

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 2023_ р.

Зав. кафедри, к.т.н., доцент

_____ Войтік А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

_____ (назва освітнього рівня)

тема роботи «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ
ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ ПРИ ВИКОНАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОПЕРАЦІЇ
СІВБИ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім
спеціальності 208«Агроінженерія»
_____ Кушнірук О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Кравченко В.В.
(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2023 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Войтік А.В.

“ ____ ” _____ 20 ____ р.

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

_____ Кушніруку Олександрову Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження та удосконалення процесу внесення добрив при виконанні технологічної операції сівби»

керівник роботи _____ Кравченко В.В., к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 2023 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 24.11.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: існуючі способи внесення мінеральних добрив при виконанні технологічної операції сівби.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

провести аналіз існуючих способів та машин для внесення мінеральних добрив;
розробити механізм пошарового внесення мінеральних добрив під час виконання технологічної операції сівби;
дослідити роботу розробленого пристрою з метою визначення оптимальних конструктивних та кінематичних параметрів його роботи;
розробити заходи охорони праці при проведенні операції сівби з одночасним внесенням мінеральних добрив;
техніко-економічне обґрунтування роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Економічне обґрунтування проекту	Кравченко В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 20.10.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.12.22 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	05.03.23 р.	
3.	Розділ 2. Розробка механізму для внесення добрив при виконанні технологічної операції сівби	04.06.23 р.	
4.	Розділ 3. Моделювання процесу внесення добрив розробленим пристроєм	03.09.23 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.23 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	16.11.23 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	03.12.23 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	03.12.23 р.	

Студент

(підпис)

Кушнірук О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кравченко В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кушнірук О.В. Дослідження та удосконалення процесу внесення добрив при виконанні технологічної операції сівби. (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 47 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 19 рисунків, 3 таблиці, 20 джерел).

Об'єкт дослідження – механізм для внесення добрив при виконанні технологічної операції сівби.

Мета роботи – розробка агрегату, який зможе працювати за технологією no-till, з локальним внесенням мінеральних добрив в різні шари ґрунту для забезпечення живлення рослин на різних етапах їхнього розвитку.

У першому розділі “Стан питання і задачі досліджень” наведено огляд існуючих способів внесення добрив та технічних рішень для внутрішньогрунтового внесення добрив, їх переваги та недоліки, та сформувано задачі досліджень.

У другому розділі “Розробка механізму для внесення добрив при виконанні технологічної операції сівби” обґрунтовано конструкцію сошника-глибокорозпушувача з порційним пошаровим внесенням добрив.

У третьому розділі “Моделювання процесу внесення добрив розробленим пристроєм”, перевірено експлуатаційну ефективність розробленого агрегату з пошаровим внесенням добрив, було здійснено моделювання процесу внесення добрив за допомогою програмного забезпечення EDEM.

У четвертому розділі “Охорона праці” розглянуто безпечне виконання операції сівби з одночасним внесенням мінеральних добрив та службу охорони праці на підприємстві.

У п'ятому розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховано ефект від впровадження запропонованого сошника-глибокорозпушувача.

СІВАЛКА, ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ, NO-TILL, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1. Способи внесення мінеральних добрив	8
1.2. Огляд машин для внесення мінеральних добрив	11
1.3. Висновки і завдання досліджень.....	16
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПРИ ВИКОНАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОПЕРАЦІЇ СІВБИ	17
2.1. Будова та принцип роботи висівної секції	17
2.2. Обґрунтування конструктивних параметрів	17
2.2.1. Конструкція сівалки з багатошаровим удобренням без обробки грунту	17
2.2.2. Будова та принцип роботи сошника-глибокорозпушувача з порційним внесенням добрив	19
2.2.3. Розрахунок основних елементів котушки для дозування добрив...	20
2.2.4. Динамічний аналіз процесу входження добрив до пазу висівної котушки	21
2.2.5. Динамічний аналіз процесу виходу добрив з пазу висівної котушки	23
2.3. Висновки до розділу	26
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ РОЗРОБЛЕНИМ ПРИСТРОЄМ	27
3.1. Побудова імітаційної моделі	27
3.2. Методика проведення експерименту	29
3.3. Результати проведення експерименту	29
3.4. Висновки до розділу	33
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	34
4.1. Аналіз травмонебезпечних факторів при сівбі та внесенні мінеральних добрив	35
4.2. Техніка безпеки при застосуванні різних видів мінеральних добрив...	35
4.3. Розробка моделей травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час сівби з одночасним внесенням мінеральних добрив	37
4.4. Висновки до розділу	38
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	39
ВИСНОВКИ.....	44
Список використаних джерел.....	46

ВСТУП

Врожайність сільськогосподарських культур, являється одним із головних показників ефективності сільськогосподарського підприємства, яка залежить від ряду виробничих факторів, серед яких провідне місце займає технологія відновлення родючості ґрунту за рахунок внесення різних видів добрив. При цьому більшою швидкістю в порівнянні з органічними добривами наділені мінеральні добрива, які, розчиняючись у водному ґрунтовому розчині безпосередньо засвоюються рослинами у вигляді іонів і катіонів [1]. В цілому мінеральні добрива завжди були і нині залишаються для багатьох господарств досить важливою складовою забезпечення високоефективного аграрного виробництва [2].

Враховуючи агротехнологічні властивості мінеральних добрив, застосування їх при вирощуванні сільськогосподарських культур з кожним роком зростає. Разом з цим ефективність добрив в значній мірі залежить від способу їх внесення та технологічних можливостей тукових машин. Внесення поверхневим способом мінеральних добрив туковими машинами вітчизняного виробництва із розкидальними та іншими робочими органами, які широко застосовуються у сільськогосподарських підприємствах, здійснюється нерідко з перевищенням агротехнічно допустимої нерівномірності $\pm 25\%$, що призводить до недобру врожаю і зниженню його якісних показників [3].

Окрім того, при наступному закладенні в ґрунт мінеральних добрив, відбувається нерівномірний їх розподіл по глибині кореневмісного шару, внаслідок чого культурні рослини неповністю засвоюють внесені мінеральні добрива, що знижує ефективність їх застосування. Це відбувається в результаті того, що при закладенні добрив в ґрунт, наприклад при оранці, основна їх кількість розміщується на глибині від 9 до 20 см, внаслідок чого добрива стають малодоступними рослинам на початку їх росту, а при закладенні в ґрунт культиваторами або дисковими боронами, від 50 до 90% мінеральних добрив розташовуються в поверхневому шарі ґрунту, який швидко пересихає, що сповільнює подальше використання їх рослинами.

Поряд із поверхневим внесенням мінеральних добрив і подальшим закладенням в ґрунт, більш ефективним являється локальне внесення. Разом з цим, подальше дослідження локального внесення мінеральних добрив є актуальним в напрямку підвищення ефективності їх використання.

Дослідженнями встановлено, що в технологічних процесах землеробства локальне внесення мінеральних добрив, в порівнянні з поверхневим, підвищує їх ефективність до 25%, що проявляється у збільшенні врожайності сільськогосподарських культур. Разом з цим, локальне внесення мінеральних добрив потребує більш точного внесення заданої їх норми на основі того, що добрива у вигляді стрічок розташовуються на незначній відстані від насіння при посіві, а при між-рядному обробітку ґрунту – від кореневої системи рослин. Виходячи із цього ряд науковців наголошують на проведенні досліджень, спрямованих на розробку технічних засобів з підвищеними якісними показниками локального внесення мінеральних добрив [4]. Аналізуючи технологічний процес внесення локального внесення мінеральних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур встановлено, що найбільш поширеними технічними засобами для його здійснення являються ґрунтообробні і посівні машини з установленими на них туковисівними пристроями, які повинні забезпечувати задану норму висіву мінеральних добрив з відхиленням не більше 10%. При цьому нерівномірність висіву добрив не повинна перевищувати $\pm 10\%$ [4].

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Способи внесення мінеральних добрив.

Необхідні для вегетації рослин умови створюються завдяки застосуванню правильних сівозмін, своєчасному та якісному обробітку ґрунту, а також раціональному вибору способу доз та строків внесення добрив [5].

Урожайність сільськогосподарських культур залежить від ефективної родючості ґрунтів і є результатом дії ряду факторів: тепла, світла, вологи, поживних речовин та деяких інших.

Одною із найбільш важливих складових, що впливають на підвищення врожайності сільськогосподарських культур є своєчасне та правильне з точки зору агротехніки внесення основної дози добрив та підживлення культурних рослин мінеральними добривами в процесі їх вегетації.

Спостереження показують, що ефективність сприйняття кореневою системою рослин добрив, внесених різними способами, суттєво відрізняється. Причиною є те, що при різних способах внесення гранульованих мінеральних добрив у ґрунт їх розташування та концентрація відносно кореневої системи культурних рослин має різний вигляд.

Способи внесення мінеральних добрив [6] за найбільш характерними ознаками можна умовно розділити на дві групи (рис. 1.1).

Найбільш широкого застосування набуло внесення добрив методом поверхневого розсіювання з подальшою заробкою різноманітними ґрунтообробними знаряддями. Даний метод є досить високопродуктивним, що позитивно впливає на економічну ефективність польових робіт.

Негативною стороною методу поверхневого розсіювання є значна нерівномірність розподілення матеріалу по площі поля, яка може сягати 25-30%. Аналіз літературних джерел [7] показує, що при подальшій заробці гранул добрив ґрунтообробними знаряддями розсіяних поверхнево, вони нерівномірно переміщуються з ґрунтом (за законом випадкового розподілення), і значна їх

частина не переміщується до місця призначення. Крім того, частина добрив вивітрюється або вимивається опадами, і є втраченими як поживна речовина.

При заробці добрив орними агрегатами від 17,5 до 48,1% їх розташовуються в горизонті 0-5 см, від 38 до 78% – у шарі 0-10 см, а при заробці добрив у ґрунт за допомогою робочих органів дискових борін чи культиваторів – від 50 до 90% знаходяться у шарі 2-3 см [5].



Рисунок 1.1. Класифікація способів внесення гранульованих мінеральних добрив [5].

У зонах землеробства з низьким рівнем вологості, якими є Центральні та Південні області України, глибина стійкої вологості знаходиться в горизонті нижче 10 см, і значна частина добрив, внесених методом поверхневого розсіювання з подальшою заробкою є недосяжною для кореневої системи рослин. Це зумовлює нераціональне використання хімічних препаратів, призводить до зайвих енергетичних і фінансових витрат, а також завдає шкоди мікрофлорі ґрунту.

Крім того, верхній шар ґрунту, який залишається розпушеним після заробки добрив ґрунтообробними знаряддями, піддається ерозійним процесам; при

вивітрюванні та вимиванні цього шару добрива, що знаходяться в ньому, потрапляють до населених пунктів та водойм, завдаючи шкоду для довкілля.

Одним з напрямків підвищення родючості ґрунтів є внесення мінеральних добрив під час виконання різних технологічних операцій. Так, у вітчизняній та світовій практиці широко використовується внесення хімічних препаратів одночасно з сівбою, коли ефективність їх використання значно вища, так як добрива концентруються в безпосередній близькості від кореневої системи рослини і краще засвоюються нею.

Однак, недоліком внесення добрив при посіві є те, що вони розташовуються або збоку рядка або безпосередньо в рядку, що для насіння деяких культур є неприпустимим. У випадку, коли добрива концентруються збоку рядка основної культури, частина їх енергії живлення витрачається на підживлення бур'янів, а корені культурних рослин вимушені «тягнутися» до зони живлення, на що витрачається енергія росту. Крім того, таким способом може бути внесена тільки стартова доза добрив, так як ні розміри бункерів, ні розміри висівних апаратів не дозволяють вносити великі дози, а також наявність великої кількості мінеральних добрив поблизу висіяного насіння може призвести до втрати його схожості.

Основну дозу також вносять при основному полицевому та безполцевому обробітку ґрунту, коли гранульовані добрива розміщуються безпосередньо під робочими органами знарядь. Внесення добрив при основному обробітку ґрунту має ряд переваг, оскільки в цьому випадку суміщаються декілька операцій в одну – обробіток ґрунту, внесення добрив та заробка добрив, що суттєво знижує затрати на отримання врожаю, а також знижує негативний вплив дії агрегатів на ґрунт за рахунок зменшення кількості їх проходів по полю. При такому способі внесення добрива концентруються в певному горизонті ґрунту і не втрачаються під атмосферним впливом.

Локальне внесення є найбільш прийнятним з точки зору агротехніки вирощування сільськогосподарських культур та ефективності використання добрив, так як при такому способі не потрібна додаткова операція заробки туків

у ґрунт, а також відсутні втрати добрив за рахунок вивітрювання та вимивання опадами [8].

Локальний спосіб дозволяє більш продуктивно використовувати малі дози мінеральних добрив, що знижує загальні витрати та витрати часу на виконання операції підживлення рослин [9].

Вітчизняний та закордонний досвід ґрунтознавців свідчить про високу ефективність застосування в землеробстві комбінованих безполицевих знарядь, які не лише дозволяють захистити ґрунт від ерозійних процесів, а також зменшують шкідливу дію сільськогосподарських агрегатів на ґрунт за рахунок зменшення числа їх проходів, знижують затрати праці та витрати паливно-мастильних матеріалів на отримання врожаю.

Безполицевий обробіток ґрунту є більш ефективним, коли його комбінують з локальним внесенням добрив за допомогою тукових сошників, комбінованих, або інших додаткових пристроїв, які монтуються на плоскорізах та культиваторах для суцільного обробітку ґрунту.

1.2. Огляд машин для внесення мінеральних добрив.

Відомі різні конструкції обладнання для ґрунтообробних машин і комбінованих машин призначених для виконання таких операцій. Здебільшого такі способи внесення знаходять реалізацію в конструкціях плоскорізів та важких культиваторів. Часткові зміни клімату суттєво впливають і на ґрунтово-кліматичні умови виробництва. В зв'язку з цим виробники центральних регіонів України все частіше прибігають до глибокого обробітку ґрунту чизельними робочими органами, які сприяють руйнуванню підорної підшви і кращому накопиченню та утриманню вологи.



Рисунок 1.2. Чизельний глибокорозпушувач-удобрювач [10].

Конструкції чизельних глибокорозпушувачів є придатними для створення на їх основі комбінованих машин, шляхом обладнання їх пристосуваннями для внесення основної дози мінеральних добрив (рис. 1.2). Особливість вирішення такої задачі полягає в тому, що сімейство чизельних глибокорозпушувачів має різну ширину захвату, від 1,5 до 4,5 м і обладнувати їх одним оригінальним для кожної моделі бункером призведе до суттєвого зниження уніфікації ряду вузлів. В зв'язку з цим пропонується до використання уніфікований для всіх марок машин секційний бункер. Кожна секція має конструктивну ширину 0,9 м. і обладнується трьома котушковими висівними апаратами. Залежно від загальної ширини захвату глибокорозпушувача на ньому установлюється відповідна кількість секцій бункерів. Привод котушкових висівних апаратів здійснюється від спеціального колеса, яке шарнірно закріплюється до рами (рис. 1.3).

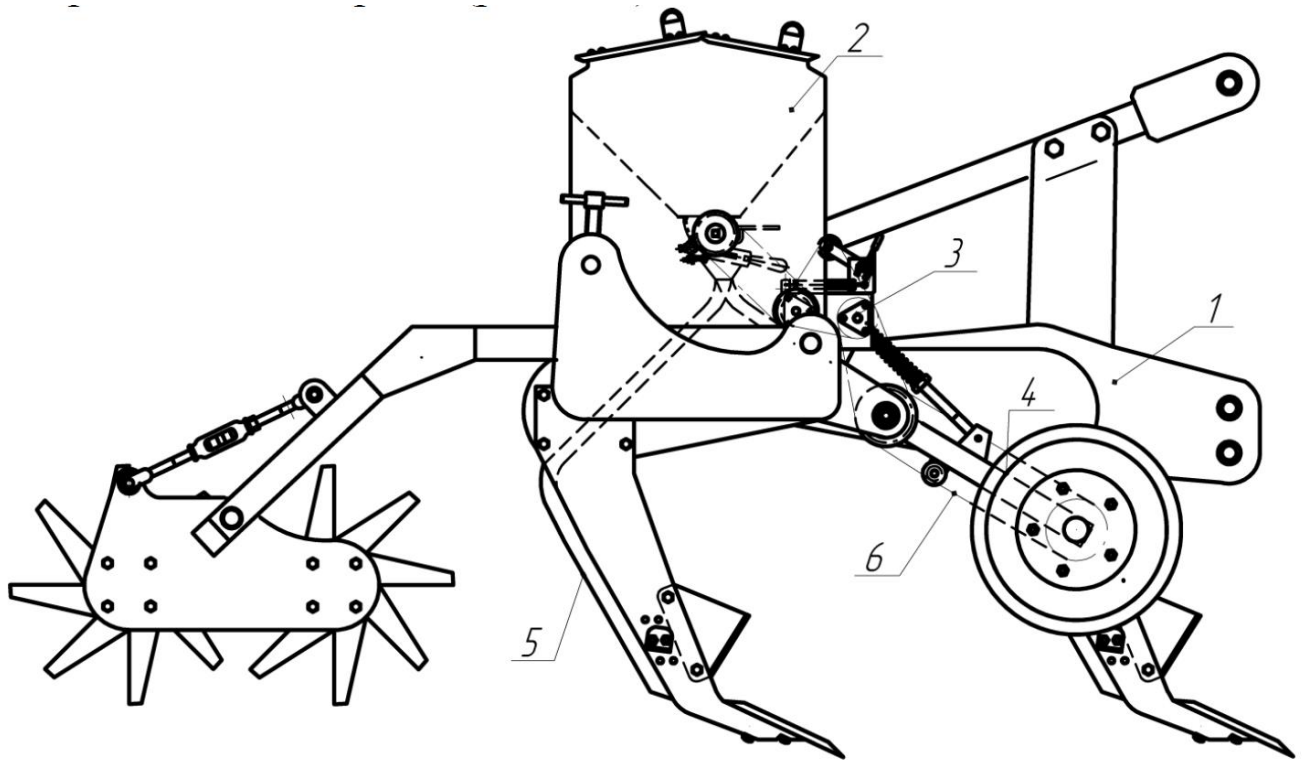


Рисунок 1.3. Загальний вигляд глибокорозпушувача-удобрювача [10]:

1 – глибокорозпушувач; 2 – бункер з висівними апаратами; 3 – коробка зміни передач; 4 – приводне колесо; 5 – тукопровод; 6 – ланцюгові передачі.

Машини другої групи – поєднання основних конструктивних елементів обприскувачів чи підживлювачів-обприскувачів з ґрунтообробними чи посівними машинами. На основну раму таких машин закріплюється один чи декілька баків для добрив, насос, регулятор тиску, трубопроводи та інші елементи обладнання. Заповнення баків робочою сумішшю чи водою, зазвичай, здійснюється з мобільних цистерн через заливні горловини 2 баків 1 (рис. 1.4). В конструкції можуть використовуватися різні типи насосів 6 (поршньові, ротаційні), як і різні способи їх приводу (від гідромоторів 7 чи валу відбору потужності тракторів). При використанні самої простої конструкції обладнання для нагнітання рідини до ґрунтообробних робочих органів принцип його роботи буде наступним. Гідромотор 7, який приводиться в дію від гідросистеми трактора забезпечує обертальний рух ротора насоса 6. У всмоктувальній комунікації 13 утворюється розрідження і рідина з бака 1 через відсічний клапан 4 та фільтр 5 подається до регулятора тиску 10.

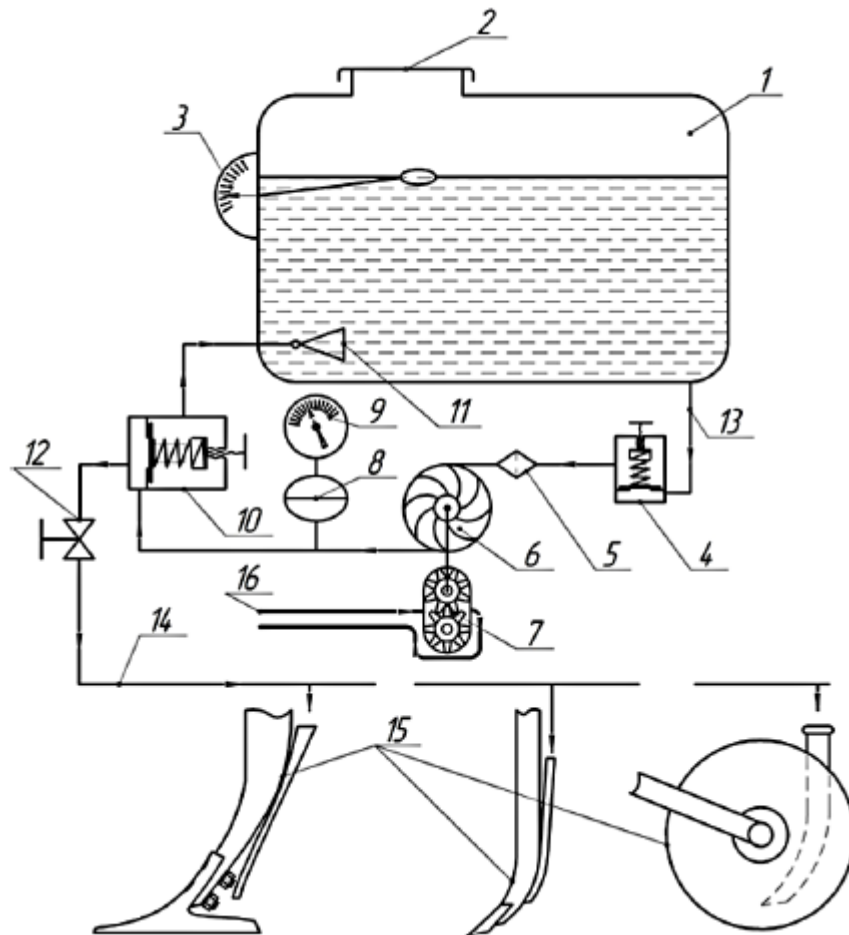


Рисунок 1.4. Схема функціонування навісного обладнання для внесення рідких мінеральних добрив [10]:

1 – бак; 2 – заливна горловина; 3 – показчик рівня рідини; 4 – відсічний клапан; 5 – фільтр; 6 – ротаційний насос; 7 – гідромотор; 8 – компенсатор; 9 – манометр; 10 – регулятор тиску; 11 – гідромішалка; 12 – кран; 13 – всмоктувальна комунікація; 14 – нагнітальна комунікація; 15 – робочі органи; 16 – гідропроводи.

Конструкція останнього передбачає можливість пропускати рідину у двох напрямках. Якщо тиск рідини в регуляторі відповідає заданому, то рідкі добрива спрямовуються в нагнітальну комунікацію і далі по трубопроводах до ґрунтообробних робочих органів де через розпилювачі, чи звичайні, трубки подаються в борізки і закриваються ґрунтом. Таким же чином добрива можуть розпилюватися по поверхні поля і потім змішуватися з ґрунтом під дією тих же чи інших робочих органів, або розпилюватися на листо-стебельну поверхню рослин. В якості ґрунтообробних робочих органів можуть використовуватися стрілчасті лапи, долотовидні ножі-підживлювачі, дискові та інші робочі органи.

Враховуючи значення поверхневого обробітку ґрунту, в тому числі такі фактори, як підвищення якісних показників функціонування робочих органів, зменшення ймовірності обволікання рослинними рештками стояка та розпушувальної лапи, зниження енергоємності процесу, підвищення довговічності роботи, для вирішення поставленої задачі запропонований комбінований дисковий робочий орган оригінальної конструкції [5].

Розпушувальна лапа виконана у вигляді нахилоного під гострим кутом вперед конусного диска, який може вільно обертатися навколо осі стояка, при цьому стояк виконано пустотілим і поєднаним з простором під диском, даний простір може використовуватись для транспортування та розсіювання гранул мінеральних добрив чи іншого сипкого матеріалу по поверхні поля в підлаповому просторі. По зовнішньому контуру диска виконано трапецієвидні вирізи (рис. 1.5).

Комбінований дисковий робочий орган (рис. 1.5) складається з диска 1, який має конусоподібну форму, встановленої під гострим кутом до напрямку руху. Диск 1 прикріплений до стояка 2, який в свою чергу закріплений до кронштейна 3 на рамі знаряддя, при цьому він може обертатися завдяки підшипникам 4.

У просторі під диском в точці сходу гранул добрив з порожнини стояка встановлено розподільник 5, при попаданні на який гранули добрив відбиваються та рівномірно розподіляються по ширині захвату диска.

На диску по зовнішньому контуру виконано вирізи, які виконано у формі трапецій з правими a радіальними та лівими b бічними сторонами. Зуби загострені по зовнішньому діаметру c , по лівим боковинам b та по впадинам d .

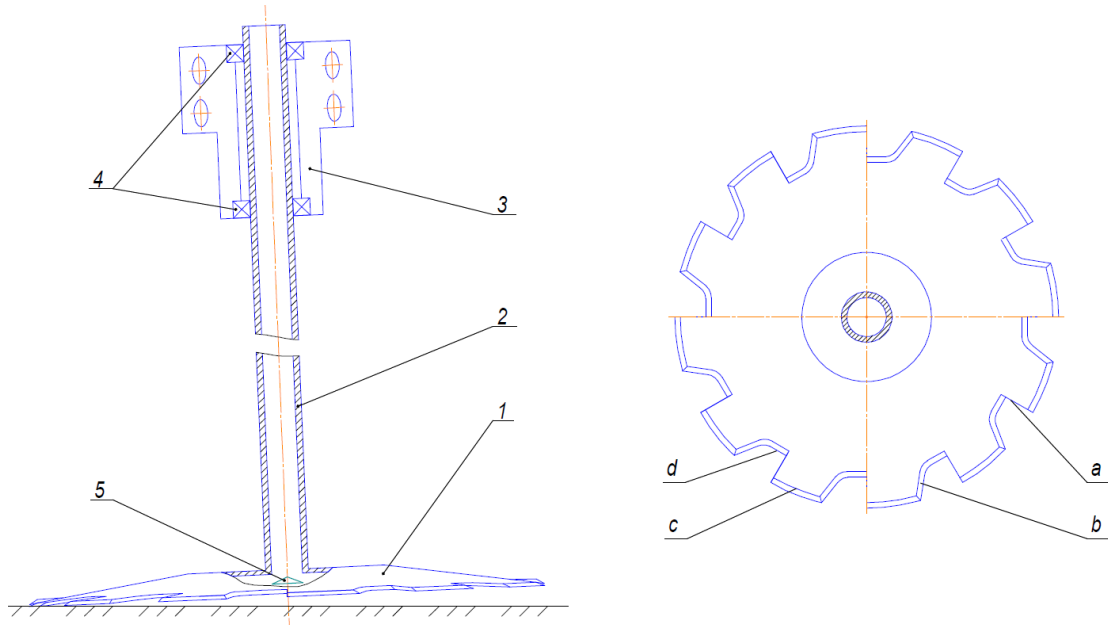


Рисунок 1.5 Комбінований дисковий робочий орган: 1 – диск; 2 – стояк; 3 – кронштейн; 4 – підшипники; 5 – розподільник.

1.3. Висновки та завдання досліджень.

Виходячи з вказаного вище, можна зробити висновок, що більш перспективним способом підвищення родючості ґрунтів і урожайності сільськогосподарських культур є локальне внесення гранульованих мінеральних добрив, суміщене з поверхневим обробітком ґрунту та сівбою. Тому метою даної роботи є розробка агрегату, який зможе працювати за сучасними технологіями землеробства, такими як no-till, з локальним внесенням мінеральних добрив в різні шари ґрунту для забезпечення живлення рослин на різних етапах їхнього розвитку.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Дослідити існуючі системи та машини для внесення мінеральних добрив.
2. Розробити механізм для внесення мінеральних добрив в різні шари ґрунту при виконанні технологічної операції сівби.
3. Змодельювати та дослідити процес внесення добрив розробленим пристроєм.
4. Розробити заходи охорони праці при роботі з розробленим агрегатом.
5. Провести аналіз економічних показників застосування розробленого агрегату.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ПРИ ВИКОНАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОПЕРАЦІЇ СІВБИ

2.1 Будова та принцип роботи висівної секції.

Застосування технології пошарового внесення добрив полягає в одноразовому пропорційному внесенню добрив, необхідного для всього циклу росту рослин в ґрунті, базове добриво при цьому вноситься смугами, а додаткове добриво, яке буде використовуватись рослинами в процесі росту вносяться порціями, це забезпечить найкращі результати, з точки зору поглинання поживних речовин рослинами і майбутнього врожаю [11]. Пропонується вносити базове добриво смуговим способом з боковою відстанню від насінин $L_1=50$ мм (рис.2.1), а глибина внесення при цьому буде становити $H_1=50$ мм; що допоможе ефективно уникнути негативного впливу добрив на насінини. Порційне внесення наступних видів добрив, для підживлення, відбувається на глибину $H_2=110$ мм та $H_3=160$ мм відповідно.

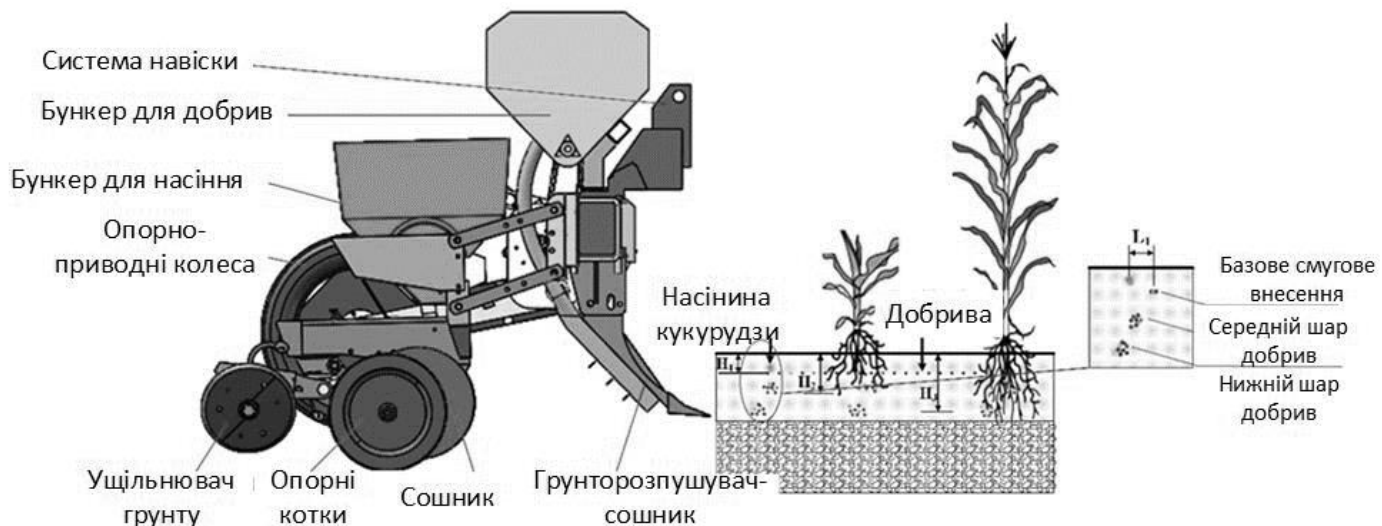


Рисунок 2.1. Схема пошарового внесення добрив при сівбі кукурудзи.

2.2. Обґрунтування конструктивних параметрів.

2.2.1. Конструкція сівалки з багатошаровим удобренням без обробки ґрунту

Схематичне зображення агрегату у складі трактора та сівалки для просапних культур з багатошаровим внесенням добрив, який працює по технології no-till

представлено на (рис.1.2). Сівалка під'єднана до задньої навіски трактора за допомогою триточкової навіски, передній сошник-глибокорозпушувач для внесення добрив прикріплений до рами болтовим з'єднанням, висівні апарати з'єднані з рамою паралелограмною підвіскою. При роботі машин, опорні привідні колеса сівалки обертаються завдяки тертю об ґрунт та приводять в рух висівні апарати для висіву мінеральних добрив та насіння. Сошники-глибокорозпушувачі 10 встановлені попереду насінневих сошників і служать для обробітку ґрунту перед дисковим насінневим сошником та одночасного внесення добрив. Обробіток ґрунту в смугах сприяє кращому проростанню і наступному росту насіння. Диски насінневого сошника ущільнюють і розрізають солом'яну стерню та відкривають посівне ложе, насіння випадають в борозну, далі прикочувальні колеса завершують операцію ущільненням насіння кукурудзи з ґрунтом.

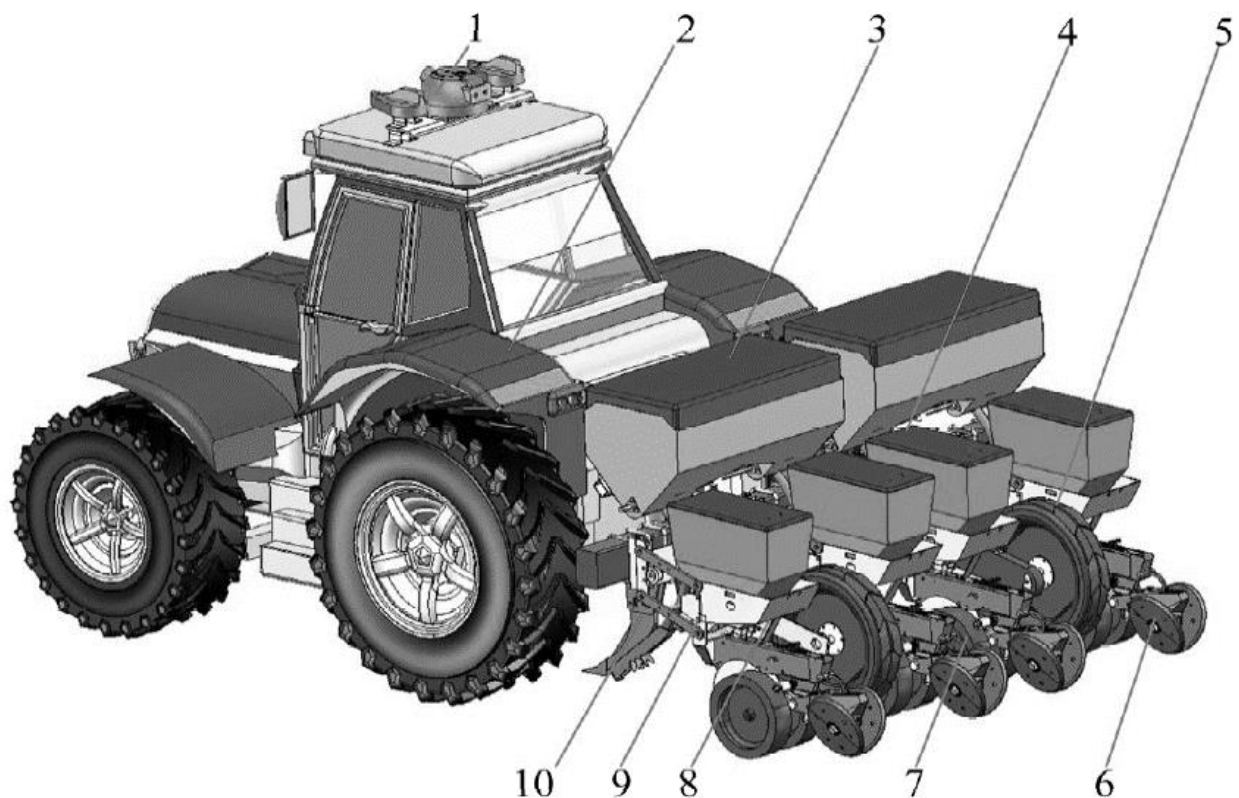


Рисунок 2.2. Принципова схема агрегату для пошаровим внесення добрив по поті: 1. навігаційний приймач; 2. трактор; 3. бункер для добрив; 4. бункер для насіння; 5. привідне колесо; 6. ущільнювач ґрунту; 7. опорне колесо; 8. висівний апарат для насіння; 9. паралелограмний механізм; 10. сошник-глибокорозпушувач пошарового внесення добрив.

2.2.2. Будова та принцип роботи сошника-глибокорозпушувача з порційним внесенням добрив.

Сошник-глибокорозпушувач з порційним внесенням добрив складається з глибокорозпушувача з тримачем для кріплення до рами, тукопровода, приводного валу, електричного двигуна, реверсивного пристрою, щітки і дозувальної котушки з отворами для внесення добрив (рис. 2.3).

При роботі агрегату, приймач, що отримує сигнал про швидкість руху від трактора та передає його на комунікаційний контролер, який обробляє цей сигнал та на основі нього встановлює необхідну швидкість електричного двигуна для контролю кутової швидкості висівної котушки для добрив. Глибокорозпушувач розпушує ґрунт і утворює щілину в ґрунті для добрив. Добрива з бункера для мінеральних добрив потрапляють у тукопровід і під дією сили тяжіння рухаються донизу. Досягнувши перегородки в тукопроводі, вони діляться на дві частини, одна частина попадає у верхній вихідний отвір і далі смугою вноситься у верхній шар ґрунту, інша частина рухається нижче до висівної котушки; яка обертається від електричного двигуна через привідний вал. Щіточка біля висівної котушки сприяє потраплянню добрив у тукопровід і запобігає застряганню добрив у висівній котушці, і добрива далі потрапляють із середніх і нижніх випускних отворів у тукопроводі у середній і нижній шари ґрунту порціями.

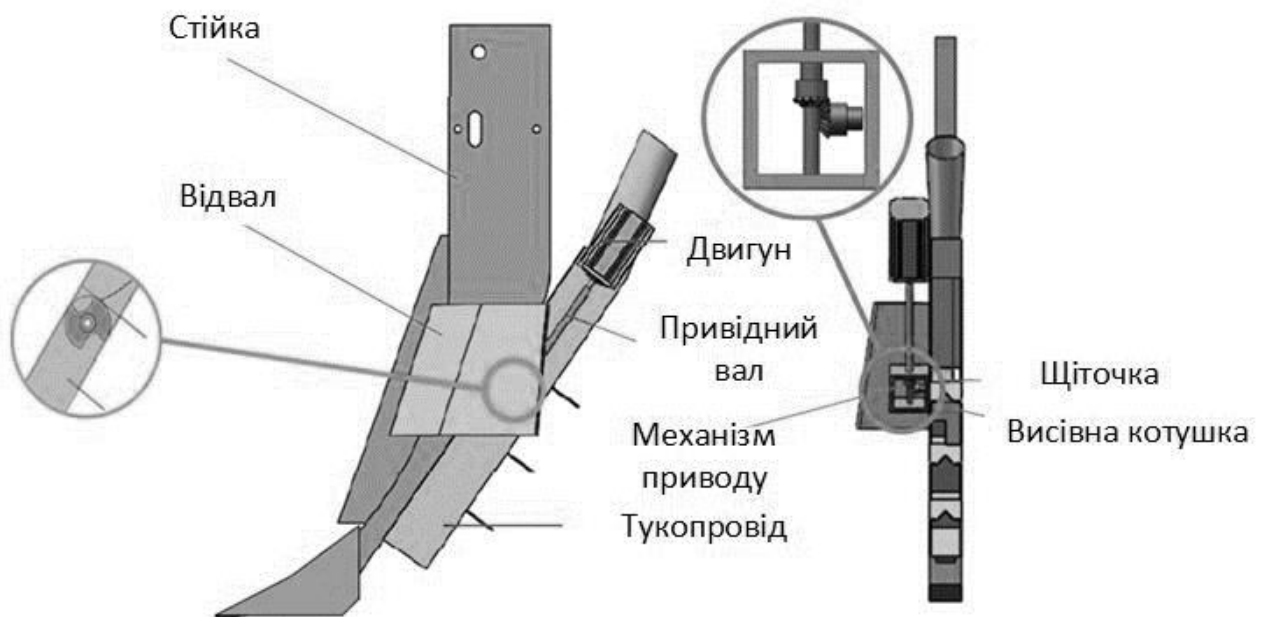


Рисунок 2.3. Конструкція сошника-глибокорозпушувача.

2.2.3. Розрахунок основних елементів катушки для дозування добрив.

Конструкція і розмір катушки для внесення добрив, зусилля на привід, розміщення частинок добрив у пазові впливають на ефективність і стабільність внесення добрив. Норма внесення добрив для кукурудзи зазвичай становить 450-750 кг/га², добрива можуть вноситися суцільним способом, рядковим та лунковим, щоб забезпечити необхідну кількість добрив на кожному етапі циклу росту кукурудзи. Саме для покращення внесення добрив лунковим порційним способом на певній глибині для забезпечення підживлення кукурудзи на різних етапах розвитку запропоновано конструкцію катушки з пазами (рис.2.4).

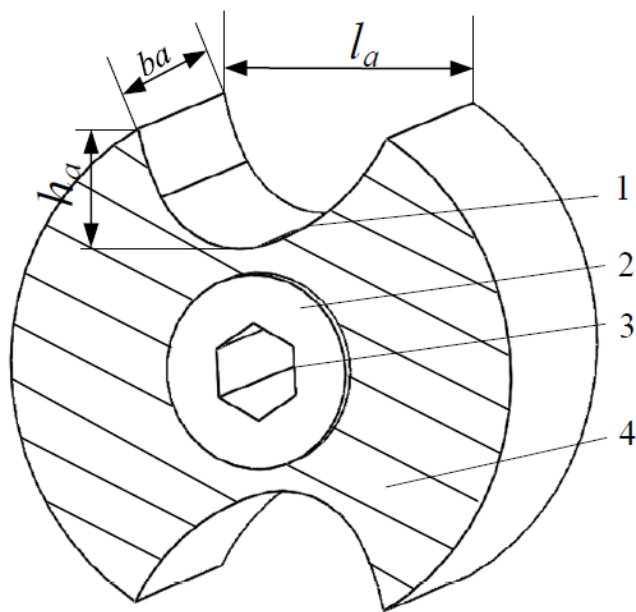


Рисунок 2.4. Висівна катушка для внесення добрив: 1. паз; 2. вал; 3. отвір під вал; 4. катушка.

Об'єм добрива, що дозується з кожного пазу катушкового висівного апарату, залежить від об'єму цього пазу:

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

де V_1 – об'єм пазу (мм³);

l_a – ширина пазу (мм);

h_a – глибина пазу (мм);

b_a – довжина пазу (мм).

З розрахунку на норму внесення добрив 6,8–10,8 г на лунку вибираємо наступні розміри пазу: ширина пазу $l_a = 16–27$ мм, глибина пазу $h_a = 7–12$ мм, довжина пазу $b_a = 35$ мм. Щоб забезпечити одноразове вивантаження добрива з катушки, максимальна кількість пазів для викидання добрив становить чотири з врахуванням ширини, глибини та довжини одного пазу та з врахуванням діаметру тукопровода. Припускаючи, що частинки добрива можуть бути швидко виведені та ні враховуючи опір повітря, час вивантаження однієї порції добрив з одного пазу можна розрахувати за наступною формулою:

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

де t – цикл внесення добрив катушкою (с);

t_1 – час між початком виведення добрив з пазу і закінченням цього процесу (с);

t_2 – час між закінченням внесення добрив із першого пазу та початком внесення добрив наступним пазом катушки (с);

l_1 – відстань між насінинами кукурудзи, мм;

v_1 – швидкість руху агрегату (мм/с).

Наведене вище рівняння показує, що кількість внесеного добрива в ґрунті пов'язана з співвідношенням циклів t_1/t . Тобто, під час руху агрегату, відстань між насінинами кукурудзи l_1 та робоча швидкість агрегату v_1 є сталими; таким чином вибираємо робочу швидкість агрегату в межах 1–4 км/год, що відповідає швидкості висівної катушки для внесення добрив 6,67–20 об/хв.

2.2.4. Динамічний аналіз процесу входження добрив до пазу висівної катушки.

При аналізі внесення добрив, припустимо, що добриво є твердим тілом однорідного матеріалу, без врахування вібрації та тертя між частинками, частинки добрив в пазі висівної катушки розглянемо як одне ціле тіло, з центром маси групи добрив як початок системи координат [12]. Добрива здійснюють нормальний і

тангенціальний рухи відносно початку системи координат, як показано на рисунку 2.5.

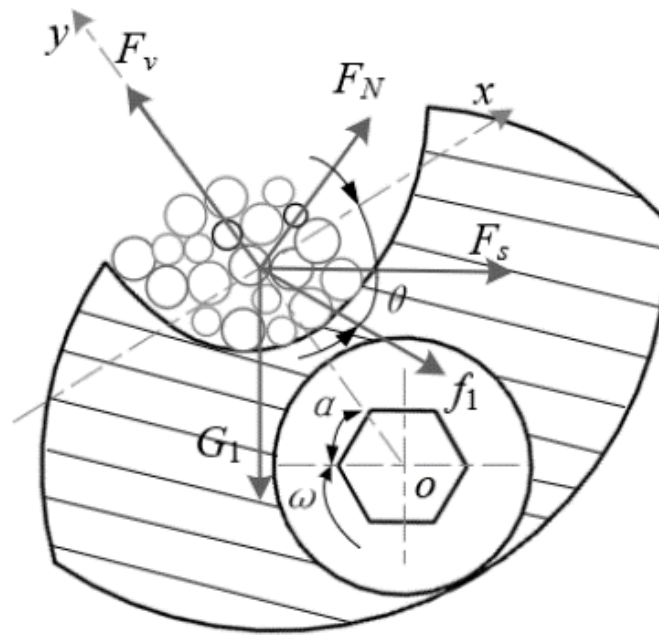


Рисунок 2.5. Схема захоплення добрив висівною катушкою.

Запишемо систему рівнянь сил що діють на добрива в пазу висівної катушки відповідно до рисунку 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 – нормальна сила опору, яка діє на добрива від стінки пазу (Н);

F_S – бічна сила, що діє на добрива зі сторони зі сторони стінки пазу (Н);

f_1 – сила тертя внутрішньої стінки пазу об групу добрив (Н);

G_1 – сила ваги добрив (Н);

F_v – відцентрова сила інерції (Н);

μ – коефіцієнт тертя між контактною поверхнею добрив і стінками пазу;

m – кількість групи добрив (кг);

θ – кут конусності пазу (°);

ω – кутова швидкість висівної катушки (рад/с);

R – радіус висівної катушки (мм);

n – частота обертання висівної катушки (об/хв);

g – прискорення вільного падіння (м/с²).

Відповідно до рівняння (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 $e_1 = \cos\theta - \mu\sin\theta$, $e_2 = \mu\cos\theta + \sin\theta$.

З рівняння (2.4) випливає, що початковий кут заповнення α , який впливає на ефективність заповнення, пов'язаний з кутовою швидкістю ω висівної катушки, радіусом R , кутом конусності θ паза, і коефіцієнтом тертя μ добрива об катушку. При визначенні кутової швидкості висівної катушки початковий кут заповнення добривом α та кут конусності паза θ обернено пропорційні. Для того щоб гранули добрив потрапили в паз висівної катушки при частоті її обертання $n=6,67\text{--}20$ об/хв потрібно щоб початковий кут заповнення добривом був меншим або дорівнював природному куту спокою добрив $\alpha=35^\circ$, а кут конусності θ паза тоді розраховується з формули (2.4) як $\theta=8,02\text{--}50,42^\circ$.

2.2.5. Динамічний аналіз процесу виходу добрив з паза висівної катушки.

Процес виходу добрив з паза висівної катушки в осьовому та радіальному напрямках відбувається під дією сили тяжіння та відцентрової сили. Часовий проміжок між початком та кінцем сходження гранул добрив з висівної катушки безпосередньо впливає на довжину порції добрив в ґрунті. Чим більший цей часовий інтервал довший розподіл добрив та довжина лунки, гірша якість формування лунки. Щоб підвищити ефективність використання добрива, цей інтервал часу слід зменшити.

Аналіз сил, які діють на добрива у процесі сходу з паза висівної катушки представлено на рис.2.6.

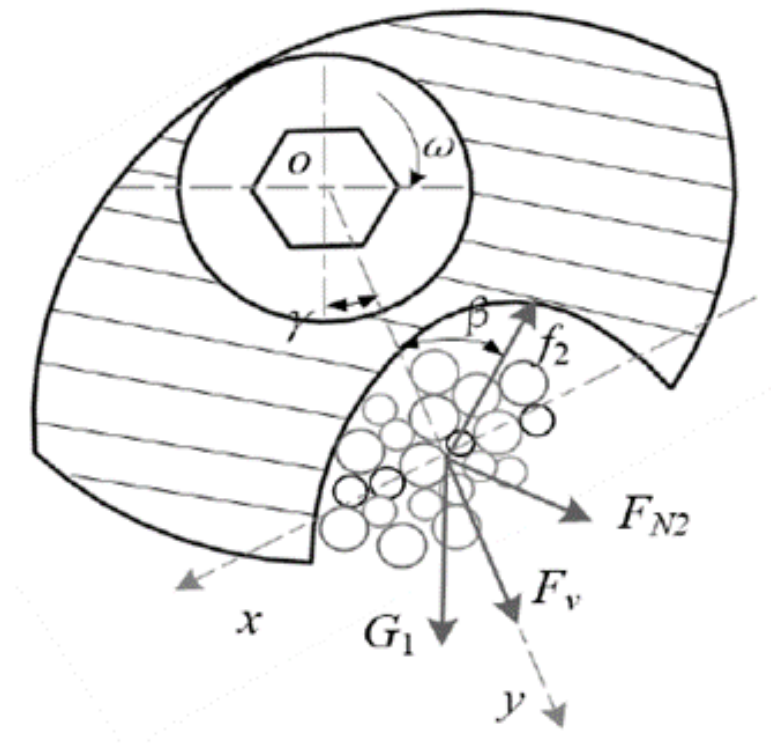


Рисунок 2.6. Схема сходу добрив з висівної катушки.

$$\begin{cases} G_1 \sin \gamma = f_2 \sin \beta + F_{N2} \cos \beta \\ G_1 \cos \gamma + F_v + F_{N2} \sin \beta = f_2 \cos \beta \\ f_2 = \mu F_{N2} \end{cases} \quad (2.5)$$

де F_{N2} – нормальна сила яка діє на добрива зі сторони стінок паза висівної катушки (Н);

f_2 – сила тертя внутрішньої стінки пазу об групу добрив (Н);

γ – кут сходу добрив з пазу висівної катушки (°);

β – кут вивантаження добрива (°).

З рівняння (2.5) можна отримати.

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

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

Виходячи з фізичних властивостей добрива та швидкості колеса типу отворів для заповнення добривом 6,67–20 об/хв, а також для простоти розрахунку, а також простоти обробки, кут δ , під яким було обрано що кут сходження добрив має бути 50–70° . Для визначення кута установки трубки для добрива було проведено динамічний аналіз сил що діють на гранули добрив після того, як вони вийшли з пазу висівної котушки (рис. 2.7).

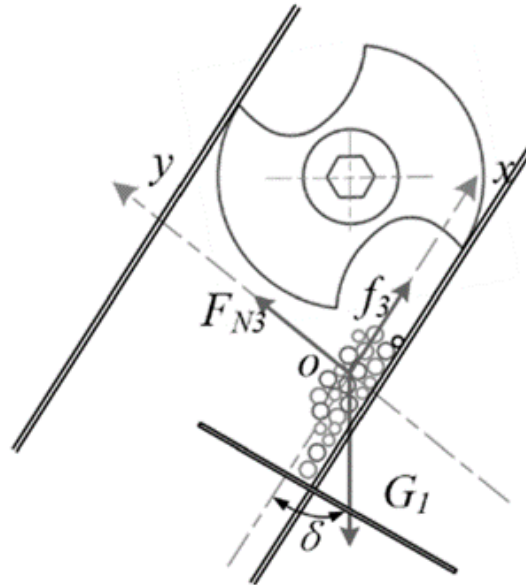


Рисунок 2.7. Схема руху добрив по тукопроводу.

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

де F_a – сукупні сили на групи добрив (Н);

F_{N3} – нормальна сила стінки тукопроводу на добрива (Н);

f_3 – сила тертя гранул добрив об стінки трубопроводу (Н);

δ - кут установки тукопроводу (°);

μ_1 – коефіцієнт тертя добрив об стінки тукопроводу.

Відповідно до рівняння (2.7) отримуємо:

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

Діапазон значень δ становить $30\text{--}40^\circ$, з рівняння (2.8) видно, що сумарна сила F_a на частинки добрив після виходу з пазу зменшується зі збільшенням δ , отже, кут встановлення туковисівної трубки впливає на рух частинок добрива та кількість добрив, що вноситься до кожного шару ґрунту. Частинки добрива в основному піддаються дії сили тяжіння G_1 у момент, коли вони залишають паз висівної катушки, і їхня траєкторія визначається рухом вільного падіння з початковою швидкістю v . Різні початкові швидкості розподілятимуть частинки добрив у різні отвори, що, у свою чергу, впливає на ефект точності операція внесення добрив глибокорозпушувачем-сошником.

2.3. Висновки до розділу.

1. Розроблено сошник-глибокорозпушувач, який може вносити мінеральні добрива в різні шари ґрунту, забезпечуючи таким чином живлення рослин на різних етапах їх розвитку.

2. Глибокорозпушувач може глибоко розпушувати нижній шар ґрунту перед сівбою рослин за технологією по-till, допомагаючи зменшити ерозію ґрунту, збільшити здатність ґрунту зберігати воду, покращити середовище росту кореневої системи рослин та сприяти та повному поглинанню поживних речовин добрива.

3. Теоретичним аналізом було встановлено, що робочу швидкість агрегату в необхідно вибрати в межах $1\text{--}4$ км/год, що відповідає швидкості висівної катушки для внесення добрив $6,67\text{--}20$ об/хв, початковий кут заповнення добривом був меншим або дорівнював природному куту спокою добрив $\alpha = 35^\circ$, а кут конусності θ паза був в межах $\theta = 8,02\text{--}50,42^\circ$.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ РОЗРОБЛЕНИМ ПРІСТРОЄМ

3.1. Побудова імітаційної моделі.

Щоб перевірити експлуатаційну ефективність розробленого агрегату з пошаровим внесенням добрив, було здійснено моделювання процесу внесення добрив за допомогою програмного забезпечення аналізу дискретних елементів для визначення частинок ґрунту та частинок добрив, а також для обговорення ефектів кута встановлення тукопровода на ефективність формування отворів і стабільність внесення добрив.

Програмне забезпечення для 3D-моделювання було використано для побудови моделі пристрою для пошарового внесення добрив з допомогою програмного забезпечення для дискретних елементів EDEM [13].

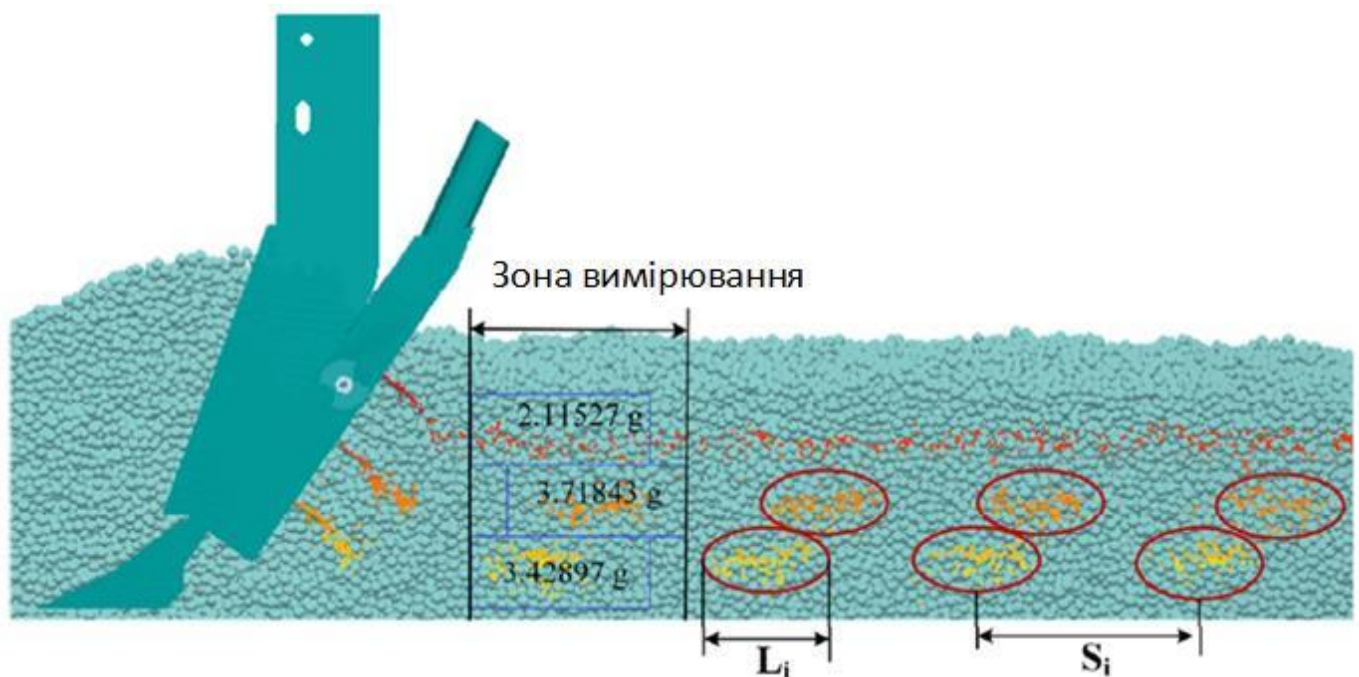


Рисунок 3.1. Імітаційна модель пошарового внесення добрив.

Модель контактної механіки Герца–Міндліна (без ковзання) була обрана як модель міжчастинкового контакту. Багато вчених [14,15] показали, що модель ґрунту можна замінити еквівалентними сферичними частинками з радіусом 6 мм, які можуть дуже добре імітувати взаємодію між ґрунтом і глибокорозпушувачем;

частинки добрива в основному мають сферичну форму, і їхня сферична частка становить понад 90%, що можна вважати сферичними з еквівалентним розміром частинок 3 мм. Деякі структури, які не впливають на аналітичну продуктивність, були спрощені. Імітаційна модель показана на рисунку 3.1.

Параметри частинок ґрунту, частинок добрива та смугово-пошарового внесення добрив змінних наведені в таблиці 1 [16].

Таблиця 3.1. Параметри моделювання та їх значення

Параметр	Елемент конструкції	Значення
Щільність, кг/м ³	Гранули добрив	1575
	Ґрунт	2500
	Сталь	7865
	Пластик	1200
Модуль зсуву, Па	Гранули добрив	$1,25 \times 10^8$
	Ґрунт	$1,00 \times 10^8$
	Сталь	$7,90 \times 10^{10}$
	Пластик	$1,00 \times 10^9$
Коефіцієнт Пуассона	Гранули добрив	0,25
	Ґрунт	0,30
	Сталь	0,37
	Пластик	0,40
Коефіцієнт реституції	Добриво-добриво	0,09
	Добриво-сталь	0,50
	Добриво-пластик	0,40
	Добриво- Ґрунт	0,02
	Ґрунт - Ґрунт	0,50
	Ґрунт -сталь	0,30
Коефіцієнт статичного тертя	Добриво-добриво	0,30
	Добриво-сталь	0,40
	Добриво-пластик	0,20
	Добриво- Ґрунт	1,25
	Ґрунт - Ґрунт	0,50
	Ґрунт -сталь	0,50
Коефіцієнт тертя кочення	Добриво-добриво	0,25
	Добриво-сталь	0,02
	Добриво-пластик	0,09
	Добриво- Ґрунт	1,25
	Ґрунт - Ґрунт	0,15
	Ґрунт -сталь	0,05

3.2. Методика проведення експерименту.

На основі вищезазначеного аналізу було проведено однофакторний експеримент для отримання оптимального кута встановлення тукопроводу з поступальною швидкістю руху 4 км/год і кутом сходу добрив 60° , щоб перевірити вплив п'яти значень кута встановлення тукопроводу на коефіцієнт стабільності надходження добрив у верхній, середній і нижній шари.

Ми додали функцію Grid Bin Group до інтерфейсу програми EDEM після завершення тесту моделювання та вибрали 10 випадково вибраних областей довжиною 25 мм в експериментальній зоні стабільності однофакторного тесту на удар. Таким же чином ми записали масу добрив у верхньому шарі Grid Bin Group, а також масу добрив у середньому та нижньому шарах під ним. Далі було розраховано коефіцієнт стабільності відхилення об'єму внесення добрив у три шари за різних обробок за формулою:

$$\eta = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - m_0)^2}}{m_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

де η – коефіцієнт стабільності відхилення кількості внесених добрив (%);
 m_i – фактична кількість внесених добрив (г);
 m_0 – нормативна норма внесення добрив (г);
 n – кількість вимірювань.

3.3. Результати проведення експерименту.

Щоб дослідити вплив кута нахилу на коефіцієнт стабільності внесення та довжину розподілень добрив, було досліджено кількість добрив, що потрапляють у середній і нижній шари, та проаналізовано їх характеристики (рис. 3.2).

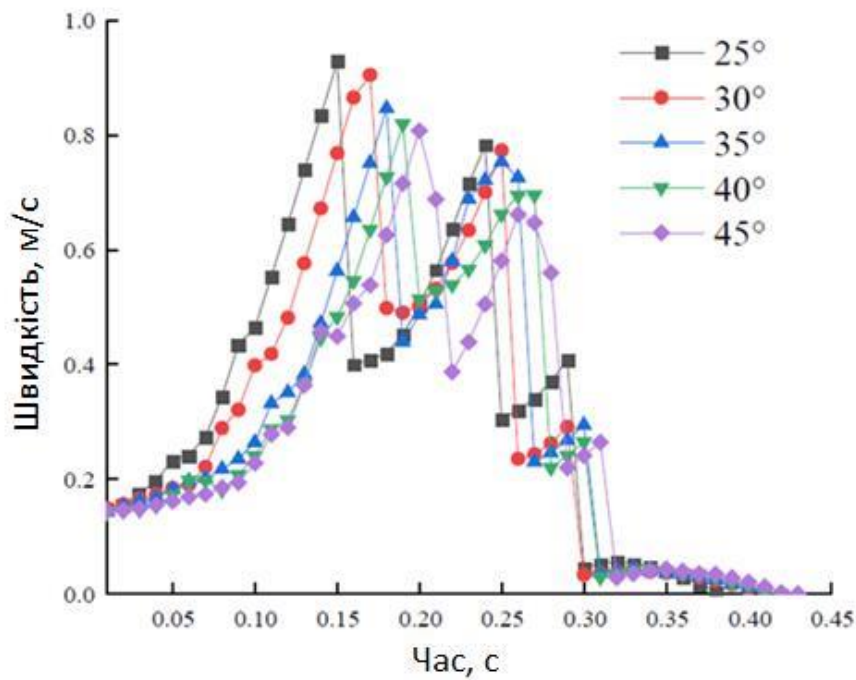


Рисунок 3.2. Залежність швидкості руху гранул добрив від кута нахилу тукопроводу при виході в середній шар ґрунту.

Як видно з рисунку гранули добрив прискорилися під дією сили тяжіння після виходу з пазу висівної котушки, і при встановленні кута нахилу тукопроводу на 25° гранули добрив першими досягли отвору; час, необхідний для досягнення розвантажувального отвору середнього шару, становив 0,15 с, а розвантажувального отвору нижнього шару становив 0,20 с. При 45° , гранули добрива останніми досягали розвантажувального отвору, а час, необхідний для досягнення розвантажувального отвору середнього шару становила 0,21 с, а для нижнього шару - 0,25 с. Таким чином, чим менший кут встановлення тукопроводу, тим більше прискорення частинок добрива, тим більша швидкість частинок добрива, які першими надходять до розвантажувального отвору та досягають отвору, і тим більші втрати швидкості, викликані зіткненням між частинками добрива в отворі, але чим більша швидкість частинок добрива надходить до отвору, тим більша швидкість після викиду і тим менше часу, витраченого на виведення з тукопроводу добрив. Порівняно з рисунком 3.3, можна побачити, що швидкість частинок добрива, що падають у нижній розвантажувальний отвір, більша, ніж швидкість середнього розвантажувального отвору, й різниця в часі між нижнім шаром різних кутів встановлення тукопроводу, коли частинки добрива

потрапляють у ґрунт, більша, ніж різниця в часі в середньому шарі, що приводе до більшої різниці в довжині розподілення добрив.

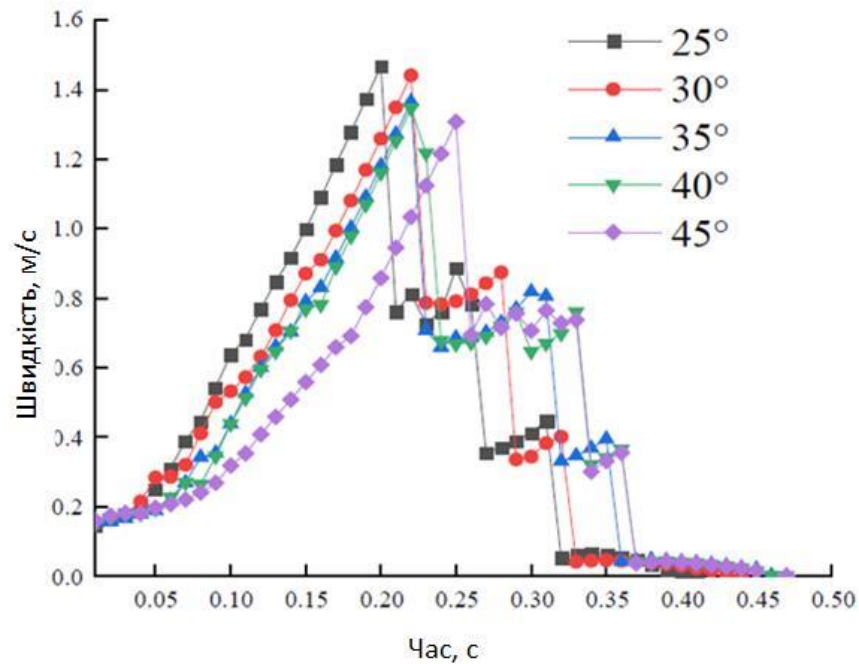


Рисунок 3.3. Залежність швидкості руху гранул добрив від кута нахилу тукопроводу при виході в нижній шар ґрунту.

Вплив різних кутів встановлення тукопроводу на кількість добрив, що вноситься до кожного шару, показано на рисунку 3.4.

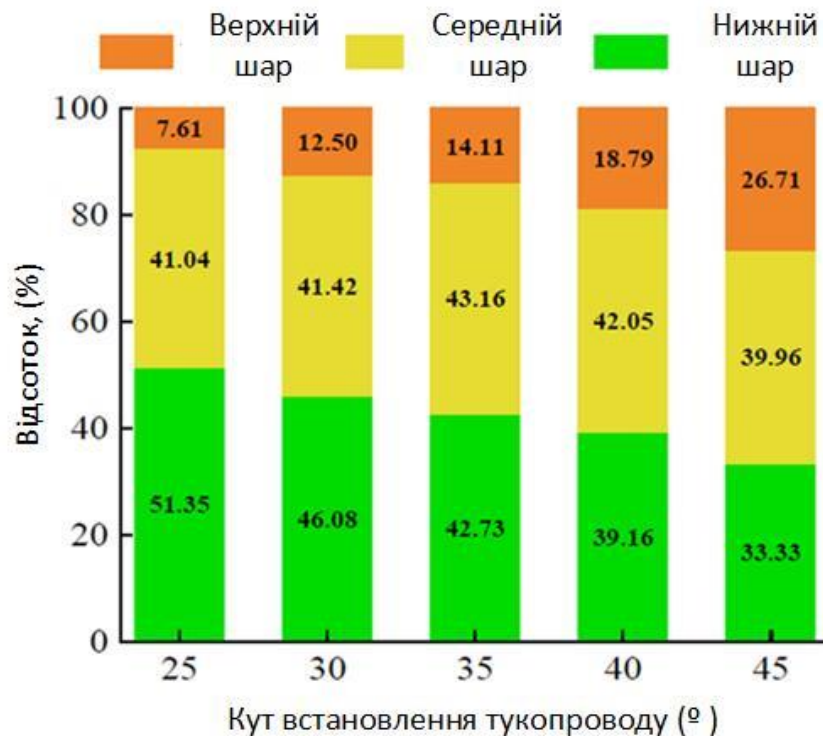


Рисунок 3.4. Процентний вміст добрив при внесенні в різні шари ґрунту.

Дослідження середньої маси добрив, внесених у верхній, середній і нижній шари, показало, що частка добрив, внесених у верхній шар, зростала зі збільшенням кута встановлення тукопровода, з 7,61% до 26,71%, частка добрив, внесених у середній шар, не сильно змінилася, а частка добрив, внесених у нижній шар, зменшилася з 51,35% до 33,33%. Вплив кута встановлення тукопровода на середній і нижній шари показано на рисунку 3.5.

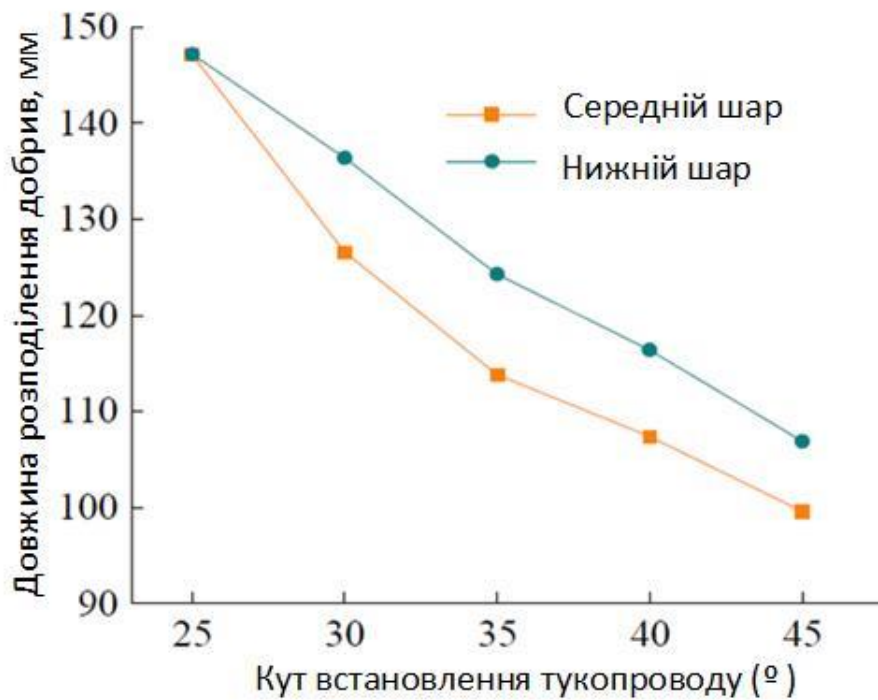


Рисунок 3.5. Довжина розподілення добрив в лунках в середньому та нижньому шарах ґрунту.

Довжина розподілення добрив середнього і нижнього шарів зменшується зі збільшенням кута встановлення тукопровода. Це означає, що збільшення кута встановлення тукопровода може зменшити швидкість частинок добрива, що виходять із розвантажувального отвору, і таким чином зменшити довжину розподілення добрив, але це призведе до збільшення частки добрива, що вноситься у верхній шар, і збільшення проміжку між середнім і нижніми шарами. Щоб гарантувати, що співвідношення добрив між середнім і нижнім шарами відповідає характеру росту кукурудзи [17], кут встановлення тукопровода було визначено рівним 30–40°.

3.4. Висновки до розділу.

В результаті проведеного однофакторного експерименту для отримання оптимального кута встановлення тукопроводу з поступальною швидкістю руху 4 км/год і кутом сходу добрив 60° , було визначено, що кут встановлення тукопроводу повинен бути рівним $30\text{--}40^\circ$.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз травмонебезпечних факторів при сівбі та внесенні мінеральних добрив.

У процесі внесення мінеральних добрив та сівби, внаслідок порушення правил експлуатації та інструкцій з техніки безпеки, помилок обслуговуючого персоналу, несправного технічного стану машин, виникають небезпечні фактори, які можуть призвести до травмування: під час перекидання машин на нерівних частинах дороги, поворотах, на ухилах більше 20°, а також з мостів; під час наїзду машин на людей, які відпочивають у невстановлених для цього місцях: під машинами, причепами; під час травмування деталями, що обертаються, на причепах транспортера, розкидних дисків, ходової частини; під час захоплення одягу, взуття, частин тіла людини відкритими робочими органами чи їх приводами (транспортера, розкидачем дисків під час очищення і обслуговування), карданною передачею, маховиком; від опіків внаслідок пожеж; від механічної дії рухомих частин машин і механізмів, а також використання несправного інструменту [19].

Безпека праці забезпечується: виконанням правил технічної експлуатації машин і механізмів; дотримання вимог і правил допуску обслуговуючого персоналу до роботи; правильним регулювання сидінь по масі і росту механізатора; організацію безпечного переведення обслуговуючого персоналу на місце роботи і назад; виконання чинних правил з техніки безпеки, пожежної безпеки.

4.2. Техніка безпеки при застосуванні різних видів мінеральних добрив.

При роботі з добривами всі робітники повинні чітко дотримуватися правил техніки безпеки і охорони праці. До роботи з добривами допускаються особи яким виповнилося 18 років. Всі робітники (спеціалісти, механізатори, вантажники тощо) перед початком роботи з добривами повинні пройти інструктаж з техніки безпеки і охорони праці. Правила техніки безпеки і санітарні правила при роботі з добривами вивішуються в приміщенні складу. Відстань від складів збереження

мінеральних добрив і пестицидів до житлових і суспільних будинків і підприємств по переробці і збереженню харчових продуктів повинна бути не менш 500 м, а до об'єктів, не пов'язаних з постійним перебуванням людей (за винятком підприємств по переробці і збереженню харчових продуктів), - 200м. Склади, призначені для збереження мінеральних добрив, розташовують від житлових і суспільних будинків на відстані не менш чим 200 м. Під час роботи з добривами на складі і за його межами всі робітники повинні надіти рекомендований для даного виду роботи спецодяг: комбінезон, рукавиці, очки, респіратори або (при роботі з аміачною селітрою) протигази. Під час зберігання аміачної селітри необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки. Не дозволяється її зберігання насипом за межами складу і сумісно з горючими речовинами (торфом, соломою, нафтопереробними продуктами і ін.). У складі, де зберігають аміачну селітру, не дозволяється курити, користуватись відкритим полум'ям і приборами для обігріву. Під час внесення добрив не дозволяється знаходитись поряд з робочими органами машин. Завантаження машин добривами слід проводити лише при повній її зупинці. Всі приводи машини повинні бути закриті щитами. Змащування і регулювання робочих органів слід проводити лише при повній зупинці машини і виключеним двигуном трактора. Не дозволяється сидіти на машині і знаходитися між трактором і машиною при транспортуванні і внесенні добрив. Швидкість руху машин при внесенні добрив не повинна бути вища встановленої технічними умовами. В транспорті з добривами заборонена перевіз людей, харчових продуктів, питної води і предметів домашнього використання. При транспортуванні не затарених сипучих мінеральних добрив з метою запобігання їхніх втрат кузова автомашин і причепів повинні бути герметизовані й укриті брезентом. При безперервній роботі з добривами рекомендується робити 5-ти хвилинні перерви через кожні півгодини роботи в респіраторі. По закінченню роботи слід прийняти душ або ретельно вимитися з милом. На місці роботи постійно повинен бути запас чистої води і аптечка. При потраплянні добрив в очі слід промити їх великою кількістю чистої води і звернутися в медпункт, а при опіку - промити обпечені місця сильним напором води, обробити 5%-ним розчином спирту і накласти марлеву пов'язку.

Чітке дотримання правил техніки безпеки і необхідних санітарних правил є непорушною умовою правильної організації праці при роботі з добривами.

4.2. Розробка моделей травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час сівби з одночасним внесенням мінеральних добрив.

Під час виконання технологічного процесу сівби з одночасним внесенням мінеральних добрив виникає значна кількість небезпечних (аварійних та травмонебезпечних) ситуацій з наслідками у вигляді аварій і травм працюючих. Серед ситуацій, які спостерігаються, можна виділити найбільш типові – це перекидання трактора, транспортних засобів, наїзди транспорту на відпочиваючих у полі людей, дорожньо-транспортні пригоди, захват одягу або частин тіла рухомими деталями машин, падіння людей з трапів, драбин, транспортних засобів, удушення людей сипкими матеріалами (мінеральними добривами, насінням), опіки, ураження струмом при пошкодженні ізоляції тощо.

У процесі формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події (явища), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події [18]. У результаті на схемах процесів пробігу випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими, показу причиннонаслідкових зв'язків ми одержимо логічні моделі процесів, що вивчаються. Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статично залежними або незалежними. Статично залежні події – це такі, коли поява наступної неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, можуть зв'язатися незалежно одна від одної, то такі моделі є статично незалежними. Як правило, у таких моделях незалежно випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу подій). На рис.4.1. зображено моделі формування і виникнення травмонебезпечних

і аварійних ситуацій під час виконання процесу розкидання мінеральних добрив. В результаті аналізу отриманої моделі пропонується наступні заходи запобігання небезпечних ситуаціям: 1) організувати постійний контроль за трактором перед виходом у рейс; 2) не допускати до роботи трактор без гальм;

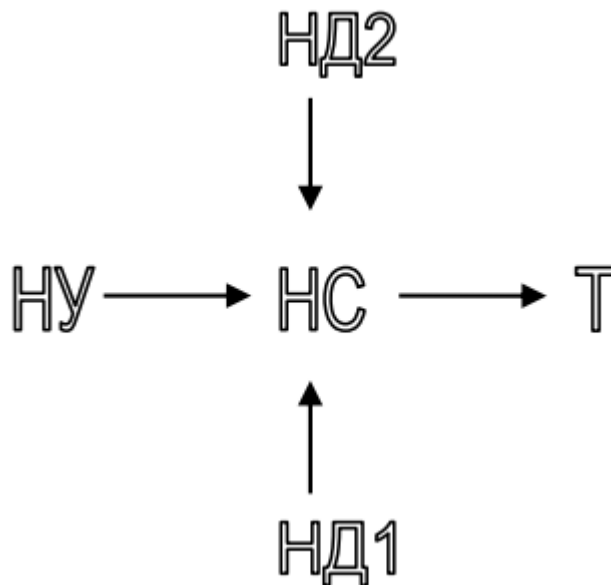


Рисунок 4.1. Модель процесу формування та виникнення травмонебезпечної ситуації під час експлуатації трактора без гальм: НУ – небезпечна умова (трактор експлуатується без гальм); НД1 – небезпечна дія (перевищення швидкості руху); НД2 – небезпечна дія (різкий поворот); НС – перекидання трактора - небезпечна ситуація); Т – травма, аварія.

На рис.4.2. зображено модель процесу формування і виникнення небезпечних ситуацій при загорянні трактора і появі пожежі.

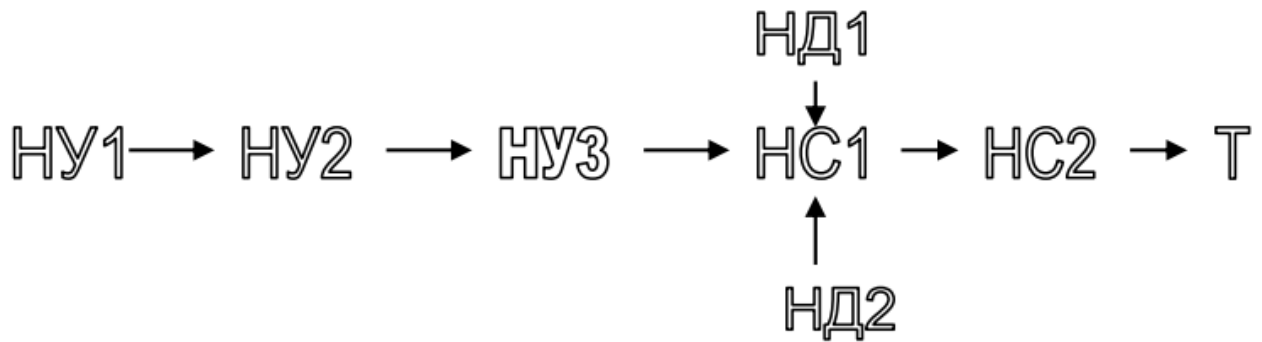


Рисунок 4.2. Модель процесу формування і виникнення травмонебезпечних ситуацій, якщо не обладнано і не позначено місце для заправки тракторів НУ1, відсутності контролю за заправкою тракторів НУ2, несправності пристрою для заправки тракторів та розливанні палива НУ3 : НД1 – заправка тракторів біля сухих рослин (сіно, солома) (небезпечна дія); НД2 – трактористи користуються відкритим вогнем (небезпечна дія); НС1 – загоряння розлитого палива (небезпечна ситуація); НС2 – загоряння трактора небезпечна ситуація); Т- пожежа.

Аналіз моделі дав змогу обґрунтувати наступний захід запобігання з небезпечних ситуацій: організувати постійний пожежний контроль за роботою машинно-тракторних агрегатів і добитися суворого дотримання працівниками правил пожежної безпеки.

4.4 Висновки до розділу.

Таким чином безпечне виконання операції сівби з одночасним внесенням мінеральних добрив досягається добре організованою службою охорони праці на підприємстві. Моделювання небезпечних ситуацій при виконанні даної операції дозволило розробити заходи охорони праці при її виконанні. Ці заходи сприятимуть зниженню травматизму на виробництві та підвищать рівень безпеки задіяних працівників.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Економічний ефект від використання розробленого сошника-глибокорозпушувача для пошарового внесення мінеральних добрив на сівалках для висіву просапних культур полягає у зменшенні витрат добрив та дозволяє відмовитись від двох додаткових операцій підживлення рослин та попередніх операцій обробітку ґрунту. Тому для порівняння виберемо з технологічного процесу вирощування кукурудзи операції які заміщає удосконалена сівалка на базі сівалки John Deere 7000, а саме оранку агрегатом John Deere 6R 110 + Lemken EurOpal 5 3+1 N, передпосівна культивация агрегатом John Deere 6R 110 + John Deere 2210, сівба з одночасним внесенням мінеральних стартових добрив агрегатом John Deere 6R 110 + John Deere 7000, перше та друге підживлення агрегатом John Deere 6R 110 + John Deere M 732.

Експлуатаційні показники, які характеризують ефективність застосування розробленого пристрою, визначали відповідно до стандартної методики [20].

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності розробленого сошника-глибокорозпушувача для пошарового внесення мінеральних добрив

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Склад агрегату	John Deere 6R 110 + Lemken EurOpal 5 3+1 N John Deere 6R 110 + John Deere 2210 John Deere 6R 110 + John Deere 7000 John Deere 6R 110 + John Deere M 732	John Deere 6R 110 + розроблена сівалка

Номінальна потужність двигуна енергозасобу, кВт	89	89
Вартість трактора, грн.	3000000	3000000
Річне завантаження трактора, год.	1600	1600
Вартість с.-г. машини, грн.	480000 1120000 662447 1200000	700000
Річне завантаження с.-г. машини, год.	600 230 170 450	170
Сумарні відрахування на машину (амортизація, ТО та поточний і капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Кількість обслуговуючого персоналу	1 1 1 1	1
Робоча швидкість агрегату, км/год	8 10 8 10	2
Ширина захвату, м	1,76 13,6 5,6 18	2,8
Коефіцієнт використання часу зміни	0,8	0,8
Продуктивність, га/год	3,6	7,2
Заробітна плата, грн./год.	100,00	100,00
Витрата палива, кг/га	14,0 6,0 8,0 5,0	10,0
Ціна палива, грн.	55,00	55,00

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи становлять:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (5.1)$$

де C_1 – оплата праці персоналу, що обслуговує агрегати та відрахування на соціальні заходи, грн./га;

C_2 – вартість витрачених паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

C_3 – відрахування на реновацію та капітальний ремонт агрегату, грн./га;

C_4 – відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування агрегату, грн./га.

Оплата праці обслуговуючому персоналу дорівнює:

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

де m_i – кількість працівників i -ої кваліфікації на агрегаті;

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

$W_{зм}$ – змінна продуктивність агрегату, га/зм.

Вартість паливно-мастильних матеріалів дорівнює:

$$C_2 = C_K Q_P, \quad (5.3)$$

де C_K – комплексна ціна кілограма палива, грн/кг;

Q_P – витрата палива, кг/га.

Відрахування на реновацію та капітальний ремонт машин в агрегаті визначаються з формули:

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

де B_{TP} – балансова вартість комбайна, грн;

a_T – норми відрахувань на амортизацію та капітальний ремонт відповідно агрегату, % ($a_k = 15\%$);

t_{TP}, t_M – зональне річне (або фактичне) завантаження агрегату, год.

Відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування машин в агрегаті дорівнюють:

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

де P_{TP} – сумарна норма відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування агрегату, % ($P_{TP} = 6,5\%$).

Різниця прямих експлуатаційних витрат на гектар при впровадженні удосконалення у виробництво буде становити:

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

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

При використанні удосконаленої машини на площі 100 га різниця прямих витрат буде становити:

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

де F – площа ділянки, га.

Враховуючи, експлуатаційні витрати на машини та економічний ефект від збільшення продуктивності агрегату можна записати, що економічний ефект на гектар посівів буде становити:

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

Термін окупності удосконаленої сівалки:

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

Складові витрати коштів подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок показників економічної ефективності впровадження розробленого сошника-глибокорозпушувача для пошарового внесення мінеральних добрив

Показник	Варіанти		Відхилення
	Базовий варіант	Удосконалений варіант	
Затрати праці, люд.-год/га	1,5	1,1	- 0,4
Заробітна плата, грн./га.	149,06	111,61	- 37,45
Вартість палива, грн./га	2090,00	550,00	- 1540
Відрахування на реновацію та капітальний ремонт, грн./га;	865,91	1003,23	+ 137,32
Відрахування на поточний ремонт та ТО, грн./га.	375,23	434,73	+ 59,50
Сумарні прямі експлуатаційні витрати, грн./га	3480,20	2099,57	- 1380,63
Річний економічний ефект, грн	143695,49		
Термін окупності капіталовкладень, років	1		

Застосування удосконаленого агрегата John Deere 6R 110 + удосконалена сівалка забезпечує економію коштів в порівнянні з базовим варіантом 1380,63 грн./га.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленої сівалки в порівнянні з існуючим варіантом – 143695,49 грн/рік при обсязі роботи 100 га.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав, що більш перспективним способом підвищення родючості ґрунтів і урожайності сільськогосподарських культур є локальне внесення гранульованих мінеральних добрив, суміщене з поверхневим обробітком ґрунту та сівбою. Тому розробка агрегату, який зможе працювати за сучасними технологіями землеробства, такими як no-till, з локальним внесенням мінеральних добрив в різні шари ґрунту для забезпечення живлення рослин на різних етапах їхнього розвитку є актуальною.

2. Розроблено сошник-глибокорозпушувач, який може вносити мінеральні добрива в різні шари ґрунту, забезпечуючи таким чином живлення рослин на різних етапах їх розвитку. Глибокорозпушувач може глибоко розпушувати нижній шар ґрунту перед сівбою рослин за технологією no-till, допомагаючи зменшити ерозію ґрунту, збільшити здатність ґрунту зберігати воду, покращити середовище росту кореневої системи рослин та сприяти та повному поглинанню поживних речовин добрива.

3. Теоретичним аналізом було встановлено, що робочу швидкість агрегату в необхідно вибрати в межах 1–4 км/год, що відповідає швидкості висівної котушки для внесення добрив 6,67–20 об/хв, початковий кут заповнення добривом був меншим або дорівнював природному куту спокою добрив $\alpha = 35^\circ$, а кут конусності θ паза був в межах $\theta = 8,02\text{--}50,42^\circ$.

4. В результаті моделювання проведення однофакторного експерименту для отримання оптимального кута встановлення тукопроводу з поступальною швидкістю руху 4 км/год і кутом сходу добрив 60° , було визначено, що кут встановлення тукопроводу повинен бути рівним $30\text{--}40^\circ$.

5. Безпечне виконання операції сівби з одночасним внесенням мінеральних добрив досягається добре організованою службою охорони праці на підприємстві. Моделювання небезпечних ситуацій при виконанні даної операції дозволило розробити заходи охорони праці при її виконанні. Ці заходи сприятимуть

зниженню травматизму на виробництві та підвищать рівень безпеки задіяних працівників.

6. Застосування удосконаленого агрегата John Deere 6R 110 + удосконалена сівалка забезпечує економію коштів в порівнянні з базовим варіантом 1380,63 грн./га.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленої сівалки в порівнянні з існуючим варіантом – 143695,49 грн/рік при обсязі роботи 100 га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія неорганічних речовин. Ч 3. Мі-неральні 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. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин / [Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М.]. – К., 2003. – 206 с.
4. Сільськогосподарські та меліоративні ма-шини: 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 підґрунтового-розкидного способу 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. Ґрунтообробний робочий орган: пат. 25169 Україна :МПК А01В 13/08 № u200703541; заявл. 30.03.2007; опубл. 25.07.2007, бюл. №11..

10. Машины 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. Лехман С. Д., Рублев В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. К.: Урожай, 1993. 267 с

19. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках: Посібник / Укл. Войналович О.В. – К.: Основа, 2009. – 88 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.