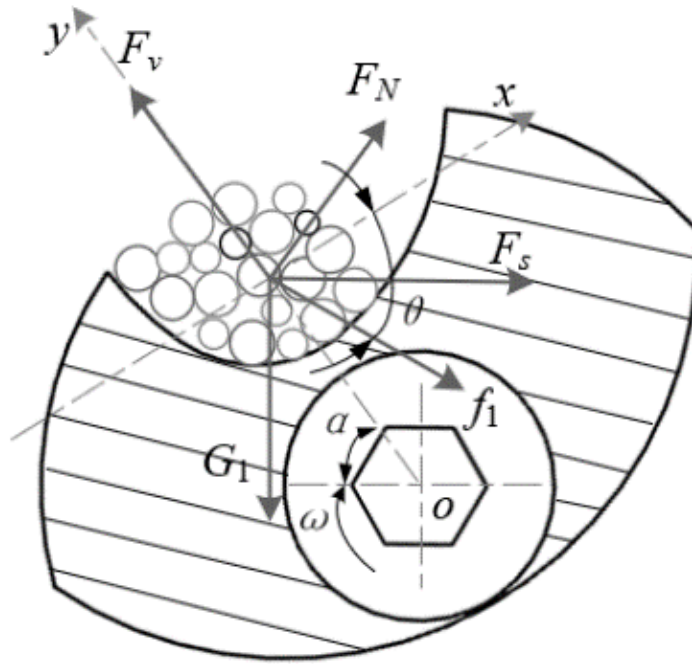


Рис. 2.5. Структурна схема взаємодії добрив із висівною катушкою під час їх завантаження в жолобі.

Сформулюємо систему рівнянь, що описує дії сил на гранули добрив у жолобі висівної катушки, згідно з представленим на схемі рис. 2.5:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_N \sin \theta + F_s \sin \alpha + f_1 \cos \theta = G_1 \cos \alpha \\ F_v + F_N \cos \theta \leq G_1 \sin \alpha + f_1 \sin \theta + F_s \cos \alpha \\ f_1 = \mu F_N \\ G_1 = mg \\ F_v = m\omega^2 R \\ \omega = \frac{\pi n}{30} \end{array} \right. \quad (2.3)$$

де

F_N – реакція нормального опору, що діє на добрива з боку стінки пазу (Н);

F_s – складова сили, яка впливає на добрива з боку стінки пазу (Н);

f_1 – сила тертя між внутрішньою поверхнею пазу та масою добрив (Н);

G_1 – вага (сила тяжіння) групи добрив (Н);

F_v – центробіжна сила інерції (Н);

μ – коефіцієнт тертя у зоні контакту добрив зі стінками пазу;

m – маса групи добрив (кг).

θ – кутова величина, що характеризує конусність пазу ($^{\circ}$);

ω – кутова швидкість обертання висівної котушки (рад/с);

R – характерний радіус котушки висівного апарата (мм);

n – частота обертання висівного вузла (об/хв);

g – прискорення, зумовлене вільним падінням (м/с^2).

Виходячи з рівності (2.3):

$$\alpha \geq \arccos \frac{e_1}{g \sqrt{1 + \mu^2}} - \arctan \frac{\omega^2 R e_1}{e_2} \quad (2.4)$$

де $e_1 = \cos\theta - \mu \sin\theta$, $e_2 = \mu \cos\theta + \sin\theta$.

На основі (2.4) виходить, що кут який заповнює α який визначає якість та повноту заповнення паза, залежить від кутової швидкості ω обертання висівної котушки, її радіуса R , геометрії паза через кут конусності θ , а також від коефіцієнта тертя μ між гранулами добрив і стінками котушки. Під час вибору кутової швидкості роботи висівної котушки встановлено, що початковий кут заповнення α та кут конусності θ паза перебувають у взаємно оберненій залежності: зі зменшенням одного параметра інший зростає. Для забезпечення потрапляння гранул добрив у паз за частоти обертання $n = 6,67\text{--}20$ об/хв необхідно, щоб значення α не перевищувало природний кут спокою добрив, який становить приблизно 35° . У такому випадку кут конусності θ паза, визначений за формулою (2.4), набуває значень у межах $8,02\text{--}50,42^{\circ}$. Такий діапазон забезпечує стабільне захоплення та транспортування добрив у процесі роботи висівної системи.

2.5. Дослідження динамічних характеристик процесу виведення добрив з паза катушки

Вихід добрив із жолоба катушки в осьовому та радіальному напрямках виконується під впливом двох ключових сил: власної ваги гранул та відцентрової сили, що виникає внаслідок обертання катушки. Поєднання цих чинників визначає рівномірність і стабільність подачі добрив у ґрунт. Тривалість інтервалу між моментом, коли гранули починають сходити з катушки, і моментом їх повного відокремлення безпосередньо формує довжину порції добрив. Чим більший цей проміжок часу, тим більше розтягується смуга внесення, що призводить до збільшення довжини лунки та зниження якості її утворення.

Для забезпечення точнішого дозування та підвищення ефективності використання добрив необхідно скоротити зазначений часовий інтервал, що сприятиме кращому формуванню лунки й зменшенню непродуктивних втрат. На рисунку 2.6 подано схематичний аналіз сил, які діють на гранули добрив під час їх виходу з паза висівної катушки, що дає змогу глибше зрозуміти особливості руху частинок та фактори, котрі впливають на якість висіву.

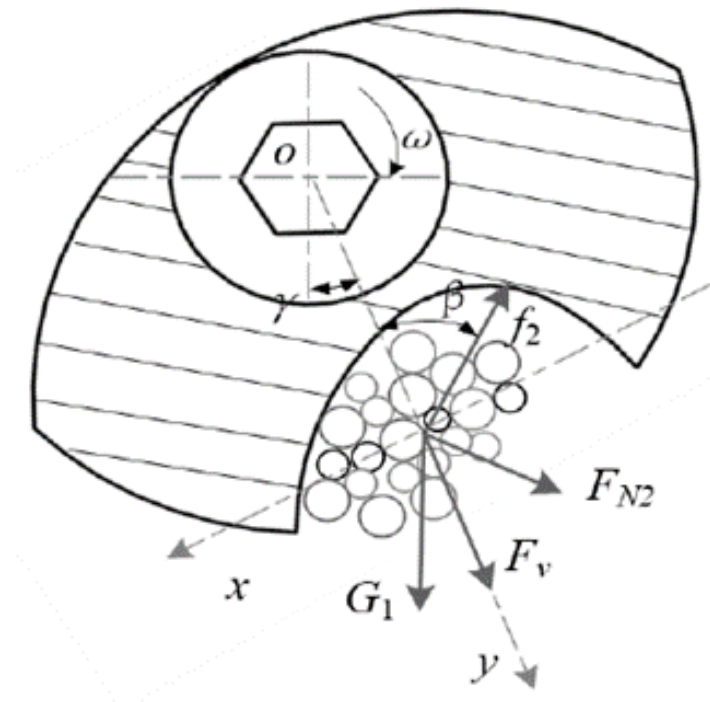


Рисунок 2.6. Механізм сходження гранул добрив з робочої поверхні жолоба.

$$\begin{cases} G_1 \sin \gamma = f_2 \sin \beta + F_{N2} \cos \beta \\ G_1 \cos \gamma + F_v + F_{N2} \sin \beta = f_2 \cos \beta \\ f_2 = \mu F_{N2} \end{cases}$$

F_{n2} – реакція опори, що діє на гранули добрив з боку стінок пазу висівної катушки (Н);

f_2 – сила тертя, яка виникає між внутрішньою поверхнею пазу та масою добрив (Н);

γ – кут, під яким відбувається відокремлення добрив від жолоба;

β – кут, що характеризує момент виходу (вивантаження) добрив (°).

Отже, на основі виразу (2.5) отримуємо:

$$\gamma = \arccos \frac{j_1}{G_1 \sqrt{j_1^2 + j_2^2}} + \arcsin \frac{F_v j_2}{\sqrt{j_1^2 + j_2^2}} \quad (2.6)$$

де $j_1 = \mu \sin \beta + \cos \beta$, $j_2 = \mu \cos \beta - \sin \beta$.

Враховуючи фізико-механічні характеристики гранульованих добрив та робочу частоту обертання колеса дозувального механізму в межах 6,67–20 об/хв, а також з метою спрощення подальших розрахунків і технологічної обробки, було прийнято припущення щодо оптимального діапазону кута δ . Зокрема, встановлено, що кут сходження добрив доцільно задавати в межах 50-70°, оскільки саме цей інтервал забезпечує стабільний рух гранул та їх контрольоване відокремлення від поверхні висівної катушки.

Для уточнення оптимального положення та кута встановлення напрямної трубки, через яку подаються добрива, був виконаний динамічний аналіз дії сил на частинки добрив після їх виходу з пазу катушки. У ході дослідження розглядали взаємодію гранул із силовими факторами, що виникають під час їх вільного руху. Схематичне зображення цього процесу та силової картини наведено на рис. 2.7.

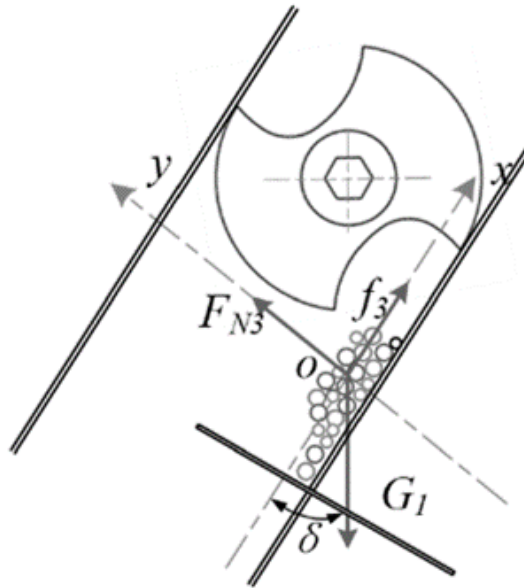


Рис. 2.7. Схематичне представлення руху гранул добрив у трубопроводі

$$\begin{cases} F_a = G_1 \cos \delta - f_3 \\ F_{N3} = G_1 \sin \delta \\ f_3 = \mu_1 F_{N3} \end{cases} \quad (2.7)$$

де F_a – сумарна сила, що діє на групу гранул добрив (Н);

F_{N3} – реакція стінки трубопроводу на гранули добрив у нормальному напрямку;

f_3 – тертя, яка виникає між гранулами добрив та стінками трубопроводу (Н);

δ – кут, під яким встановлено трубопровід;

μ_1 – тертя між частками добривами та внутрішньою поверхнею трубопроводу.

Враховуючи наведені величини та залежності, з рівняння (2.7) можна отримати наступне значення:

$$F_a = G_1 (\cos \delta - \mu_1 \sin \delta) \quad (2.8)$$

Ось перефразований і трохи розширений варіант тексту:

Діапазон кута δ , під яким встановлюється туковисівна трубка, має 30 -40°. З аналізу виразу (2.8) видно, що сума сил F_a , що діє на частки добрив після їх виходу з жолоба котушки, зменшується зі збільшенням кута δ . Це означає, що положення

трубки безпосередньо впливає на швидкість і траєкторію руху гранул, а також на кількість добрив, що надходить до кожного шару ґрунту.

У момент виходу з пазу основний вплив на частинки добрив здійснює сила тяжіння G_1 , і їх рух визначається законом вільного падіння з певною початковою швидкістю v . Залежно від величини цієї швидкості гранули можуть потрапляти в різні отвори ґрунту, що безпосередньо впливає на точність внесення добрив при роботі глибокорозпушувача-сошника. Таким чином, правильний вибір кута δ та контроль початкової швидкості руху частинок є критичними для забезпечення рівномірного та ефективного внесення добрив у ґрунт.

Висновки до розділу.

1. Створено сошник-глибокорозпушувач, який дозволяє вносити мінеральні добрива на різні глибини ґрунту, забезпечуючи постачання поживних речовин рослинам у різні періоди їхнього росту та розвитку.

2. Глибокорозпушувач здатний ефективно розпушувати нижні шари ґрунту перед сівбою за технологією no-till, що сприяє зменшенню ерозії, підвищенню водоутримувальної здатності ґрунту, покращенню умов для розвитку кореневої системи рослин та повнішому засвоєнню поживних речовин з добрив.

3. Теоретичний аналіз показав, що для ефективного внесення добрив робоча швидкість агрегату має перебувати в межах 1–4 км/год, що відповідає частоті обертання висівної катушки 6,67–20 об/хв. Встановлено, що початковий кут заповнення добривом не перевищує природного кута спокою $\alpha = 35^\circ$, а кут конусності жолоба катушки коливається від $8,02$ до $50,42^\circ$. Вибір таких параметрів забезпечує рівномірну та стабільну подачу гранул у ґрунт, що сприяє ефективному живленню рослин.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СТВОРЕНОГО ПРИСТРОЮ ШЛЯХОМ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1. Створення моделі для імітаційного моделювання

Для оцінки експлуатаційної ефективності розробленого агрегату з пошаровим внесенням добрив було проведено моделювання процесу його роботи з використанням програмного забезпечення для аналізу дискретних елементів. Це дозволило визначити взаємодію частинок ґрунту та гранул добрив, а також проаналізувати вплив кута встановлення тукопроводу на якість формування отворів і стабільність подачі добрив у ґрунт.

Для створення тривимірної моделі пристрою, призначеного для пошарового внесення добрив, використовувалося програмне забезпечення EDEM [13], що забезпечує точне відтворення динаміки руху частинок та дозволяє досліджувати фізичні взаємодії в системі агрегат–добрива–ґрунт. Такий підхід дав змогу провести всебічний аналіз роботи пристрою та визначити оптимальні параметри його налаштування.

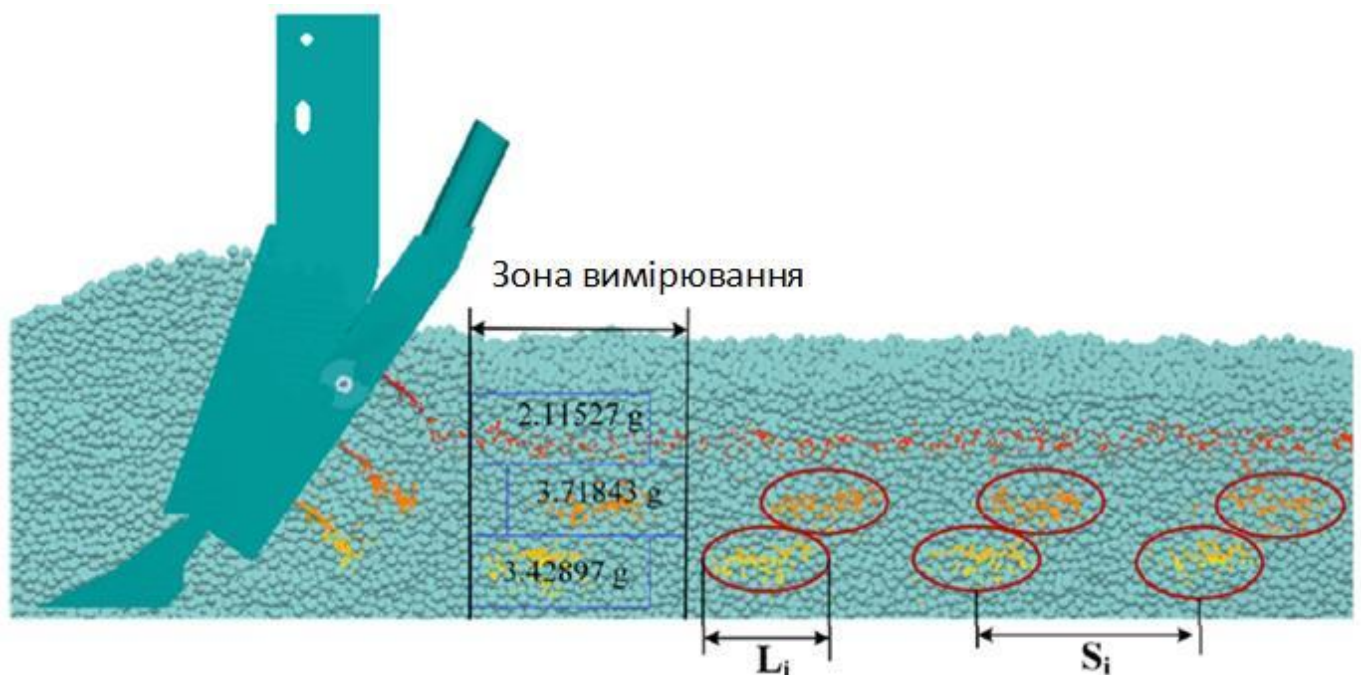


Рисунок 3.1. Модель для імітації процесу пошарового внесення добрив

Для моделювання взаємодії частинок було застосовано контактну механіку Герца–Міндліна без урахування ефекту ковзання, що забезпечує точне описання контактів між частинками. Ряд досліджень показав, що ґрунт можна ефективно замінити еквівалентними сферичними частками які мають радіус 6 мм, що достатньо точно відтворює взаємодію між ґрунтом і робочим органом глибокорозпушувача. Що стосується добрив, більшість гранул мають практично сферичну форму – більше як дев'яносто відсотків частинок можна вважати сферичними з еквівалентним діаметром 3,0 мм.

Деякі конструктивні елементи моделі, що не впливають на точність і аналітичну продуктивність моделювання, були спрощені для оптимізації обчислювального процесу. Імітаційна модель розташування частинок та процесу пошарового внесення добрив представлена на рисунку 3.1.

Значення параметрів частинок ґрунту, гранул добрив та характеристик смугово-пошарового внесення наведені у таблиці 3.1 [16], що дозволяє забезпечити точність і коректність моделювання.

Таблиця 3.1.

Параметри добрив та їхні відповідні величини

Параметри	Матеріал / елемент конструкції	Значення
Плотність матеріалу, кг/м ³	Гранульовані добрива	1575,0
	Ґрунт	2500,0
	Сталь	7865,0
	Пластик	1200,0
Модуль зсувної деформації, Па	Гранули добрив	$1,250 \times 10^8$
	Ґрунт	$1,000 \times 10^8$
	Сталь	$7,900 \times 10^{10}$
	Пластик	$1,000 \times 10^9$
Коефіцієнт Пуассона	Гранули добрив	0,250
	Ґрунт	0,300
	Сталь	0,370
	Пластик	0,400
Коефіцієнт пружного відскоку	Добриво-добриво	0,090
	Добриво-сталь	0,500
	Добриво-пластик	0,400
	Добриво- Ґрунт	0,020
	Ґрунт - Ґрунт	0,500

	Ґрунт -сталь	0,300
Статичний коефіцієнт тертя	Добриво-добриво	0,300
	Добриво-сталь	0,400
	Добриво-пластик	0,200
	Добриво- Ґрунт	1,250
	Ґрунт - Ґрунт	0,500
	Ґрунт -сталь	0,500
Показник тертя котіння	Добриво з добривом	0,250
	Добриво-сталь	0,020
	Добриво-пластик	0,090
	Добриво- Ґрунт	1,250
	Ґрунт - Ґрунт	0,150
	Ґрунт -сталь	0,050

3.2. Методи та послідовність проведення експерименту

На основі проведеного аналізу було організовано однофакторний експеримент з метою визначення оптимального кута встановлення тукопроводу. Експеримент проводився при поступальній швидкості руху агрегату 4 км/год і куті сходу добрив 60°, що дозволило оцінити вплив п'яти різних значень кута установки трубки на стабільність подачі добрив у верхній, середній та нижній шари ґрунту.

Для аналізу результатів у програмі EDEM після завершення моделювання була додана функція Grid Bin Group, яка дозволяє визначати масу частинок у заданих об'ємах. Було вибрано 10 випадкових ділянок довжиною 25 мм у зоні експериментальної стабільності однофакторного тесту. В аналогічний спосіб було зафіксовано масу добрив у верхньому шарі, а також у середньому та нижньому шарах, розташованих під ним.

Виходячи з отриманих результатів, був визначений коефіцієнт стабільності, який відображає нерівномірність розподілу обсягу добрив у трьох шарах ґрунту при різних кутах установки. Розрахунок проводився за відповідною формулою

$$\eta = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - m_0)^2}}{m_0} \times 100\%$$

де η – показник рівномірності, що характеризує відхилення обсягу внесених добрив (%);

m_i – фактична маса внесених добрив у кожному вимірюванні, грам;

m_0 – затверджена стандартна норма внесення добрив, кг/га;

n – загальна кількість проведених вимірювань.

3.3. Показники, отримані в ході експериментальної роботи

Для оцінки впливу кута нахилу тукопроводу на коефіцієнт стабільності подачі добрив та довжину розподілу внесених гранул було проаналізовано кількість добрив, що потрапляє у середній та нижній шари ґрунту, а також проведено детальний аналіз їхніх характеристик. Результати цього дослідження наведені на рисунку 3.2, що дозволяє наочно оцінити вплив кута нахилу на рівномірність і ефективність внесення добрив.

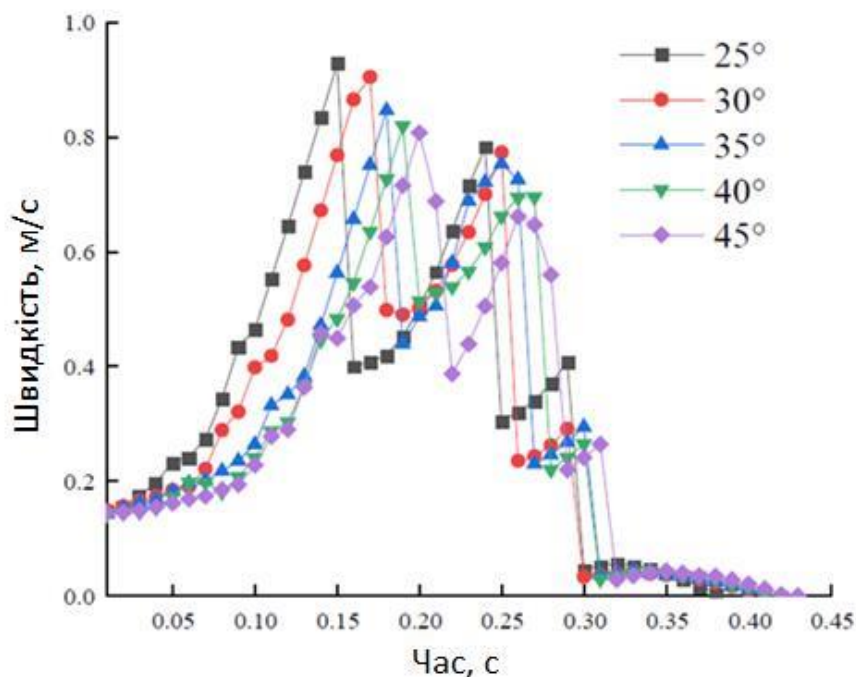


Рис. 3.2. Вплив кута нахилу тукопроводу на швидкість руху гранул добрив у середньому шарі ґрунту

Як показано на рисунку, після виходу з пазу висівної котушки гранули добрив прискорюються під дією сили тяжіння. При встановленні кута нахилу тукопроводу

25° гранули першими досягали розвантажувального отвору, причому час досягнення середнього шару складав 0,15 с, а нижнього шару - 0,20 с. У випадку кута 45° гранули доходили до отворів останніми: час досягнення середнього шару становив 0,21 с, а нижнього шару - 0,25 с.

Це свідчить, що зменшення кута нахилу тукопроводу збільшує прискорення частинок добрив, що забезпечує вищу початкову швидкість гранул при вході до розвантажувального отвору. Хоча це призводить до більшого взаємного зіткнення частинок у отворі та втрати швидкості, велика початкова швидкість сприяє більш швидкому виходу добрив із тукопроводу, зменшуючи загальний час їх подачі.

Порівняння з рисунком 3.3 показує, що швидкість гранул, які потрапляють у нижній розвантажувальний отвір, вища, ніж у середньому шарі

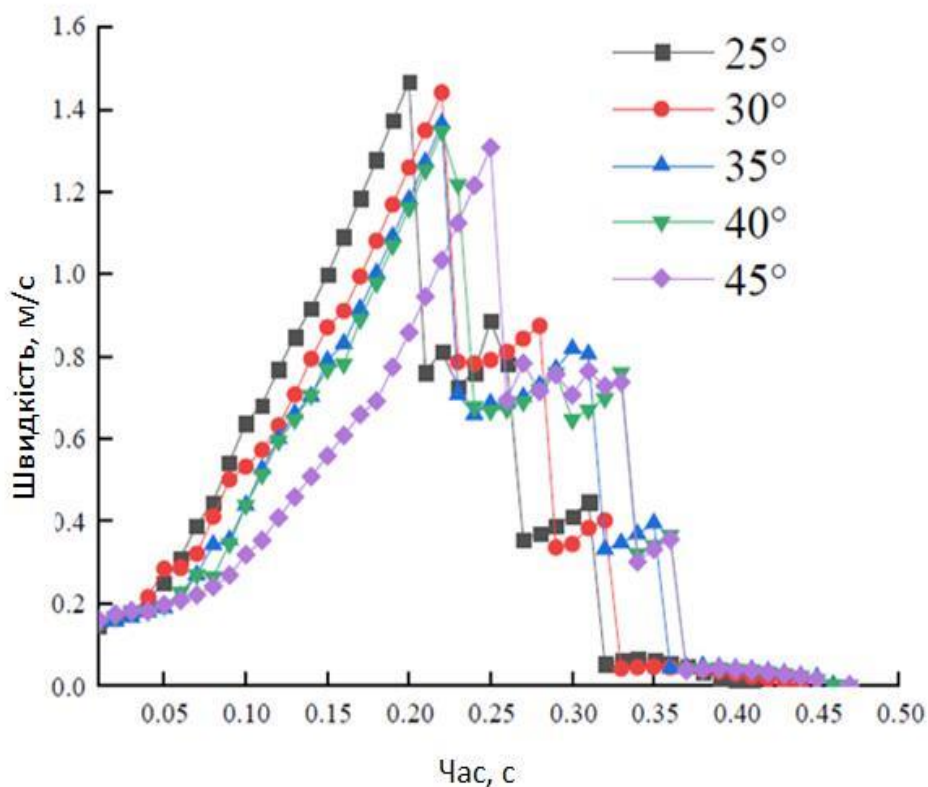


Рисунок 3.3. Вплив кута нахилу тукопроводу на швидкість гранул добрив у нижньому шарі ґрунту.

Крім того, різниця в часі падіння добрив у нижній шар при різних кутах нахилу більша, ніж у середньому шарі, що призводить до більшої неоднорідності

довжини розподілу добрив у ґрунті. Таким чином, кут нахилу тукопроводу є критичним параметром, що впливає на швидкість, час подачі та рівномірність розподілу добрив.

На рисунку 3.4 представлено вплив різних кутів встановлення тукопроводу на розподіл добрив між шарами ґрунту. Аналіз середньої маси внесених добрив у верхній, середній та нижній шари показав, що при збільшенні кута нахилу трубки частка добрив, що потрапляє у верхній шар, зростає від 7,61% до 26,71%. При цьому кількість добрив у середньому шарі майже не змінювалася, а частка добрив, що надходить у нижній шар, зменшувалася з 51,35% до 33,33%. Ці результати свідчать про те, що кут встановлення тукопроводу істотно впливає на вертикальний розподіл добрив у ґрунті та може використовуватися для регулювання постачання поживних речовин у різні шари.

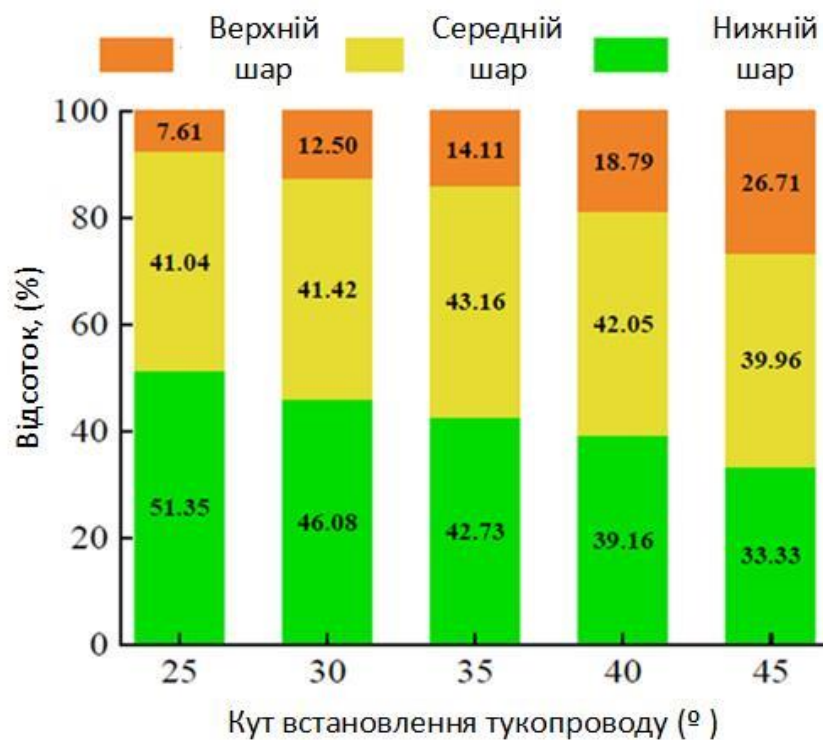


Рис. 3.4. Розподіл добрив за шарами ґрунту у відсотковому вираженні.

На рисунку 3.5 показано, графік який ілюструє залежність довжини розподілення добрив у ґрунті від кута встановлення тукопроводу для середнього та

нижнього шару.тенденції їхнього вертикального розподілу.

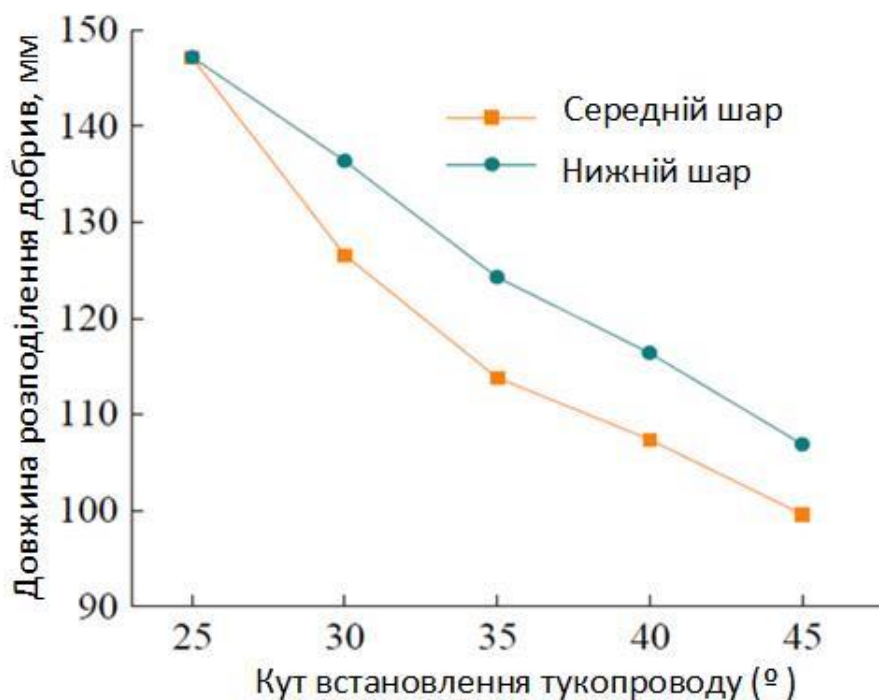


Рис. 3.5. Просторове розподілення добрив у лунках середнього і нижнього шарів ґрунту

Для обох шарів спостерігається зменшення довжини розподілу добрив із збільшенням кута встановлення тукопроводу від 25° до 45°. Це свідчить про те, що більший кут нахилу обмежує дальність розкидання гранул. Нижній шар завжди має більшу довжину розподілу порівняно із середнім шаром. Різниця між шарами зменшується при збільшенні кута: при 25° нижній шар ≈ 147 мм, середній ≈ 146 мм; при 45° нижній ≈ 107 мм, середній ≈ 100 мм.

Це свідчить про те, що при більшому куті нахилу швидкість частинок добрив на виході з розвантажувального отвору знижується, що призводить до скорочення довжини розподілу. Водночас спостерігається збільшення частки добрив, що надходить у верхній шар, а також розширення проміжку між середнім та нижнім шарами.

Для забезпечення оптимального співвідношення добрив у середньому та нижньому шарах, що відповідає особливостям росту кукурудзи [17], було обрано кут встановлення тукопроводу в межах 30–40°. Такий вибір дозволяє підтримувати

ефективне надходження поживних речовин у потрібні шари ґрунту та забезпечує більш рівномірний розподіл добрив у процесі внесення.

Висновки до розділу

1. У ході проведеного однофакторного експериментального дослідження, метою якого було визначення оптимального кута встановлення тукопроводу при внесенні добрив, було виявлено, що при поступальній швидкості агрегату 4 км/год та куті виходу добрив 60° найбільш ефективний розподіл поживних речовин досягається при куті установки тукопроводу в межах $30 - 40^\circ$.

2. Цей оптимальний діапазон забезпечує рівномірне надходження добрив у ґрунт, сприяє зменшенню втрат матеріалу та підвищує ефективність живлення рослин у різні фази їхнього росту. Використання такого кута встановлення дозволяє не лише покращити вертикальний розподіл поживних речовин, а й підвищити врожайність культури та забезпечити економію добрив, що є важливим аспектом раціонального ведення сільського господарства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні положення та ідентифікація небезпечних виробничих факторів

Процес сівби кукурудзи з одночасним внесенням мінеральних добрив пов'язаний із комплексом шкідливих і небезпечних виробничих факторів. До основних ризиків належать: підвищена запиленість робочої зони, токсичні властивості деяких добрив, наявність рухомих механізмів, можливість засмічення робочих органів, робота в умовах відкритого ґрунтового середовища, небезпека займання техніки, вплив шуму, вібрацій, метеорологічних умов.

Обслуговування сівалок і туковисівних систем регламентується:

1. Законом України «Про охорону праці»;
2. ДБН та ДСТУ щодо безпеки сільськогосподарської техніки;
3. Правилами охорони праці для працівників сільського господарства;
4. Інструкціями заводів-виробників сівалок, тракторів та систем внесення добрив.

Всі працівники перед початком робіт повинні пройти первинний інструктаж, навчання, перевірку знань та медичний огляд.

Ідентифікація небезпечних виробничих факторів

При роботі з мінеральними добривами виділяють такі фактори:

Хімічні фактори

- подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів;
- токсична дія азотних, фосфорних, комплексних гранульованих добрив;
- небезпека хімічних опіків при потраплянні на шкіру.

Механічні фактори

- рухомі елементи дозаторів, привідних валів, ланцюгів;
- сошники, диски, лопатки, які можуть спричинити травмування;
- падіння агрегату або його частин при неправильному піднятті чи ремонті.

Фізичні фактори

- підвищений рівень шуму та вібрації в кабіні трактора;
- викидання ґрунту, камінців і частинок добрив з робочої зони;
- можливість перегрівання двигуна в умовах тривалого навантаження.

Пожежна та вибухонебезпека

- самозаймання пилу;
- контакт палива з гарячими частинами двигуна;
- коротке замикання електричних систем контролю висіву.

4.2. Вимоги до технічного стану агрегату та організація безпечної роботи тракториста-машиніста

Перед початком роботи проводять детальний огляд сівалки:

- перевіряють справність дозувальних пристроїв та рівномірність подачі добрив;
- оглядають стан сошників — вони повинні бути гострими, відрегульованими та не мати тріщин;
- тукопроводи мають бути чистими, без засмічення та слідів корозії;
- захисні кожухи усіх обертових частин повинні бути на місці;
- перевіряють тиск у шинах, мастило у редукторах, стан гідравліки;
- електронні системи контролю висіву повинні бути правильно підключені, датчики справні, ізоляція проводів неущкоджена;
- наявність вогнегасника, аптечки, набору ключів, лома, щітки для очищення сошників;

Техніку заборонено експлуатувати за наявності несправностей.

Під час сівби тракторист зобов'язаний:

- працювати у кабіні з фільтраційною системою;
- підтримувати рівну швидкість руху, уникати різких гальмувань;
- не допускати присутності сторонніх у зоні 15–20 м від працюючої сівалки;
- контролювати показники монітора висіву та рівномірність подачі добрив;
- регулярно перевіряти засмічення сошників, але лише після повної зупинки агрегату;
- не допускати перевантаження бункерів добрив.

4.3. Безпечна робота з мінеральними добривами

Під час роботи з добривами необхідно використовувати:

- гумові рукавички;
- захисні окуляри;
- респіратор FFP2/FFP3;
- щільний спецодяг;
- гумові чоботи.

Під час заповнення бункера:

- трактор і сівалка повинні бути зупинені;
- заборонено спиратися на кришки бункера або стояти під піднятим навантажувачем;
- робити завантаження у безвітряну погоду, щоб зменшити запиленість;
- у разі потрапляння добрив у очі негайно промити водою.

При обслуговуванні сівалки слід:

- очищати сошники та тукопроводи тільки спеціальними щітками;
- не торкатися руками гострих або нагрітих частин;
- фіксувати раму сівалки підпірками при проведенні ремонту;
- не перебувати між трактором і сівалкою під час агрегування;
- уникати перебування на шляху можливого відкату техніки.

Очищення застряглих добрив проводиться тільки при вимкненому приводі.

4.4. Пожежна безпека та вимоги санітарії та особистої гігієни

Під час роботи:

- вогнегасник повинен знаходитися в легкодоступному місці;
- паливні баки повинні бути справними й герметичними;
- заборонено накопичення пилу біля випускної системи трактора;
- заправку проводять при заглушеному двигуні;
- куріння поблизу агрегату суворо заборонено.

У разі виникнення займання двигун необхідно одразу вимкнути.

Для забезпечення санітарних норм працівник повинен:

- після роботи очистити спецодяг та взуття від добрив;
- вимити руки та обличчя перед прийомом їжі;
- регулярно провітрювати кабіну трактора;
- використовувати чисту питну воду;
- не торкатися обличчя під час завантаження добрив.

У разі нещасного випадку:

при попаданні добрив у очі - промити великою кількістю води, звернутися до лікаря;

- при подразненні шкіри - змити добриво, накласти стерильну пов'язку;
- при інгаляційному отруєнні - забезпечити свіже повітря, дати постраждалому воду;
- при механічних травмах - зупинити кровотечу, накласти пов'язку, викликати швидку.

Аптечка повинна містити антисептики, бинти, перев'язувальні матеріали, антигістамінні засоби.

Висновок по розділу

Під час внесення мінеральних добрив при сівбі кукурудзи ключовим завданням є забезпечення безпеки оператора та зведення до мінімуму впливу шкідливих факторів на організм людини. Дотримання вимог охорони праці дозволяє: знизити ризик хімічного та механічного травмування, забезпечити безвідмовну роботу сівалки та дозувальних систем, підвищити ефективність та якість виконання технологічного процесу, мінімізувати негативний вплив мінеральних добрив на довкілля.

5. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ

Економічна доцільність застосування запропонованого сошника глибокого розпушення для внесення мінеральних добрив у різні горизонти ґрунту під час сівби просапних культур полягає в тому, що його використання дозволяє скоротити витрати добрив і усунути потребу у проведенні двох окремих підживлень. Окрім цього, відпадає необхідність у виконанні частини передпосівних обробітків ґрунту, що також зменшує загальні виробничі витрати.

Для порівняння з типовою технологією вирощування кукурудзи були визначені ті етапи, які може замінити модернізована сівалка, виконана на базі Monosem NG Plus.

Показники роботи, за якими оцінювали результативність використання створеного пристрою, визначали відповідно до загальноприйнятої методики [24]. Такий підхід забезпечив можливість отримати об'єктивні дані та порівняти технічні й економічні переваги агрегату.

Вихідні дані, що використовуються для проведення розрахунків, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Дані для аналізу економічного ефекту використання сошника глибокого розпушення для різної глибини внесення мінеральних добрив.

Показники	Базовий варіант	Модернізований варіант
Компоновка агрегату	Fendt 312 Vario + Kverneland PW 100 3+1 Fendt 312 Vario + Kverneland CLC Pro Classic Fendt 312 Vario + Kverneland Optima SX Fendt 312 Vario + Kverneland iXter B18	Fendt 312 Vario + розроблена сівалка

Номинальна потужність двигуна трактора, кВт	89,0	89,0
Вартість придбання трактора, грн	3000000,0	3000000,0
Щорічний робочий час трактора, год	1600,0	1600,0
Ціна покупки агротехніки, грн	480000,0 1120000,0 662447,0 1200000,0	700000,0
Години роботи машини за рік, год	600,0 230,0 170,0 450,0	170,0
Сумарні експлуатаційні відрахування з урахуванням амортизації та технічного обслуговування, %	21,50	21,50
Потреба в обслуговуючому персоналі, осіб	1 1 1 1	1
Експлуатаційна швидкість машини, км/год	8,0 10 8,0 10	2,0
Ефективна ширина захоплення агрегату, м	1,760 13,60 5,60 18,0	2,80
Коефіцієнт ефективного використання робочого часу	0,80	0,80
Робоча продуктивність, га/год	3,60	7,20
Витрати на оплату праці, грн/год	100,00	100,00
Витрати палива за одиницю площі, кг/га	14,00 6,00 8,00 5,00	10,00
Вартість ПММ, грн.	55,0	55,0

Витрати на експлуатацію машини на одиницю роботи визначаються так:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4,$$

де C_1 – заробітна плата обслуговуючого з урахуванням соціальних відрахувань, грн/га;

C_2 – вартість спожитих паливно-мастильних матеріалів, грн/га;

C_3 – кошти, спрямовані на капітальний ремонт та відновлення машини, грн/га;

C_4 – витрати на підтримку машини в робочому стані та її поточний ремонт.

Розмір заробітної плати обслуговуючого персоналу з урахуванням соціальних відрахувань визначається за формулою:

$$C_1 = \frac{m_1 n_1 + m_2 n_2 + \dots + m_i n_i}{W_{зм}}, \quad (5.2)$$

де m_i – чисельність працівників i -ї кваліфікаційної категорії, задіяних на агрегаті.;

n_i – оплата праці працівника i -ої кваліфікації за змінну норму виробітку, грн;

$W_{зм}$ – змінний показник продуктивності машини., га/зм.

Фінансова оцінка спожитих ПММ дорівнює:

$$C_2 = C_K Q_{\Pi}, \quad (5.3)$$

де C_K – повна вартість одного кілограма палива., грн/кг;

Q_{Π} – споживання палива, кг/га.

Фінансові кошти, передбачені на відновлення та капітальний ремонт машини, визначаються наступним чином:

$$C_3 = \frac{B_{TP} \cdot a_{TP}}{100 \cdot W_z \cdot t_{TP}} + \frac{B_M \cdot a_M \cdot n_M}{100 \cdot W_z \cdot t_M}, \quad (5.4)$$

де B_{TP} – балансова вартість, грн;

a_T – встановлені відсотки амортизаційних та капітальних відрахувань для машини, % ($a_K = 15,0$ %);

t_{TP} , t_M – щорічний обсяг роботи агрегату в конкретній зоні (фактичний або нормативний), год.

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт машини дорівнюють:

$$C_4 = \frac{B_{TP} \cdot P_{TP}}{100 \cdot W_2 \cdot t_{TP}} + \frac{B_M P_M}{100 \cdot W_2 \cdot t_M}, \quad (5.5)$$

де P_{TP} – загальна ставка відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування агрегату, % ($P_{TP} = 6,5\%$).

Економічний ефект у вигляді скорочення прямих витрат на гектар при використанні вдосконаленого обладнання становить:

$$E_n = C - C' \quad (5.6)$$

де C' – прямі експлуатаційні витрати при застосуванні удосконаленої машини, грн.

При обробітку 100 га площі використання модернізованого агрегату призведе до наступної різниці прямих витрат:

$$E'_n = E_n \cdot F \quad (5.7)$$

де F – площа оброблюваної ділянки, га.

Виходячи з прямих витрат на машини та ефективності підвищення продуктивності агрегату, економічний ефект на гектар посівів розраховується наступним чином:

$$E' = E'_n - E_n \quad (5.8)$$

Строк окупності модернізованої сівалки:

$$T_{ок} = \frac{\Delta B}{E} \text{ рік} \quad (5.9)$$

Складові елементи витрат коштів, що враховуються у розрахунках, представлені в таблиці 5.2.

Визначення економічних показників при використанні розробленого сошника глибокого розпушення та внесення добрив

Показники	Варіанти		Відхилення +-
	Базовий	Модернізований	
Витрати трудових ресурсів, люд.-год/га	1,50	1,10	- 0,4
Витрати на оплату праці, грн/га	149,060	111,610	- 37,45
Вартість спожитого палива, грн/га	2090,000	550,000	- 1540
Витрати на реновацію та капітальний ремонт, грн/га	865,910	1003,230	+ 137,32
Витрати на обслуговування та поточний ремонт машини, грн/га	375,230	434,730	+ 59,50
Загальні експлуатаційні витрати, грн/га	3480,200	2099,570	- 1380,63
Річний економічний ефект, грн	143695,490		
Строк окупності, років	1,0		

Висновок по розділу

Впровадження модернізованого агрегату Fendt 312 Vario у поєднанні з удосконаленою сівалкою при пошаровому внесенні мінеральних добрив демонструє значну економічну ефективність у порівнянні з базовою технологією. Завдяки використанню удосконаленого агрегату спостерігається зменшення трудових витрат на 0,4 люд.-год/га, що дозволяє скоротити витрати на заробітну плату на 37,45 грн/га. Найбільший внесок у економію забезпечує зниження витрат на паливо на 1540 грн/га, що робить його основним фактором економічної вигоди.

Використання удосконаленого агрегату забезпечує річний економічний ефект у розмірі 143 695,49 грн та дозволяє окупити інвестиції протягом одного

року, що робить його впровадження економічно доцільним і ефективним заходом. Такий підхід не лише підвищує продуктивність, але й зменшує експлуатаційні витрати, забезпечуючи економію коштів у порівнянні з базовим варіантом на 1380,63 грн/га.

Для обробки площі 100 га річний економічний ефект застосування модернізованої сівалки становить 143 695,49 грн/рік, що підтверджує її високу економічну ефективність та доцільність використання у виробництві кукурудзи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Дослідження сучасних наукових джерел свідчать, що одним із ефективних способів підвищення родючості ґрунтів та збільшення врожайності сільськогосподарських культур є локальне внесення гранульованих мінеральних добрив у поєднанні з поверхневим обробітком ґрунту та сівбою. Тому створення агрегату, здатного працювати за сучасними технологіями землеробства, зокрема за системою no-till, із можливістю внесення добрив у різні горизонти ґрунту для забезпечення оптимального живлення рослин на всіх етапах їх розвитку, є надзвичайно актуальним.

2. Створено сошник-глибокорозпушувач, який дає змогу вносити мінеральні добрива на різні глибини ґрунту, забезпечуючи рослини поживними речовинами протягом усього періоду їх росту. При цьому агрегат ефективно розпушує нижній шар ґрунту перед сівбою за технологією no-till, що сприяє зменшенню ерозійних процесів, підвищенню вологостійкості ґрунту, кращому розвитку кореневої системи та повнішому засвоєнню внесених добрив.

3. Проведений теоретичний аналіз показав, що оптимальна робоча швидкість агрегату повинна знаходитися в межах 1–4 км/год, що забезпечує коректну роботу висівної котушки для внесення добрив із частотою 6,67–20 об/хв. Це дозволяє гарантувати рівномірне розподілення гранул у ґрунті та запобігти їх зайвому розсіюванню. Початковий кут заповнення добривом рекомендується підтримувати не більше природного кута спокою матеріалу ($\alpha = 35^\circ$), що забезпечує стабільний потік гранул без засмічень і заторів у механізмі. Крім того, кут конусності паза слід регулювати в межах $\theta = 8,02\text{--}50,42^\circ$, що дозволяє адаптувати роботу агрегату під різні види добрив і умови ґрунту, забезпечуючи ефективне проникнення поживних речовин у різні горизонти та рівномірне живлення рослин на всіх фазах їхнього розвитку. Таке налаштування техніки сприяє підвищенню продуктивності агрегату та економії добрив, одночасно зменшуючи ризик ушкодження ґрунтового шару і забезпечуючи екологічну безпеку процесу.

4. Впровадження та дотримання заходів з охорони праці підвищує безпеку робочого процесу для всіх працівників, залучених до операцій, і дозволяє

забезпечити стабільну та ефективну експлуатацію техніки без негативного впливу на.

5. Застосування модернізованого агрегату Fendt 312 Vario у поєднанні з удосконаленою сівалкою дозволяє зекономити 1380,63 грн/га порівняно з базовим варіантом. При обробітці площі в 100 га річний економічний ефект від використання цієї технології становить 143 695,49 грн/рік. Це свідчить про високу ефективність та доцільність застосування розробленого сошника глибокого розпушення у процесі вирощування кукурудзи, забезпечуючи одночасно економію ресурсів та підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія неорганічних речовин. Ч 3. Мінеральні добрива: навч. посібник / М.Д. Волошин, Я.М. Черненко, А.В. Іванченко, М.А. Олійник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. – 354 с.
2. Курлов В.І., Фесенко Г.В., Поляков А.М. Підвищення ефективності технічних засобів локального внесення мінеральних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур. Інженерія природокористування, 2020, №1(15), с. 53 – 58.
3. Грабовський В. І., Гудзенко В. М., Лобас М. Г. Сільськогосподарські машини нового покоління: конструкція, розрахунок, експлуатація: навчальний посібник. – Київ: НАУ, 2021. – 412 с.
4. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
5. Дейкун, В.А.; Жук, Д.Г.; Мачок, Ю.В. Огляд способів внесення та ефективності застосування мінеральних добрив. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2022, вип. 52. С. 41-47.
6. А. В. Рудь, Ю. Ф. Павельчук, І. О. Мошенко Теоретичні дослідження процесу розподілу насіння зернових культур при підґрунтово-розкидному способі сівби. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб. 2009. Вип. 39. С. 250-256.
7. Рудь А. В. Мошенко І. О., Павельчук Ю. Ф Робочий орган сівалки для сівби зернових культур розкидним способом: короткий нарис до 60-річчя. Кам'янець-Подільський: ПДАУ, 2007. С.112.
8. Робочий орган для локального внесення мінеральних добрив чи посіву : пат 129713 МПК А01В 49/06. №u201804789; заявл. 02.05.2018; опубл. 12.11.2018. Бюл. №21.
9. Грунтообробний робочий орган: пат. 25169 Україна :МПК А01В 13/08 № u200703541; заявл. 30.03.2007; опубл. 25.07.2007, бюл. №11..

10. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.: іл.
11. Wang, W.; Song, J.; Zhou, G.; Quan, L.; Zhang, C.; Chen, L. Development and Numerical Simulation of a Precision Strip-Hole Layered Fertilization Subsoiler While Sowing Maize. *Agriculture* 2022, 12, 938.
12. Теоретична механіка, [текст] підручник / В. М. Булгаков, В. В. Яременко, О.М. Черниш, М.Г. Березовий. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 640 с.
13. https://community.altair.com/community?id=community_blog&sys_id=5e7dc459979de950e3b0361e6253afae.
14. Wang, X.; Zhang, S.; Pan, H.; Zheng, Z.; Huang, Y.; Zhu, R. Effect of soil particle size on soil-subsoiler interactions using the discrete element method simulations. *Biosyst. Eng.* 2019, 182, 138–150.
15. Wang, W.W.; Bai, Z.W.; Li, Z.Q.; Xie, D.B.; Chen, L.Q.; Wang, H. Straw/Spring Teeth Interaction Analysis of Baler Picker in Smart Agriculture via an ADAMS-DEM Coupled Simulation Method. *Machines* 2021, 9, 296.
16. Fang, L.F.; Cao, C.M.; Li, Q.; Qi, K.; Sun, X.D.; Ge, J. Fracture Analysis of Compacted Clay Soil Beams with Offset Notches Based on Three-Point Bending Test: Experimental Characterization and Numerical Simulation. *Adv. Civ. Eng.* 2022, 2022, 3699196.
17. Wang, Y.X.; Liang, Z.J.; Cui, T.; Zhang, D.X.; Qu, Z.; Yang, L. Structural design and experiment of maize layered fertilizer applicator. *J. Agric. Mach.* 2016, 47, 163–169.
18. Білецький Я. М., Мельник А. О. Машини для ґрунтообробітку та сівби: сучасні рішення та інновації: монографія. – Харків: ХНТУСГ, 2022. – 368 с
19. Ляшенко В. П., Кутовой О. Г. Механізація обробітку ґрунту та внесення добрив у точному землеробстві: навчальний посібник. – Київ: Наукова думка, 2023. – 352 с.
20. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар; За ред. І.І. Мельника. – Ніжин: ТОВ “Видавництво Аспект-Поліграф”, 2005. – 192 с.
21. Голуб Г. І., Романченко М. І. Охорона праці в сільському господарстві:

навчальний посібник. - Київ: Центр учбової літератури, 2015. - 304 с.

22. Тимофєєв В. І., Левченко В. М. Безпека життєдіяльності та охорона праці в аграрному секторі. - Київ: НУБіП України, 2017. - 288 с.

23. Данильченко А. М., Сахно Л. І. Охорона праці в галузях АПК: навчальний посібник. - Полтава: ПДАА, 2018. - 210 с.

24. Козаченко В. В., Литвиненко В. І. Економічна оцінка та техніко-експлуатаційні показники сільськогосподарської техніки. Львів: Новий Світ - 2021, 2021. - 344 с.

25. Саблук Р. П., Шевчук М. М. Економіка агропромислового виробництва: розрахунки ефективності техніки. Київ: КНЕУ, 2014. - 380 с.

26. Леонтєєв А. І., Рижук С. М., та ін. Трактори і сільськогосподарські машини: підручник для агроінженерів. - Житомир: Полісся, 2018. - 600+ с.

27. Шуваєв О. В., Котляр С. І. Інженерія посівних комплексів: конструкції, розрахунок, цифровізація процесів: монографія. – Дніпро: НГУ, 2020. – 297 с.

28. Сівіцький В. М., Ярошук О. М. Енергоефективні посівні та ґрунтообробні агрегати для АПК: монографія. – Львів: ЛНТУ, 2024. – 284 с.

ДОДАТКИ