

Тема: «Удосконалення технології зміцнення деталей сівалок»

Виконав: Терегеря Вячеслав Олександрович

Керівник: Тарельник В.Б.

## ВСТУП

Сівалки – це важливі інструменти як для професійних фермерів, так і для фермерів-аматорів, які хочуть оптимізувати свої зусилля з посіву. З правильною сівалкою можна ефективно сіяти насіння в місцях, куди не можуть дістатися традиційні трактори. Це особливо важливо на складній місцевості, де доступність і точність мають вирішальне значення для успішного посіву.

Винахід сівалки значно покращив схожість. У сівалці використовувався ряд смуг, розташованих на тій самій відстані, що й зорані борозни. Ці смуги, або сівалки, відкривали борозну до рівномірної глибини перед тим, як висаджувати насіння. За сівалками знаходився ряд пресів — металевих дисків, які зрізали стінки траншеї, в яку було посаджене насіння, покриваючи його.

Це нововведення дозволило фермерам точно контролювати глибину посіву насіння. Такий кращий контроль означав, що менше насіння проростало рано чи пізно, і що насіння могло оптимально використовувати доступну вологу ґрунту в підготовленому насіннєвому ложі. В результаті фермери змогли використовувати менше насіння і водночас отримувати більший врожай, ніж за розкидного методу посіву.

Сівалка дозволяє фермерам сіяти насіння рівномірно розташованими рядами на певній глибині з певною нормою висіву; кожна трубка створює отвір певної глибини, засипає одне або кілька насінин і засипає його. Цей винахід дає фермерам набагато більший контроль над глибиною посіву насіння та можливість засипати його без зворотного руху. Результатом є збільшення швидкості проростання та значно покращення врожайності (до восьми разів порівняно з розкидним посівом).

Використання сівалки також сприяє боротьбі з бур'янами. Розкидний посів призводить до випадкового розташування культур, що ускладнює боротьбу з бур'янами будь-яким методом, окрім ручного прополовання. Поле, засіяне сівалкою, набагато рівномірне, зазвичай рядами, що дозволяє прополувати бур'яни сапою протягом вегетаційного періоду. Прополовання вручну є трудомістким та неефективним. Недостатнє прополовання знижує врожайність, тому ця перевага надзвичайно значна.

Враховуючи, що з часом окремі деталі сівалок зношуються, виникає необхідність застосовувати до них різні, як конструктивні, так і технологічні методи підвищення їх довговічності. Таким чином, обрана тема дипломної роботи «Удосконалення технології зміцнення деталей сівалок» актуальна і своєчасна.

## РОЗДІЛ 1

### ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СІВАЛОК

#### 1.1. Загальні положення

Концепція сівалки сягає корінням у стародавній Китай та Месопотамію, де для посіву насіння використовувалися рудиментарні знаряддя праці. На початку 18 століття англійський агроном Джетро Талл розробив першу механічну сівалку, яка здійснила революцію в сільському господарстві, збільшивши врожайність сільськогосподарських культур і зменшивши трудозатрати. Сучасні сівалки – це складні машини, які поєднують технології точного землеробства, забезпечуючи рівномірний розподіл насіння та оптимальний стан ґрунту.

Сівалки можуть «напрямую сіяти» насіння в залишки попередніх культур без попереднього обробітку. Ця техніка мінімального порушення ґрунту відома як «безоранка» або «нульова оранка».

Сівалка висіває насіння в ґрунт на точну глибину та з певними інтервалами (міжряддя). Вона забезпечує рівномірний висів насіння по всьому полю, що є вирішальним для оптимального росту врожаю. Сучасні сівалки оснащені функціями та опціями, що підвищують їхню ефективність та універсальність, такими як невеликі насінні ящики, сошники та прикочувальні колеса.

Сівалки зазвичай мають конструкцію з подвійним бункером, що дозволяє розділяти насіння та добрива перед тим, як їх «з'єднати» разом під час сівби (рис. 1.1). Насіння подається під дією сили тяжіння у рифлені лопаті (висівні котки), які безпосередньо приводяться в рух безступінчастою коробкою передач, з'єднаною через зчеплення з опорними колесами машини, або електродвигуном.

Насіння падає через шланг у жолоби (або «насінніві трубки») за «лопаткою» з «наконечником пекаря» або одно- чи дводисковим сошником. Вони створюють неглибоку борозну в ґрунті, в яку потім скидається або «розміщується» насіння.



Рисунок 1.1 – Фото використання сівалки

Сівалки потребують калібрування перед початком роботи, щоб забезпечити правильну «норму висіву» (тобто кількість насінин на гектар) залежно від сорту насіння різного розміру та/або бажаних результатів.

Сівалки можна піднімати або опускати за допомогою гідравліки трактора для дистанційного вмикання або вимикання висівних механізмів.

Додаткові колеса для прикочування або ґрунтові котки можна встановити на сівалку або прикріпити за нею, щоб вирівняти ґрунт і злегка притискати або засипати насіння в ґрунт.

Основною перевагою використання сівалки є ефективний та результативний посів культур для досягнення оптимального приживлення та росту. Висаджуючи культури, фермери прагнуть:

- Виробництво якісних кормів для худоби: Посів таких культур, як трави, бобові та інші кормові культури, забезпечує високоякісні корми для

худоби, що є важливим для підтримки здоров'я та продуктивності тварин (рис. 1.2).

- Максимізація врожайності сільськогосподарських культур: Ефективно посаджені культури забезпечують краще проростання та ріст, що призводить до вищої врожайності та більш прибуткових зборів, або вищої ціни на яловичину чи баранину.

- Сприяння сталому сільському господарству: Правильна посадка сільськогосподарських культур допомагає підтримувати здоров'я ґрунту, зменшувати ерозію та покращувати утримання води, сприяючи довгостроковій стійкості.

- Забезпечення продовольчої безпеки: Посадка сільськогосподарських культур має вирішальне значення для виробництва продуктів харчування для споживання людиною, підтримуючи як місцеві, так і глобальні запаси продовольства.



Рисунок 1.2 – Пасовищне поле засіяне сівалкою AD230 Agrowdrill.

*Фото: Hobbs Livestock*

Переваги використання сівалки:

**1. Точна посадка:**

- Постійна глибина та відстань між насінням: сівалки висівають насіння на однакову глибину та відстань між ними, сприяючи рівномірному проростанню та росту.

- Зменшення відходів насіння: Завдяки точному розміщенню насіння сівалки мінімізують втрати та забезпечують найкращий шанс для зростання кожного насіння.

## **2. Збільшення врожайності:**

- Оптимальна підготовка посівного ложа : сівалки готують ґрунт до ідеальних умов для вкорінення розсади.

- Ефективне використання ресурсів: Правильно розміщене насіння ефективніше використовує поживні речовини, воду та сонячне світло, що призводить до здоровішого врожаю та вищої врожайності.

## **3. Економія праці та часу:**

- Автоматизований посів: сівалки значно зменшують ручну працю, необхідну для посадки, дозволяючи фермерам обробляти більші площі за менший час.

- Точність і швидкість: Сучасні сівалки можна калібрувати для різних типів насіння та польових умов, що підвищує ефективність посіву.

## **4. Здоров'я та збереження ґрунту:**

- Мінімальне порушення ґрунту: сівалки менше порушують ґрунт, ніж традиційні методи посіву, зберігаючи структуру ґрунту та зменшуючи ерозію.

- Природоохоронне землеробство: Використання сівалок відповідає принципам природоохоронного землеробства, сприяючи сталому веденню сільського господарства.

## **1.2. Сучасні технології в посівній техніці для зернових культур. Останні досягнення та майбутні перспективи**

Експлуатаційні характеристики посівної техніки для зернових культур впливають на врожайність та якість зернових культур. Нижче ми розглядаємо

існуючу літературу з інтелектуальних технологій для посівної техніки для зернових культур, що охоплює активні керовані приводи висіву, інтелектуальне керування нормою висіву та інтелектуальні системи керування положенням насіння.

Злаки – це насіння рослин родини злаків, таких як пшениця, рис, кукурудза та просо. Злаки є важливою частиною основних продуктів харчування в усьому світі, оскільки вони можуть забезпечити 50–80% теплової енергії, 40–70% білка та понад 60% вітаміну В1, необхідного населенню світу [1]; тому існує великий попит на зернові культури в усьому світі. Згідно з офіційною статистикою Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) [2], загальна площа посівів зернових культур у світі у 2022 році становила приблизно  $4,75 \times 10^6 \text{ г} / \text{гм}^2$ , а врожайність зернових культур – приблизно  $1,835 \times 10^3 \text{ кг} / \text{гм}^2$ . Площу посівів та врожайність зернових культур як основного продукту харчування необхідно постійно збільшувати, щоб задовольнити потреби населення світу.

Посів є однією з найважливіших агрономічних процедур у вирощуванні зернових культур, і відповідна норма висіву може підвищити врожайність та якість росту зернових культур [3]. Якщо норма висіву зернових культур нижча за теоретичну, ймовірно, земельні ресурси будуть витрачені марно. Крім того, якщо норма висіву зернових культур перевищить теоретичну, врожайність зменшиться через нестачу води та поживних речовин. Тому точний контроль норми висіву зернових культур має велике значення.

Поширені методи посіву зернових культур включають розкидний посів, рядковий посів [4] та точний посів [5]. Розкидний посів передбачає ручне розкидання насіння по поверхні ґрунту та подальше покриття розкиданого насіння ґрунтом; хоча цей процес легко виконати, досягти рівномірного розподілу насіння є складним завданням.

Для посіву посівним способом необхідно будувати канали з рівномірними інтервалами, в які згодом розміщується насіння зернових культур. Посівний посів, який часто використовується для прямого посіву пшениці та рису, може

підтримувати стабільні міжряддя та оптимальні умови вентиляції та освітлення для насіння. Крім того, він також сприяє таким методам управління полем, як міжповерхневий обробіток та захист рослин. Точний посів означає розміщення кількох насінин у лунках, розташованих на відстані одне від одного, відповідно до певних заздалегідь визначених параметрів міжряддя та відстані між насінням. Точний посів сприяє механізованому удобренню та управлінню полем завдяки стабільному росту насіння зернових культур.

Для реалізації вищезазначених методів висіву було розроблено різні типи посівних машин [6]. Насіння в посівній машині вивантажується за допомогою дозуючих пристроїв для насіння; однак у звичайних посівних машинах для приводу дозуючого пристрою для насіння використовується система колеса та ланцюгової передачі, так що норма висіву пристрою не може регулюватися відповідно до різних умов родючості ґрунту [7]. Крім того, робоча глибина звичайних посівних машин фіксується після опускання за допомогою підвісного механізму трактора і не може контролюватися відповідно до висоти ґрунту, що призводить до різної глибини висіву та впливає на якість зернових культур. Підсумовуючи, через відсутність інтелектуальної системи моніторингу та управління звичайні посівні машини не можуть регулювати робочі параметри відповідно до властивостей ґрунту, положення посіву та умов експлуатації [8], що зрештою впливає на врожайність зернових культур та ефективність подальшого агрономічного процесу.

Для оптимального контролю процесу посіву зернових культур у звичайних машинах для посіву зернових культур використовуються деякі інтелектуальні системи та алгоритми сенсорного керування, прийняття рішень та керування [9, 10]. Використовуючи інтелектуальні технології, звичайні машини для посіву зернових культур можуть контролювати норму висіву відповідно до родючості ґрунту на місці, а також контролювати положення та глибину посіву на основі траєкторії висіву та сили притиску сівалки, що дозволяє розміщувати насіння на ідеальних відстанях між рядами та глибині посіву [11].

Метою досліджень було розглянути новітні інтелектуальні технології, що застосовуються в галузі посівної техніки для зернових культур. У деяких оглядах вже було висвітлено відмінності між посівом на основі карт та датчиків, орієнтованим на певну ділянку, та наголошено на важливості алгоритмів об'єднання даних. Наприклад, Šarauskis та ін. [12] зосередилися переважно на методах висіву зі змінною нормою (VRS) та їх ефективності в різних польових умовах. Munnaf та ін. [13] розглянули багатосенсорні технології та технології об'єднання даних для методів посіву, орієнтованих на певну ділянку. У цьому дослідженні наголошується на різних виконавчих механізмах, датчиках та контролерах, що використовуються в інтелектуальній посівній техніці. Унікальною перспективою цього огляду є опис того, як ці інтелектуальні технології сприяють автоматичному та точному посіву зернових культур, тоді як вищезгадані огляди зосереджені на тому, як гнучко змінювати стратегії посіву відповідно до конкретних умов різних регіонів.

Крім того, Ду та ін. [7] розглянули прогрес досліджень технологій та обладнання VRS для кукурудзи. У нашому дослідженні розглядаються не лише кукурудза, а й інші зернові культури, такі як пшениця, рис, боби та просо. Оскільки технології посіву зернових культур мають певну схожість, ми розглянемо передові інтелектуальні технології для різних зернових культур.

Враховуючи вищезазначені порівняння, ця стаття пропонує більш повний огляд та зосереджується на технологіях інтелектуальної посівної техніки, які сприяють підвищенню точності та ефективності процесів посіву. Хоча інтелектуальна посівна техніка була всебічно та глибоко досліджена в попередніх дослідженнях у багатьох країнах світу, і було запропоновано низку інтелектуальних алгоритмів сенсорного контролю, прийняття рішень та керування для посівної техніки, результати дослідження не були узагальнені детально та систематично, що є несприятливим для розробки подальшої інтелектуальної посівної техніки. Тому ми розглядаємо відповідні джерела та дослідницькі матеріали з метою запропонувати всебічний погляд на стан

досліджень ключових технологій інтелектуальної посівної техніки для зернових культур.

### **1.2.1. Взаємозв'язок між ключовими технологіями інтелектуальної сівалки зернових культур**

Кінцева мета інтелектуальної сівалки зернових полягає в повному використанні інформації про навколишнє середовище та техніку для розміщення певної кількості насіння зернових з бажаною нормою висіву та відносним положенням за допомогою інтелектуальних технологій зондування, прийняття рішень та управління [12]. Кінцеву мету можна розділити на дві підцілі, а саме: відповідну норму висіву та точне положення насіння [ 13, 14 ]. Для досягнення вищезазначених підцілей необхідно використовувати три ключові технології інтелектуальної сівалки зернових: активні керовані виконавчі механізми висіву, інтелектуальне керування нормою висіву та інтелектуальне керування положенням насіння.

Загальну мету, а саме досягнення оптимальної норми висіву та положення насіння, можна розділити на дві підцілі. Перша підціль включає досягнення відповідної норми висіву. Досягнення відповідної норми висіву вимагає розробки приладів для вимірювання насіння з моторним приводом як фізичної основи. Технологія вимірювання властивостей ґрунту забезпечує фактори прийняття рішень, такі як вміст вологи в ґрунті (ВВГ), органічна речовина ґрунту (ОРГ) та електропровідність ґрунту (ЕПГ), для моделей прийняття рішень щодо оптимальної норми висіву. Теоретичну норму висіву на ділянці, як головну мету інтелектуальної системи контролю норми висіву, можна визначити за допомогою технології визначення оптимальної норми висіву. Технологія моніторингу норми висіву потім використовується для вимірювання фактичної норми висіву, що слугує зворотним зв'язком для системи контролю норми висіву.

Іншою підметою є досягнення інтелектуального контролю положення насіння, який включає вертикальне, поздовжнє та поперечне положення. Вертикальне положення залежить від технології контролю вертикального положення насіння. По-перше, для розробки виконавчих механізмів для

інтелектуального контролю глибини висіву слід використовувати механізми профілювання поверхні ґрунту, які можна активно регулювати за допомогою гідравлічної, пневматичної або електричної системи. Висота ґрунту вимірюється за допомогою технології топографічних вимірювань. Потім топографічний датчик надсилає фактичну висоту ґрунту до системи контролю глибини висіву, яка використовується для регулювання вертикального положення насінневих отворів. Крім того, якщо траєкторія руху посівної машини відхиляється від теоретичного маршруту, то відстань між насінням та міжряддя будуть аномальними, як показано на рисунку 1.3. Розробки в галузі посівної техніки включають технології контролю траєкторії та положення посівної машини. На основі вищезазначених технологій посіяне насіння можна розмістити в ідеальних положеннях.

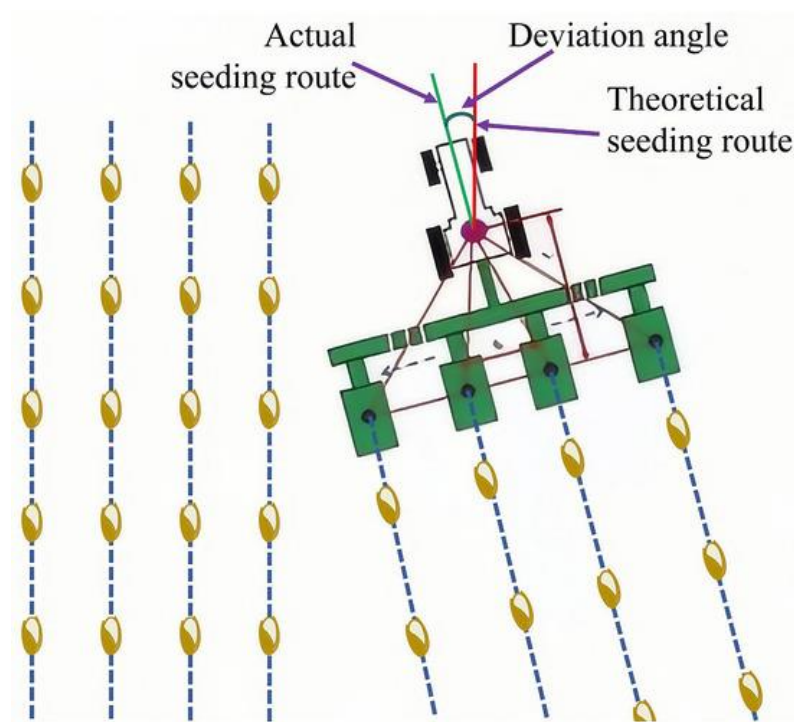


Рисунок 1.3 - Схема відхилення маршруту висіву

Інтелектуальна сівалка зернових культур може бути інтегрована на основі вищезгаданих активних керованих приводів висіву, інтелектуальних систем контролю норми висіву та положення. На основі вищезгаданих інтелектуальних технологій інтелектуальна сівалка може контролювати інформацію про ґрунт та

техніку, щоб визначати оптимальну норму висіву та керувати пристроєм дозування насіння для контролю норми висіву в режимі реального часу відповідно до визначеної оптимальної норми висіву. Крім того, техніка інтелектуального контролю положення насіння може регулювати поздовжнє та поперечне положення насіння шляхом регулювання траєкторії руху сівалки, а також контролювати вертикальне положення в ґрунті за допомогою методу контролю глибини висіву.

### **Активно керовані виконавчі механізми висіву**

Дозувальники насіння є основними компонентами посівної техніки, які використовуються для розділення агрегованого насіння на рівномірний та дискретний потік насіння. Упорядкований дискретний потік насіння не тільки забезпечує бажану врожайність та якість, але й значно зменшує складність моніторингу та контролю, мінімізуючи явища неправильного висіву та повторного висіву [ 15, 16 ]. Традиційні дозатори насіння керуються ґрунтовими колесами, слизькість яких може призвести до нестабільної швидкості обертання дозатора насіння. Отже, все більше посівних машин використовують електродвигуни для приводу дозаторів насіння. Тому в процесі проектування дозаторів насіння з моторним приводом слід враховувати вплив двигуна.

Залежно від джерела контактної сили між насінням зернових культур та механічними конструкціями, МСДД можна розділити на два типи. Один – це механічний висівний пристрій, процеси заповнення, переміщення та вивантаження насіння якого залежать від механічних сил та сили тяжіння [17, 18]. Інший – це висівний пристрій з повітряним потоком, в якому насіння втягується в отвори під дією негативного тиску повітря, а потім вивантажується під дією сили тяжіння або позитивного тиску повітря [19-21]. Типові механічні та пневматичні висівні пристрої показані на рисунку 1.4.

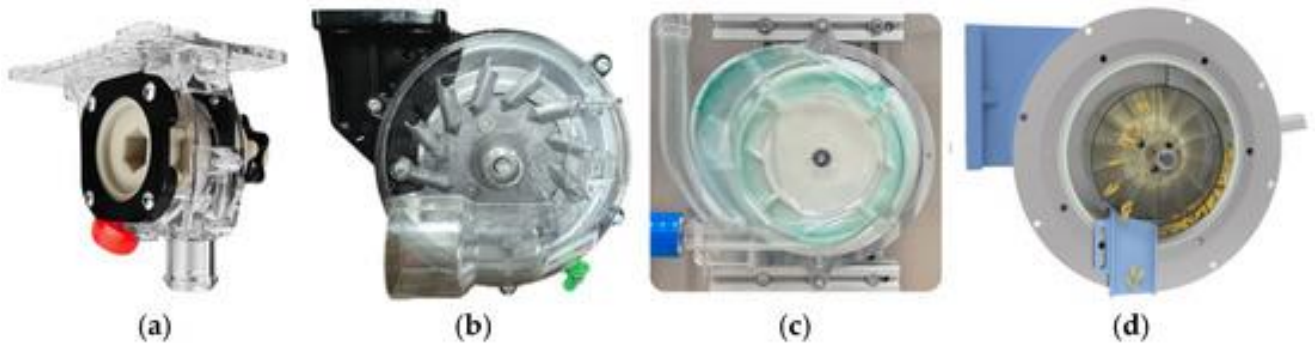


Рисунок 1.4 - Типові механічні та повітряно-потоківі дозувальні пристрої для насіння. ( **a** ) Механічний висівний пристрій (МВП) з рифленим роликівим механізмом; ( **b** ) механічний МВП з ложкою та колесом; ( **c** ) двопорожнинний МВП з повітряно-потоківим механізмом; та ( **d** ) перегородковий МВП з повітряно-потоківим механізмом

У контексті інтелектуального висіву, щоб зменшити складність моніторингу та контролю потоку насіння, потік насіння, що видається MDSD, бажано повинен бути максимально точним та рівномірним [ 22 ]. Рівномірний потік насіння може зменшити явище перекриття, тим самим зменшуючи складність моніторингу [ 23]. Крім того, більшість алгоритмів контролю висіву враховують, що кількість насіння, що видається за один оберт висівної пластини, є постійною. Більше того, якщо потік насіння більш рівномірний, ефект контролю норми висіву буде кращим, і тому було запропоновано різні інноваційні пристрої для дозування насіння для підвищення рівномірності насіння [ 24, 25 ].

Щодо механічних пристроїв для висіву насіння, більшість досліджень зосереджені на структурних інноваціях та оптимізації параметрів [24 , 26, 27 ]. Було розроблено кілька інноваційних пристроїв для висіву насіння зі ступінчасто розташованими зубцями, розташованими на периферії пластини для висіву насіння [28-30]. Шахматне розташування опуклих зубців дозволяє заповнювати, переміщувати та викидати насіння по черзі. Коли порожнина завершує процес вивантаження, сусідня порожнина починає викидати насіння. Таким чином, структура ступінчасто розташованих опуклих зубців може сприяти зменшенню явища пропуску висіву та покращенню рівномірності висіву.

На відміну від традиційних дозуючих пристроїв для насіння, для транспортування та розвантаження насіння зернових культур було

запропоновано безваловий спіральний трансмісійний пристрій. Спіральний транспортер може пом'якшити вплив вібрацій та зіткнень насіння зернових культур як під час транспортування, так і під час розвантаження. Крім того, було розроблено електромагнітний вібраційний дозуючий пристрій (MDSД) для посіву проса. Максимальні коефіцієнти варіації рівномірності висіву на рядок та загальної рівномірності висіву становили 3,57% та 2,39% відповідно, а коефіцієнт пошкодження насіння був меншим за 0,5%.

Більше того, було розроблено пристрій для висіву насіння викидного типу, в якому лопаті, що обертаються на високій швидкості, прискорюють насіння та просувають його в ґрунт. Застосування пристрою для висіву насіння викидного типу не вимагало використання сошників та висівних трубок, що зменшило удари між насінням та посівною технікою.

Пристрої для дозування насіння з використанням повітряного потоку зазвичай використовуються в точному висіві. З метою підвищення стабільності висіву було запропоновано деякі нові пневматичні конструкції для заповнення та очищення насіння. Зокрема, трапецієподібний отвір був вбудований в основу вставки отвору, а вихідний отвір для повітряного потоку був інтегрований у передню оболонку для полегшення процесів заповнення та очищення насіння. Крім того, пристрій для дозування насіння з використанням повітряного потоку поєднував ложки для насіння та повітряний потік для регулювання стабільного положення насіння під час процесу переміщення насіння, тим самим забезпечуючи стабільне утримання насіння в висівних отворах.

Існуючі дослідження пневматичних MDSД в основному зосереджені на взаємодії між повітряним потоком та насінням зернових культур. Таким чином, метод обчислювальної гідродинаміки (CFD) зазвичай поєднується з DEM для оптимізації структури та параметрів рідинного поля MDSД. Ван та ін. розробили безконтактний самовсмоктувальний пристрій для висіву пшениці та провели моделювання поєднання CFD-DEM для вивчення продуктивності засипання насіння. Результати моделювання показали, що коли швидкість повітряного

поток перевищувала 6,5 м/с, а швидкість обертання перевищувала 800 об/хв, продуктивність засипання насіння могла відповідати розглянутим вимогам.

Крім того, для підвищення стабільності транспортування насіння за допомогою дозуючих пристроїв для насіння було розроблено деякі методи транспортування насіння, такі як транспортування з позитивним тиском та високошвидкісні стрічкові транспортні системи. Пневматичний транспортний пристрій для насіння був розроблений на основі аналізу поля повітряного потоку за різних структурних параметрів. Потік повітря з позитивним тиском допомагає двом сусіднім насінинам підтримувати початковий інтервал після вивантаження з MDSD. Основною проблемою використання технології транспортування з позитивним тиском є уникнення зіткнень з висівною трубкою. Оскільки насіння, що транспортується за допомогою потоку повітря з позитивним тиском, має високу швидкість, його траєкторію падіння важко контролювати, і воно може вдаритися об висівну трубку. Розробка MDSD, які можуть підтримувати точний та рівномірний потік насіння, закладає міцну основу для інтелектуальної технології контролю норми висіву.

Нерівна поверхня ґрунту суттєво впливає на вертикальне положення висівних отворів, що призводить до висіву насіння зернових культур на нерівномірній глибині посіву. Тому для керування вертикальним положенням висівних отворів можна використовувати GSPM як виконавчий механізм для інтелектуальних систем контролю глибини посіву.

ГСПМ можна розділити на два типи залежно від їхньої конструкції, а саме: одношарнірні ГСПМ та паралельні чотириланкові ГСПМ. Одношарнірні ГСПМ мають легку конструкцію. Крім того, траєкторії руху висівних отворів одношарнірних ГСПМ є дугами з центрами обертання в шарнірному з'єднанні. Нільсен та ін. застосували одношарнірний ГСПМ для контролю робочої глибини посівного агрегату. У цьому дослідженні для навантаження притискної сили використовувалася фіксована пружина, і експериментальні результати показали, що одношарнірний ГСПМ із системою контролю глибини висіву забезпечив середнє відхилення глибини від цільової глибини менше 0,2 мм.

Використання паралельного чотириланкового GSPM може забезпечити паралельність двох площин та досягнення вертикальної траєкторії руху. У практичних посівних операціях паралельний чотириланковий GSPM є найбільш поширеним механізмом у посівних машинах. Найважливішим кроком у розробці паралельного чотириланкового GSPM є встановлення паралелограмної конфігурації між рейкою та висівним агрегатом; тобто верхній та нижній з'єднувальні стрижні повинні мати однакову довжину та бути паралельними один одному.

Звичайний GSPM змінює притискну силу, що створюється висівним агрегатом на ґрунт, шляхом регулювання довжини пружини — чим менша притискна сила, тим менша глибина посіву. Цей пружинний GSPM не може активно регулювати відповідну притискну силу відповідно до ґрунтових умов на місці, тим самим впливаючи на проростання та розвиток коренів насіння зернових культур.

Нещодавні дослідження в цій галузі приділяють все більшу увагу активним GSPM, які інтегрують активні виконавчі механізми, наприклад, імплантацію гідравлічного циліндра, електродвигуна, пневматичного циліндра або магнітореологічного демпфера, що дозволяє контролювати глибину посіву в режимі реального часу на основі стану поверхні ґрунту. Кілька універсальних GSPM з різними виконавчими пристроями показано на рисунку 1.5. На рисунку **1.5a** показано пружинний GSPM з простою структурою, високою надійністю та широким спектром застосування; крім того, його також легко встановити та налаштувати. Пружина забезпечує нестабільну притискну силу, так що силу попереднього натягу пружинного GSPM необхідно емпірично регулювати відповідно до стану ґрунту перед експлуатацією. На рисунку **1.5b** показано гідравлічно-привідний GSPM, який також може забезпечити велику притискну силу та діапазон регулювання. Крім того, він має швидкий час відгуку і тому підходить для високошвидкісних операцій. На рисунку **1.5c** показано пневматично приведений у дію GSPM, який потребує зовнішнього блоку подачі повітря і, таким чином, може витримувати високий тиск і вібраційні впливи, з

хорошим ефектом гасіння вібрацій. На рисунку 1.5d показано GSPM з електродвигуном, який має високу точність керування та швидку реакцію, але потребує додаткового джерела живлення під час роботи.



Рисунок 1.5 - ГСПМ з різними виконавчими пристроями: (а) пасивний пружинний ГСПМ; (б) ГСПМ з гідравлічним приводом; (с) ГСПМ з пневматичним приводом; та (d) ГСПМ з електродвигуном.

Згідно з попередніми дослідженнями щодо проектування активних GSPM, процес розробки активного GSPM можна підсумувати наступним чином. Спочатку створюються кінематичні та динамічні моделі для визначення структурних параметрів активного GSPM. Потім можуть бути розроблені моделі контакту між профілюючим колесом та поверхнею ґрунту, щоб точно оцінити просідання ґрунту. Розподіл напружень та деформацій у розробленому активному GSPM аналізується за допомогою методу скінченних елементів, що може забезпечити основу для його структурної оптимізації. Згодом проводяться польові експерименти оптимізованого активного GSPM для перевірки його ефективності профілювання. На основі розробленого активного GSPM розробляються інтелектуальні топографічні вимірювання та алгоритми контролю глибини посіву для регулювання глибини посіву під час операцій, відповідно до висоти поверхні ґрунту. Хоча ефективність профілювання розроблених GSPM загалом прийнятна, все ще існують деякі практичні проблеми, з якими стикаються GSPM. Найважливішим завданням є зменшення вібрації GSPM в процесах експлуатації, що може вимагати подальшого дослідження.

### 1.2.2. Інтелектуальне керування нормою висіву

Деякі властивості ґрунту, такі як вміст води в ґрунті (ВГГ), органічна речовина ґрунту (ОРГ), електропровідність ґрунту (ЕПГ), значення рН та засоленість, можуть впливати на проростання, ріст та здоров'я насіння зернових культур. Таким чином, оптимальну норму висіву слід визначати відповідно до властивостей ґрунту на місці, щоб максимально використати потенціал оброблюваного поля. Крім того, властивості ґрунту слугують основою для визначення норми висіву на певному полі. Нижче наведено методи вимірювання ВГГ, ОРГ та ЕПГ як найважливіших властивостей ґрунту.

#### *Вміст води ґрунту (ВГГ)*

ГМК визначається як відношення ваги води, присутньої в ґрунті, до ваги в сухому ґрунті. Недостатня кількість води може перешкоджати проростанню насіння, оскільки надмірно сухі умови можуть перешкоджати насінню поглинати достатню кількість води. І навпаки, надмірно насичені ґрунти можуть призвести до гниття насіння через дефіцит кисню. Тому важливо регулювати оптимальну норму висіву на основі ГМК оброблюваного поля; у цьому напрямку ефективність виявлення та точність датчика ГМК мають першорядне значення.

SMC-сенсори, що використовують такі методи виявлення, як рефлектометрія в частотній області, рефлектометрія в часовій області та передача в часовій області, вже добре зарекомендували себе на ринку, деякі приклади показано на рисунку 1.6 .

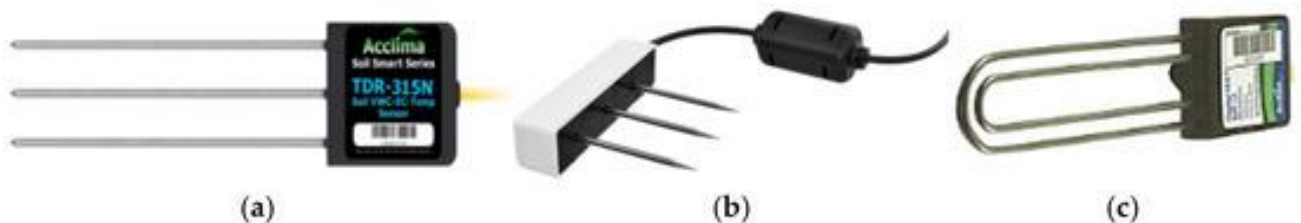


Рисунок 1.6 - Комерційні датчики SMC на ринку: ( а ) датчик SMC Acclima TDR-315N; ( б ) датчик SMC TEROS 12; та ( с ) датчик SMC Acclima SDI-12 TDT.

Для покращення чутливості та точності SMC-сенсорів дослідники застосували різні інтелектуальні матеріали, такі як графенові квантові точки та

гнучку підкладку з поліетилентерефталату. Двзондовий SMC-сенсор був розроблений на основі пористого середовища, утвореного спіканням суміші каолініту, порошку кісткового вугілля, порошку активованого вугілля та води. Коли один зонд нагрівався, інший зонд використовувався для виявлення зміни температури. Оскільки SMC впливає на теплопровідність та питому теплоємність розроблених зондів, значення SMC можна отримати шляхом аналізу змін температури.

Вихідний сигнал датчика SMC зазвичай представлений у вигляді електричного сигналу. Зв'язок між виходами датчика SMC та фактичними значеннями SMC характеризується як модель прогнозування SMC. У більшості випадків ці моделі прогнозування SMC розробляються з урахуванням постійного типу ґрунту та шорсткості, що може поставити під загрозу їхню надійність на практиці. Тому для підвищення точності та надійності традиційних систем виявлення SMC були розроблені комплексні моделі прогнозування SMC, засновані на кількох джерелах інформації, включаючи дані з датчиків SMC, супутникові знімки та фотографії з дронів. Наприклад, двочастотні дані глобальної навігаційної супутникової системи були об'єднані для побудови моделей оцінки SMC на основі методу оцінки компонентів дисперсії Гельмерта (HVCE). Дослідження показало, що метод об'єднання HVCE може значно підвищити точність моделі прогнозування SMC, особливо для моделей, заснованих на методах машинного навчання.

Окрім вищезгаданої моделі об'єднання HVCE та машинного навчання, також було запропоновано кілька інтелектуальних моделей прогнозування SMC на основі інтелектуальних алгоритмів. Модель регресії випадкового лісу для прогнозування SMC була розроблена шляхом інтеграції інформації, отриманої від радіолокатора із синтезованою апертурою, оптичних та теплових інфрачервоних пристроїв дистанційного зондування. Крім того, для оптимізації моделі прогнозування SMC було застосовано двонаправлений модуль нейронної мережі з довгою короткочасною пам'яттю. Крім того, було використано алгоритм фільтрації частинок для фіксації нелінійних зв'язків між тепловими

даними високої роздільної здатності, даними дистанційного зондування радіолокатора та фактичним SMC. Ці дослідження стверджують, що інтеграція методів машинного навчання з даними виявлення з кількох джерел може значно підвищити надійність та точність виявлення SMC.

#### *Органічна речовина ґрунту (ОРГ)*

SOM – це різновид стабільної полімерної органічної сполуки, що утворюється внаслідок розкладання мікроорганізмами решток рослин і тварин. Щодо його впливу на насіння зернових культур, SOM може забезпечувати поживні речовини, а також сприяти розвитку коренів у проростках зернових культур. Щоб повною мірою використовувати SOM, оптимальну норму висіву слід визначати на основі вмісту SOM в оброблюваному полі.

Традиційні методи виявлення органічного вуглецю (ОРВ) залежать від лабораторних хімічних аналізів. За контрольованих умов нагрівання органічний вуглець ґрунту окислюється за допомогою дихромату калію в розчині сірчаної кислоти. Залишок дихромату калію потім титрують стандартним розчином сульфату заліза. Кількість органічного вуглецю потім визначають, застосовуючи коефіцієнт поправки на окислення до кількості спожитого дихромату калію. Цей метод хімічного аналізу для виявлення ОРВ має прийнятну точність, але він також є трудомістким і дорогим.

Враховуючи, що точність виявлення методів дистанційного зондування органічних речовин (ОРМ) може залежати від оптичних перешкод, дослідники запропонували машинні нюхові системи з масивами газових датчиків як основним джерелом інформації. Ці системи використовувалися для виявлення вмісту ОРМ у газі піролізу ґрунту, і на основі нюхових характеристик газу піролізу ґрунту були розроблені моделі прогнозування вмісту ОРМ.

Експериментальні результати показали, що машинна нюхова система в поєднанні з моделями машинного навчання може забезпечити бажану точність прогнозування в контексті практичного виявлення ОРМ. Сучасний масив нюхових датчиків ОРМ та оптичний спектрометр у видимому та ближньому

інфрачервоному діапазонах, які можна використовувати для виявлення ОРМ, показані на рисунку 1.7.

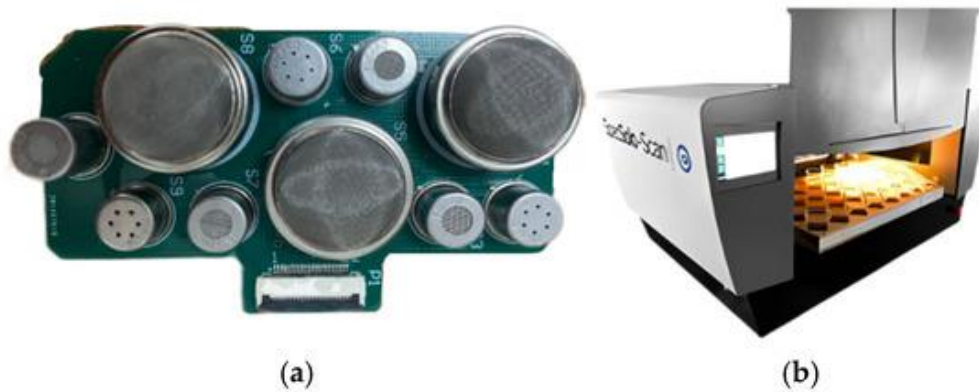


Рисунок 1.7 - Типові сенсори з різними принципами детектування для виявлення органічних речовин (COM): (а) нюховий сенсор COM [31]; та (б) оптичний спектрометр Vis-NIR [32]

#### *Електропровідність ґрунту (SEC)*

ШКК безпосередньо відображає вміст змішаних солей у ґрунті, а такі фактори, як солоність, вологість, температура, вміст органічної речовини та текстура, також впливають на значення ШКК. Значення ШКК корелює зі структурою ґрунту та поверхнево-масивним вмістом речовини (SMC). У попередніх дослідженнях зазвичай застосовувалися польові експерименти для визначення взаємозв'язків між значеннями ШКК та врожайністю зернових культур, і вони представили найбільш підходящі ШКК для максимальної врожайності в експериментальному полі. Щодо виявлення ШКК, зазвичай застосовуються методи електромагнітної індукції, рефлектметрії в часовій області [33] та вольт-амперного терміналу [34].

Для досягнення вимірювання SEC у режимі реального часу вигідно встановлювати датчики SEC на тракторах або посівній техніці. Типовою моделлю датчика SEC, що базується на принципі методу електромагнітної індукції, є EM38, який має перевагу неруйнівного виявлення. Однак на практиці на датчик SEC EM38 може впливати навколишня електроніка, температура ґрунту та інші фактори; тому його необхідно калібрувати перед кожним вимірюванням. Таким чином, розробка датчиків SEC, що встановлюються на

транспортні засоби, стала ключовим напрямком у галузі інтелектуальної посівної техніки. Класичний EM38 та деякі комерційні датчики SEC показані на рисунку 1.8.

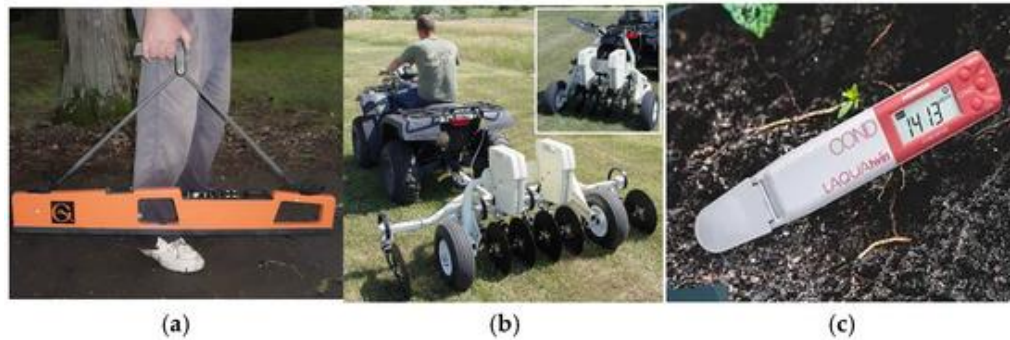


Рисунок 1.8 - Деякі комерційні датчики SEC: ( **a** ) датчик SEC EM38; ( **b** ) датчик SEC VERIS 3100, встановлений на транспортному засобі [35]; та ( **c** ) датчик SEC HORIBA LAQUAtwin EC-11 (HORIBA Advanced Techno, Co., Ltd., Кіото, Японія)

Мурата та ін. розробили систему масиву датчиків провідності міліметрового масштабу для вимірювання електропровідності в режимі реального часу, а для передачі значень електропровідності до посівної техніки було використано технологію Інтернету речей (IOT). Хан та ін. розробили систему виявлення електропровідності, встановлену на транспортному засобі, використовуючи метод чотирививідних напруг-струм. Однак, оскільки метод струм-струм є інвазивним методом, точність вимірювання може бути знижена через нестабільний контакт між ґрунтом та електродами.

#### *Вибір оптимальної норми висіву*

Оптимальна норма висіву стосується найбільш доцільної кількості насіння за певних умов для досягнення бажаної врожайності та якості. Виходячи з максимального потенціалу ґрунту, модель прийняття рішення щодо оптимальної норми висіву може рекомендувати оптимальну норму висіву для певного поля. Загальними вхідними даними для моделі прийняття рішення щодо оптимальної норми висіву є властивості ґрунту та бажана врожайність, а результатом моделі прийняття рішення є оптимальна норма висіву.

У попередніх дослідженнях, що стосувалися моделі визначення оптимальної норми висіву, здебільшого використовувалися експериментальні методи, після

чого на основі експериментальних результатів можна було створити регресійні моделі між параметрами властивостей ґрунту, нормою висіву та врожайністю зернових культур. У наступних дослідженнях було проведено дисперсійний аналіз для прогнозування оптимальної норми висіву. Згідно з результатами попередніх досліджень, врожайність спочатку зростала, а потім зменшувалася зі збільшенням норми висіву за тієї ж родючості ґрунту, що нагадує параболічну криву. Відповідно до піку кривої бажаної врожайності – норми висіву, було отримано оптимальну норму висіву відповідно до родючості ґрунту.

Прогнозовану оптимальну норму висіву можна безпосередньо вивести на інтелектуальну посівну машину, але її також можна поєднати з інформацією про географічне положення для формування карт норм висіву в геоінформаційній системі. На карті норм висіву сусідні ділянки з подібними нормами висіву об'єднуються та позначаються одним кольором. Потім векторна діаграма карти норм висіву передається до головної системи керування інтелектуальною посівною машиною перед початком сівби.

Коли посівна техніка рухається певним полем, інтелектуальна система контролю норми висіву регулюватиме швидкість обертання вала дозування насіння відповідно до оптимальної норми висіву. Карта норми висіву вважається вирішальним зв'язком між властивостями ґрунту та робочими параметрами посівної техніки. Приклад карти оптимальної норми висіву на основі історичного розподілу врожайності показано на рисунку 1.9.

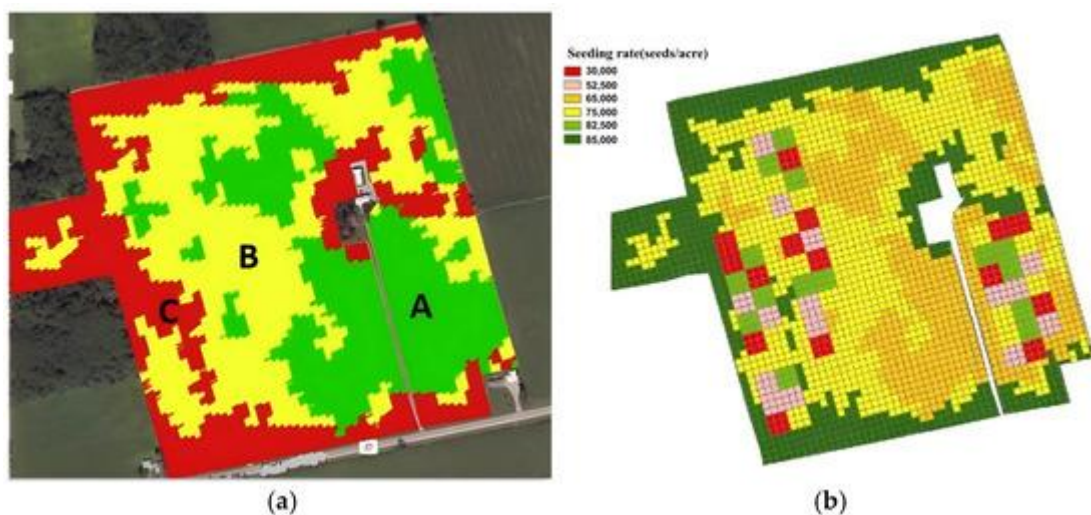


Рисунок 1.9 - Історичний розподіл врожайності та оптимальні норми висіву квасолі на одному полі [36]: ( **a** ) історичний розподіл врожайності, а літери А, В та С означають відповідно площу зон високої, середньої та нижчої за середню врожайність. ( **b** ) Карта призначення оптимальної норми висіву.

### **1.2.3. Інтелектуальне керування положенням насіння**

#### *Керування траєкторією руху посівної техніки*

Точність траєкторії руху посівної техніки має вирішальне значення для досягнення точної відстані між насінням та міжряддям, а насіння зернових культур може бути точно розміщене із заданою відстанню між насінням та міжряддям лише тоді, коли посівна техніка точно дотримується бажаної траєкторії. Тому в галузі інтелектуальної посівної техніки все більша кількість досліджень зосереджена на управлінні траєкторією посівної техніки.

Порівняно з методами керування на основі кінематичних моделей, для підвищення точності та стійкості керування були розроблені алгоритми відстеження траєкторії руху, засновані на динамічних моделях. Серед цих динамічних підходів алгоритм керування ковзним режимом вважається найкласичнішим методом. Щоб пом'якшити вплив невідомих збурень, деякі нелінійні спостерігачі збурень були побудовані відповідно до моделей динаміки посівної техніки, а спостережувані збурення були компенсовані алгоритмом керування ковзним режимом. Хоча метод керування ковзним режимом демонструє високу стійкість та швидку реакцію, вібрація може виникати, коли стани системи переміщуються по поверхні ковзного режиму, що негативно впливає на ефективність відстеження сільськогосподарської техніки.

Через складність вимірювання певних параметрів, таких як коефіцієнт тертя між шиною та землею та розподіл навантаження на транспортний засіб, розробка точної кінематичної або динамічної моделі посівної техніки все ще є складною. Тому все більша кількість досліджень зосереджена на методах безмодельного керування траєкторією для врахування змінних у часі та нелінійних характеристик, властивих посівній техніці. ПД-контролер є найбільш поширеним серед безмодельних підходів до керування траєкторією, оскільки

його відносно легко реалізувати на практиці. Тим не менш, звичайні ПД-контролери мають фіксовані коефіцієнти, що означає, що вони не адаптуються до польового середовища зі змінними в часі параметрами та зовнішніми збуреннями.

#### *Інтелектуальний контроль глибини посіву*

Правильна глибина посіву може покращити здатність насіння зернових культур до збереження води та ґрунту. Для забезпечення рівномірного сходів насіння зернових культур та повного використання ресурсів світла, температури та ґрунту глибину посіву необхідно точно контролювати. На основі розроблених активних моделей ГСПМ були розроблені системи та методи контролю глибини посіву для контролю вертикального положення розеток висівних отворів.

Вимірювання топографії в режимі реального часу є необхідною передумовою для досягнення точної глибини посіву. Метод топографічного вимірювання в основному охоплює методи вимірювання геометричних показників та методи вимірювання сили. Методи вимірювання геометричних показників безпосередньо вимірюють відстань від датчика до поверхні ґрунту; наприклад, ультразвукові датчики, інфрачервоні лазерні датчики та кутові датчики зазвичай використовуються в методах вимірювання геометричних показників. Було запропоновано систему об'єднання кількох датчиків для об'єднання інформації, отриманої кутовими, ультразвуковими та поворотними датчиками, встановленими на посівній машині, а потім використання геометричного співвідношення для оцінки вертикальної відстані від рами до насінневих отворів.

Метод вимірювання сили визначає силу ґрунту, яка потім використовується для оцінки глибини посіву відповідно до каліброваного притискного зусилля та моделі перетворення глибини посіву. Для цього на рамі машини встановлюються датчики сили, такі як п'єзоелектрична плівка з полівініліденфториду (PVDF), датчики гнучкого вигину та датчики штифтового вала, які вимірюють реактивну силу поверхні ґрунту. Після цього за допомогою калібрування встановлюється зв'язок між виходом датчика сили та фактичною глибиною посіву.

#### **1.2.4. Сучасний стан, обмеження та майбутній розвиток**

##### *Поточний стан та обмеження*

Інтелектуальна сівалка для зернових культур є однією з основних технологій у сучасній сільськогосподарській техніці. Дослідники провели масштабні дослідження в цій галузі. Хоча деякі досягнення вже були досягнуті, все ще існують певні обмеження. Сучасний стан та обмеження інтелектуальної сівалки обговорюються нижче.

(1) Існуючі дослідження MDSД в основному зосереджувалися на покращенні кваліфікованої швидкості; однак, мало досліджень було зосереджено на їхній адаптивності до різного насіння зернових культур або звернуто увагу на швидкість руйнування насіння розроблених MDSД. Ці обмеження можуть означати, що даний MDSД можна використовувати лише для певного зерна, що збільшує швидкість холостого ходу сівалки. Крім того, явище руйнування насіння може часто траплятися під час практичних операцій посіву зернових культур.

(2) Через складні польові умови експлуатації вібрація висівного агрегату може впливати на стабільність глибини висіву та знижувати точність керування GSPM. Більшість досліджень GSPM стосуються структурних проектів, але мало хто зосереджувався на динамічному аналізі для зменшення впливу вібрацій, спричинених нерівною поверхнею ґрунту. Ця прогалина в дослідженнях може призвести до неконтрольованої траєкторії падіння насіння під час практичного посіву зернових культур.

(3) Більшість високоточних датчиків властивостей ґрунту є зондовими, які необхідно вставляти в ґрунт та передавати інформацію за допомогою парадигми Інтернету речей. У реальних операціях посіву зернових культур інтелектуальна посівна техніка повинна реалізовувати змінний висів у режимі реального часу; однак на посівній машині можна встановити лише кілька датчиків властивостей ґрунту. Отже, посівна техніка повинна використовувати попередні параметри властивостей ґрунту, що потенційно знижує точність рішень щодо норми висіву.

(4) Існуючі датчики норми висіву можуть контролювати лише кількість насіння з дозатора, але розподіл насіння в ґрунті неможливо контролювати. Отже, існуюча технологія моніторингу відстані між насінням визначає відстань між сусідніми насінинами шляхом оцінки відповідно до часового інтервалу, а фактичну відстань між насінинами під ґрунтом неможливо контролювати.

(5) Метою існуючої технології контролю норми висіву є висів насіння зернових культур через рівномірні та точні проміжки часу шляхом розробки інноваційних алгоритмів контролю. Однак деякі види насіння зернових культур, такі як кукурудза та рис, отримують переваги від висіву в певному напрямку та положенні. Небагато досліджень було зосереджено на контролі напрямку та положення насіння зернових культур.

(6) Дослідження систем контролю глибини посіву в основному зосереджувалися на тому, як точно контролювати притискну силу або глибину посіву. Однак насправді теоретичну притискну силу сівалки слід змінювати залежно від рівня вологості ґрунту оброблюваного поля. Наразі існуючі системи контролю глибини посіву не регулюють теоретичну притискну силу або глибину посіву відповідно до ґрунтових умов, що призводить до відхилення фактичної глибини посіву від теоретичного значення.

#### *Майбутній розвиток*

Для подолання вищезазначених обмежень існуючої інтелектуальної посівної техніки нижче пропонуються відповідні технічні рішення.

(1) Майбутні дослідження множинних висівних установок (МВС) повинні бути спрямовані на покращення їхньої адаптивності до різного насіння зернових культур. Наприклад, інноваційні структурні отвори пневматичного МВС можуть всмоктувати кілька видів насіння подібної форми, таких як пшениця, рис, ячмінь тощо, покращуючи корисність інтелектуальної посівної машини. Крім того, за допомогою моделювання DEM та практичних експериментів слід провести структурну оптимізацію МВС, щоб зменшити явище полонки насіння під час процесів заповнення, транспортування та розвантаження.

(2) Динамічний аналіз слід проводити, коли GSPM працює на нерівному ґрунті. Відповідно до результатів аналізу, потенційно можуть бути розроблені нові конструкції або методи, які можуть поглинати коливання, що впливають на GSPM.

(3) Слід розробити датчики властивостей ґрунту, встановлені на транспортних засобах (які можуть базуватися на технологіях високого та ближнього інфрачервоного спектру), а також дослідити моделі оцінки властивостей ґрунту. Порівняно з датчиками зондового типу, безконтактні оптичні датчики властивостей ґрунту більше підходять для використання у високошвидкісних посівних машинах під час практичних посівних операцій.

(4) Необхідно розробити інтелектуальні датчики розподілу насіння, які можуть виявляти насіння під покритим ґрунтом. Георадар може слугувати орієнтиром для такого датчика розподілу насіння, дозволяючи контролювати фактичну відстань між насінням, відстань між рядами та глибину посіву. Таким чином, інтелектуальна посівна техніка може надавати більше інформації для подальших агрономічних процесів.

(5) Слід розробити інноваційні конструкції для пристроїв дозування насіння, які можуть регулювати положення насіння. Положення насіння зернових культур слід регулювати під час процесу насипання насіння, після чого стрічковий транспортер або технології повітряного потоку можуть сприяти розміщенню насіння в ґрунті в потрібному положенні.

(6) Для вимірювання висоти ґрунту перед трактором можна встановити лідарний датчик. Крім того, в майбутньому слід розробити алгоритми обробки хмари точок для вимірювання висоти ґрунту. Таким чином, глибину посіву можна буде контролювати відповідно до висоти ґрунту, а не до сили притиску.

Таким чином, надано детальний огляд ключових технологій, що використовуються в інтелектуальній техніці для посіву зернових культур, з точки зору активних керованих приводів висіву, інтелектуального керування нормою висіву та інтелектуальних систем керування положенням насіння. Щодо активних керованих приводів висіву, було представлено MDSD та GSPM. Було

узагальнено деякі MDSD з інноваційними структурами, а також пояснене застосування методів оптимізації DEM та CFD-EDM для визначення структурних параметрів MDSD. Було представлено принцип роботи та процеси розробки GSPM. Потім було розглянуто існуючі технології зондування властивостей ґрунту, призначені для прийняття рішень щодо оптимальної норми висіву. На основі зворотного зв'язку від датчиків норми висіву було представлено інтелектуальну технологію керування нормою висіву, яка пояснює, як висаджувати насіння зернових культур відповідно до рівномірних інтервалів часу. Інтелектуальне керування положенням насіння охоплює два процеси. Один включає керування траєкторією висівної машини, а інший - керування глибиною висіву. Точне керування траєкторією посівної техніки може сприяти розподілу насіння зернових культур з відповідними міжряддями та відстанню між насінням, а інтелектуальне керування глибиною посіву може бути використане для регулювання робочої глибини посівного агрегату відповідно до висоти поверхні ґрунту.

Дослідники досягли вражаючих результатів у розробці активних керованих виконавчих механізмів висіву, інтелектуального керування нормою висіву та систем керування положенням насіння.

### **1.3. Зношування робочих органів ґрунтообробних машин**

Збереження геометрії робочих органів сільськогосподарських ґрунтообробних машин є завданням сільськогосподарських працівників для забезпечення якісної роботи з агротехнічної точки зору.

Активні органи сільськогосподарських ґрунтообробних машин (таких як посівні та посадкові) під час роботи безпосередньо контактують з ґрунтом, що призводить до їх зносу внаслідок тертя та його абразивної дії.

Між масою ґрунту та стороннім предметом, з яким він контактує, наприклад, сошником сівалки, виникають сили тяжіння (адгезії) та зовнішнього тертя. Вони також залежать від характеру робочого органу, але особливий інтерес

представляють ґрунтові фактори, що впливають на зовнішнє тертя, яке, у свою чергу, залежить від відносної швидкості між елементами та прикладеного навантаження.

Тип ґрунту та глибина обробки мають прямий вплив на порушення ґрунту, спричинене сошниками, включаючи структурні параметри, товщину ріжучої кромки, кривизну леза, кут проникнення та кут нахилу [37].

Таким чином, сівалки мають сошник як основний робочий орган, який контактує з ґрунтом для відкриття борозен з метою внесення насіння в ґрунт. У рядкових або гніздових сівалках сошники можуть бути анкерного типу, культурального типу або з диском (одинарним або подвійним). У випадку сошника з одним диском він складається з увігнутого диска, розташованого під кутом  $5-8^\circ$  до напрямку просування, або з плоского диска. Дводисковий сошник складається з двох плоских дисків, вільно встановлених на спільній осі, нахилених один до одного під кутом  $9-12^\circ$ , з точкою дотику в передній частині приблизно на відстані 7 см від дна борозни ( рисунок 1.10 ).

З різноманіття сошників найбільше використовують дводискові сошники, оскільки вони визначають менший тяговий опір та кращі якісні показники процесу сівби, але вони повинні бути додатково оснащені системою напрямку насіння та демпфером швидкості, для рівномірного розподілу по довжині відкритої борозни та на глибині посів.

Оснащення сівалок (для трав'янистих або повзучих рослин) дводисковими сошниками забезпечує кращу точність та постійну глибину посіву насіння. Ці дводискові сошники не збирають рослинні залишки, допомагаючи їх подрібнювати. Слід зазначити, що діаметр дискового сошника взаємозалежний від глибини проникнення диска в ґрунт, глибини шару рослинних залишків та кута стиснення. Також дискові сошники з зубчастими лезами зрізають більше соломи порівняно з дисковими сошниками з безперервними лезами, проте вони взаємозалежні від вологості соломи, що знижує відсоток зрізання соломи.

Експериментальні результати показують, що діаметр дисків, робоча глибина та швидкість руху суттєво впливають на опір різанню ґрунту, особливо в умовах

грунту, вкритого соломою (післязбирального періоду), для дводискових сошників. Сошник з дисками діаметром 450 мм має вищу ефективність різання соломи порівняно з дисками діаметром 600 мм, а диски діаметром 330 мм мають нижчу ефективність різання соломи. Тому зменшення діаметра дисків (через знос в процесі роботи) може знизити ефективність сошників, а отже, і всієї сівалки.

У випадку повзучих рослин дводискові сошники також забезпечують якісне загортання насіння в ґрунт, тому їх також можна використовувати у випадку напівпідготовленого грядки для пророщування або з великою кількістю рослинних залишків.

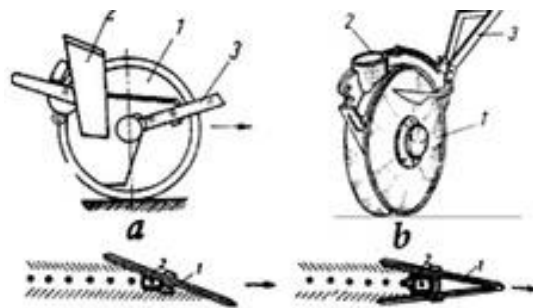


Рисунок 1.10 - Конструкція сошника з одним диском ( а ) та двома дисками ( б ): 1- диски; 2- бункер для насіння; 3- фіксуючий важіль; ( в ) робочий процес дводискового сошника

Коли сошники проникають у ущільнений ґрунт, це призводить до зменшення їхнього терміну служби, особливо якщо кут атаки та кут розкриття вибрані неправильно. Для дводискових сошників робоча швидкість суттєво впливає на вертикальну складову сили при більших кутових розкриттях дисків. Крім того, необхідно збільшити тиск на подвійний диск, щоб підтримувати глибину висіву.

Діаметри дисків для висіву зернових мають значення в діапазоні 340–420 мм, а їх товщина становить 3,5–4,5 мм.

Зазвичай диски виготовляються зі сталі з твердістю від 48 до 60 HRC, з нижчими значеннями в центрі диска (біля маточини) та вищими значеннями на зовнішній стороні (відповідно до специфікацій John Deere), щоб забезпечити

гнучкість, а також відповідну зносостійкість, на 30–35% вищу в умовах безоранкового обробітку.

Диски виготовлені з листової сталі з легованим бором, що дозволяє під час термічної обробки досягати різної твердості в різних зонах диска. Таким чином, під час процесу до зовнішнього краю диска прикладається більша температура, що викликає структурні зміни у вуглецевій структурі сталі. Тому найтвердіша зона знаходиться в зовнішній частині, з твердістю 55–58 HRC, що забезпечує довший термін служби в цій зоні диска.

Звичайно, середня область диска також нагрівається під час термічної обробки, але досягається нижча температура. Ця область виділена на рисунку 1.11 помаранчевим кольором і є твердішою за необроблену сталь, але все ще зберігає певний ступінь гнучкості (50–55 HRC).

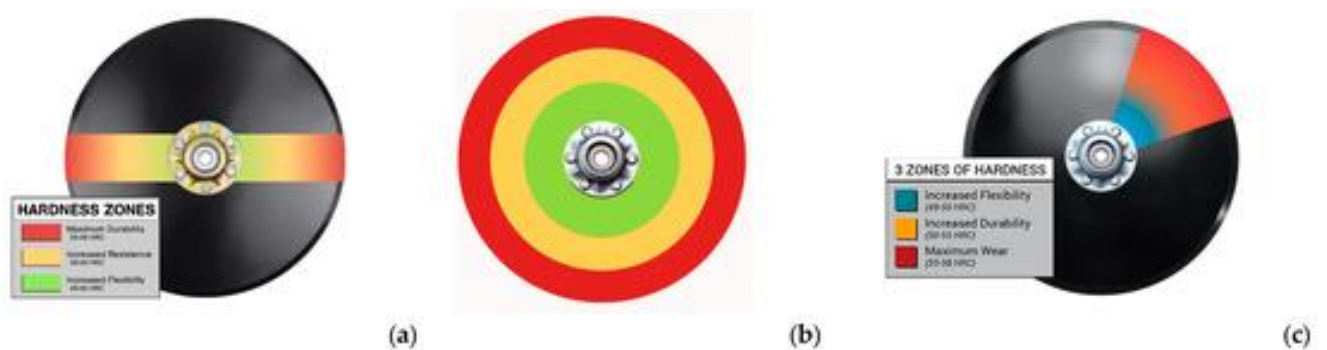


Рисунок 1.11 - Зони різної твердості для дисків леміша сівалок: ( a , b ) відтворені за [38]; ( c ) відтворені за [39]

Внутрішня область, найближча до центру диска (маточини), виділена синім (або зеленим) кольором, не досягає достатньо високих температур під час обробки, тому структурних змін вуглецю не відбувається, і ця область залишається в своєму природному стані (близько 49–50 HRC), що забезпечує гнучкість. Це важливо, тому що, хоча ріжуча кромка піддається зносу через контакт із землею, центр диска піддається більшим напруженням через вагу машини та міцність ґрунту, що робить область, найближчу до маточини, більш схильною до поломки. Таким чином, збереження гнучкості в центральній області диска зменшує цей ризик. Так, синій колір надає гнучкості, жовтий —

довговічності, а червоний — твердості при контакті з абразивними та твердими частинками ґрунту.

Висівні диски сівалок виготовляються штампуванням (різанням) з листової сталі, легованої бором (та/або марганцем), твердістю 49–50 HRC, для забезпечення міцності в процесі різання ґрунту, після чого проводяться інші обробні операції та термічна обробка, щоб зробити їх гнучкими та міцними під час процесу сівби.

Виробництво робочих органів сільськогосподарських машин, як і інших корпусів машин, здійснюється в межах діапазону розмірів і допусків. В інженерії концепції теорії ймовірностей найкраще ілюструються експериментальними визначеннями, числовими прикладами, *випадковими подіями* та *простором вибірки*, що є основними термінами цієї теорії [39].

Випробування, проведені на сівалках, оснащених дисковим сошником, показали, що оптимальний діаметр диска сошника може становити 0,40–0,43 м, враховуючи стандартне відхилення розподілу насіння на оптимальній глибині посіву, під час посіву ярої пшениці.

Структуру секції сівалки показано на рисунку **1.12a** [ <https://amazone.co.uk/>, дата звернення: 17 травня 2024 р.]. На рисунку **1.12b, c** представлено рух ґрунту та механізм розкриття борозни дводисковим сошником, залежно від більшого або меншого розкриття дисків, як показано білими стрілками.

У робочому процесі сівалок дискові сошники виконують роль утворення борозен для внесення насіння в ґрунт. При контакті з ґрунтом вони також набувають обертального руху навколо своєї осі симетрії, що робить абразивний знос менш вираженим, ніж у інших типів сошників.

Фізичні характеристики дисків сошника (діаметр, товщина пластини, маса диска) залежать від виду культури, що висівається, ступеня осідання ґрунту та кількості рослинних залишків на ґрунті на момент сівби.

Дискові леміші зазвичай використовуються для посіву сільськогосподарських культур на необроблених землях, але вони також можуть працювати на попередньо підготовлених ґрунтах.

На цих сошниках важливо адаптувати функціональні параметри до ґрунтових умов – ступеня забур'яненості, вологості ґрунту, ступеня осідання, а також до типу культури, що вирощується. Фахівці в цій галузі стверджують, що для отримання багатого врожаю необхідно своєчасно регулювати кути положення дисків, а також робочу глибину.

Більше того, в області борозни, що відкривається дисковим сошником, між двома дисками або збоку (для одно дискового сошника), додано корисні елементи, що покращують робочий процес, включаючи повне зрізання рослинних залишків.

Дослідження показують, що геометрія дисків та робоча глибина мають значний вплив на процес розкриття борозни, враховуючи сили опору, ефективність різання соломи, ширину порушення ґрунту та глибину проникнення в ґрунт.

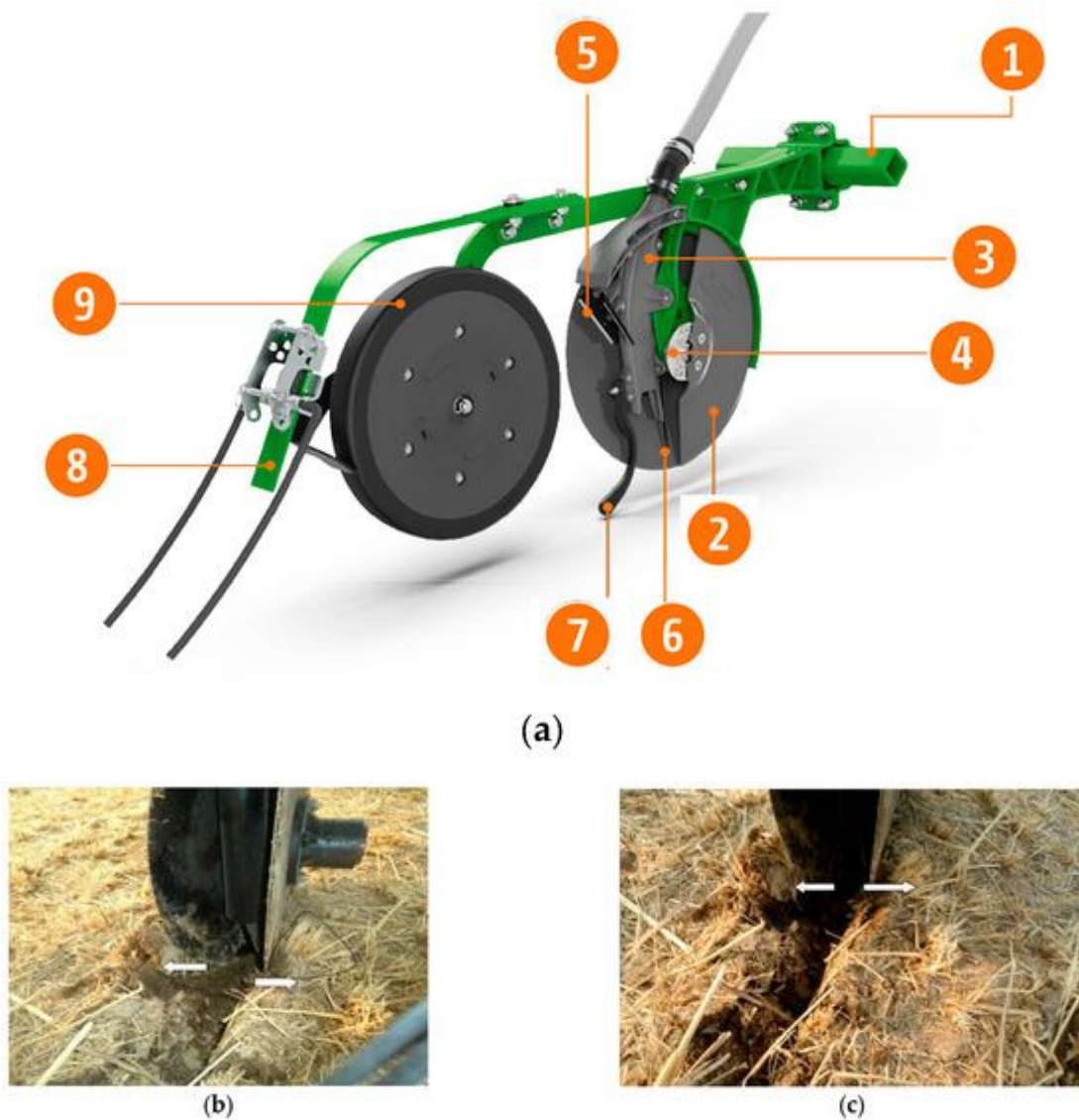


Рисунок 1.12 - Схема висівної секції з дводисковим сошником ( а ) та отвором дисків ( б , с ): 1 - рама сівалки; 2 - дводисковий сошник; 3, 6 - знімна напрямна для насіння; 4 - герметичні підшипники; 5 - скребок для насіння; 7 - насінневий збирач; 8 - сошникова борона; 9 - ущільнювальне колесо

Результати симуляційних випробувань показують, що коли відносна висота становить 82 мм, діаметр дводискового сошника становить 297 мм, а кут між двома дисками становить  $14^\circ$ , показник стійкості глибини обробітку ґрунту досягає 91,64%. При робочій силі лише 93,93 Н траншеєкопач досягає оптимальної експлуатаційної продуктивності в цих умовах. Польові випробування показують коефіцієнт стійкості глибини обробітку ґрунту 92,37% та робочу міцність 104,2 Н. Ці значення відхиляються на 0,73% та 10,93%

відповідно від результатів симуляції, що підтверджує надійність симуляційної моделі.

Автори роботи [40] показують, що для забезпечення гарної якості при використанні плоских дводискових сошників діаметр дисків повинен бути не менше 21,4 см, а кут загострення –  $25^\circ$ , що забезпечує ширину борозни на дні трохи більше 15 мм [41]. Крім того, вони стверджують, що висота точки з'єднання дисків сошника повинна бути не менше 8,6 см.

Фахівці John Deere зазначають, що диски сошника, початковий діаметр яких становив 380 мм, слід замінювати, коли знос перевищує 12–14 мм, особливо якщо знос обох дисків сошника неоднаковий [42].

#### **1.4. Висновки**

1. Проаналізовані конструкційні особливості сівалок та їх основні переваги при використанні.
2. Проаналізовані сучасні технології в посівній техніці для зернових культур, їх останні досягнення та майбутні перспективи
3. Проведений аналіз причин зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

#### **1.5. Мета роботи та необхідні задачі досліджень.**

**Метою роботи** є підвищення ресурсу роботи сівалок, за рахунок збільшення зносостійкості дисків лемішів, шляхом нанесення на їх зовнішню частину захисних покриттів комбінованими енергоощадними технологіями.

Для досягнення означеної мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- розглянути умови роботи деталей сівалок;
- визначити основні причини зносу дисків лемішів сівалок;
- проаналізувати сучасні технології для збільшення зносостійкості дисків лемішів та вибрати кращі;
- розробити методику проведення досліджень та провести порівняльні іспити запропонованих технологій зміцнення дисків лемішів та традиційних.

**РОЗДІЛ 2**  
**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ**  
**ДИСКІВ ЛЕМІШІВ СІВАЛОК**

**2.1. Умови роботи та основні причини зносу дисків лемішів сівалок**

Системи землеробства можна розділити на дві системи: традиційні системи землеробства (з інтенсивною обробкою) та консервативні системи землеробства. Традиційна система землеробства складається з пиляння, випалювання, обрізки, борозен, досходового застосування гербіцидів, посадки, післясходового застосування гербіцидів та прополювання або ручного обмолоту. У той час як консерваційна обробка ґрунту складається з скошування, застосування гербіцидів, посіву, повторного застосування гербіцидів та ручного прополювання або прополювання.

Консервативне землеробство не перешкоджає перетворенню ґрунту. Мінімальне порушення ґрунту призводить до вищої доступної вологи ґрунту та більшого потенціалу рекультивації ґрунтових вод зі збільшенням швидкості інфільтрації води та зменшенням випаровування з поверхні ґрунту.

Мінімальне порушення ґрунту означає меншу ерозію ґрунту (-58%), кращу структуру ґрунту та вищу біологічну активність. Багато фермерів та вчених усвідомили, що традиційне землеробство має багато негативних наслідків для продуктивності ґрунту, навколишнього середовища та прибутковості. Ці фермери спробували та застосували деякі методи збереження землеробства та задокументували їх переваги. Серед систем сільськогосподарського збереження, які зараз приймають фермери, є система нульового обробітку ґрунту.

Нульова обробка базується на трьох принципах:

1. Незначні порушення ґрунту,
2. Покриття ґрунту рослинними рештками на якомога довше.
3. Сівозміна.

Нульова врожайність – це сільськогосподарська система, яка набирає популярності серед багатьох фермерів у всьому світі. Післяжнивна солома є неекономічною, і її кінцеве використання ще не поширене. Обидва залишки потім вносяться в ґрунт або спалюються. Включення соломи в ґрунт має деякі переваги у покращенні родючості ґрунту та врожайності.

Дослідження показали, що системи землеробства на нульовому рівні можуть принести багато переваг фермерам та навколишньому середовищу. Менше роботи, більше грошей, кращий контроль ерозії та більша повага до навколишнього середовища, а також краща якість життя – це одні з переваг нульового землеробства.

Завдяки цим перевагам нульове землеробство здобуло всесвітню популярність. Інші переваги нульового обробітку ґрунту, які не можуть бути скасовані інтенсивною обробкою, включають зменшення потреб у робочій силі, економію часу, зменшення зносу техніки, палива.

Сівалка - це машина для розміщення насіння безперервним потоком у борознах з постійною швидкістю та на контрольованій глибині з ґрунтовим покривом або без нього.

Сівалки, оснащені крапельницею для добрив, рівномірно розподіляють добрива по землі, що називається сівалкою для добрив. Вони одночасно подають насіння та добрива за прийнятною схемою. Сівалка для добрив має великий насінневий бункер, розділений на два відсіки: один для насіння, а інший для розкидання добрив.

Основне призначення посіву — розмістити насіння та добрива в рядках на потрібну глибину та відстань між насіннями, покрити насіння ґрунтом та забезпечити належне ущільнення насіння.

Компоненти посіву та добрив

З появою технології нульового обробітку ґрунту сівалки стали дуже корисними та важливими для фермерів. Це допомагає їм сіяти культуру безпосередньо в полі після порушення ґрунту.

Усуває або зменшує час, енергію, витрати на вирощування та ризики, покращуючи врожайність зернових культур та прибутки фермерів (Рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 - Сівалка з нульовим посівом та добривами

Таким чином, основною причиною зношування дисків роторних сошників є їх контактування з ґрунтом і розташованою соломою та корінням. В результаті сошники підлягають абразивному зносу. Крім абразивного також відбувається і адгезивне зношування в результаті налипання на поверхню сошників ґрунту.

Надмірний знос дисків призводить до неправильної глибини посадки та неправильного розміщення насіння у відкритій борозні.

Таким чином, фахівці з сільського господарства та сільськогосподарської техніки вважають, що слід приділяти більше уваги можливостям використання дискових борін та машин, адаптованих до конкретних ґрунтових умов, можливо, з швидким регулюванням кутів дисків та швидкості роботи машини, для підвищення точності посіву, особливо в умовах безпосадкового обробітку.

Диски зернових сівалок, незалежно від компанії-виробника, виготовляються в діапазоні значень основних параметрів (діаметр, маса, товщина диска), різноманітних, які можуть відповідати нормальному розподілу або іншому типу розподілу, не враховуючи, що вони можуть бути гладкими або хвилястими, з зубчастим краєм.

Було встановлено, що існує зв'язок між зносом дисків від їхньої товщини та зовнішнього діаметра та площею посіву, причому диски стоншуються ззовні всередину приблизно на 0,25 мм на 100 засіяних гектарів (близько 22% для 380

засіяних гектарів), а їх діаметр зменшується на 0,17–0,35% для площі посіву від 80 до 380 гектарів.

## 2.2. Сучасні технології для збільшення зносостійкості дисків лемішів

Робочі частини та ключові компоненти сільськогосподарської ґрунтообробної техніки виготовляються зі середньовуглецевої сталі завдяки її економічній ефективності та прийнятним експлуатаційним характеристикам [43]. Однак у процесі польових робіт сільськогосподарська техніка піддається інтенсивному абразивному зношуванню, що призводить до передчасного виходу обладнання з ладу. Для підвищення зносостійкості на поверхні цих деталей різними методами наносять захисні шари різної товщини. Це забезпечує підвищену стійкість до стирання та значно подовжує термін служби обладнання. Для захисту від абразивного зношування використовуються різні методи обробки включаючи лазерну обробку [44], електроіскрову обробку [45], газотермічне напилення [46], керамічне покриття [47], а також наплавлення [48].

Незважаючи на ефективність цих методів у покращенні властивостей поверхні, вони мають такі обмеження, як розтріскування покриття, висока вартість та забруднення навколишнього середовища. Тому дослідники прагнуть розробити покриття, які можуть подолати ці проблеми, зберігаючи при цьому відмінні характеристики твердості поверхні.

Метод плакування широко використовується завдяки кільком перевагам, таким як безперервність процесу, точність для деталей різних розмірів та можливість плакування в будь-якому положенні. Автори Ю та Чжан вивчали процес індукційного плакування сплавів та композитних матеріалів, зосереджуючись на його механізмах, параметрах та використовуваних матеріалах. Їхнє дослідження показує промислове застосування цього методу та його переваги, такі як енергоефективність, екологічність та регульована товщина покриття. Крім того, вони розглянули проблеми та майбутні розробки,

підкресливши необхідність спеціальних матеріалів та оптимізації процесу для різних промислових застосувань.

Плазмове [49] та електродне наплавлення [48], а також індукційне наплавлення зносостійких порошків (Сормайт-1, Сормайт-2) часто використовуються в сільськогосподарській техніці. Однак ці методи супроводжуються нагріванням плакованого виробу, що призводить до термічних деформацій та зниження твердості матеріалу. Плакований шар не забезпечує самозаточування леза інструменту в процесі роботи та швидко зношується через руйнування відпущеної основи виробу, а існуючі методи продовження терміну служби робочих органів сільськогосподарської техніки є або занадто дорогими, або не забезпечують суттєвого підвищення їхньої довговічності.

Покращення властивостей напилених покриттів вимагає модернізації самих методів напилення та оптимізації їх режимів або застосування додаткових технологічних операцій.

Резервом покращення покриттів дисків лемішів сівалок можуть бути комбіновані технології, наприклад, електроіскрове легування (ЕІЛ) з наступною обробкою металополімерними матеріалами (МПМ) або лазерною обробкою (ЛО) [43-45].

### **2.3. Розробка методики досліджень, результати та проведення порівняльних іспитів.**

#### ***Методика досліджень***

Для електроіскрового легування зразків зі сталі 12Х18Н10Т, розміром 15х15х7мм використовували установку моделі «ЕЛІТРОН- 52А» (рис. 1.14, а). На рисунку 1.14, б показаний вібратор (3) установки, який закріплювався в різцеутримувачі верстату. Електрод (1) завдяки механізмам верстату підводився до зразка (2) і відбувався процес ЕІЛ.

Після нанесення покриття електродом з твердого сплаву Т15К6, проводили наступну обробку полімерним матеріалом (ПМ), армованим порошком з

твердосплавної суміші ВК6, а потім обробляли лазером (ОЛ), моделі «Nd - YAG BLS 720» (рис. 1.15) по 5-му режиму, згідно таблиці 2.1.

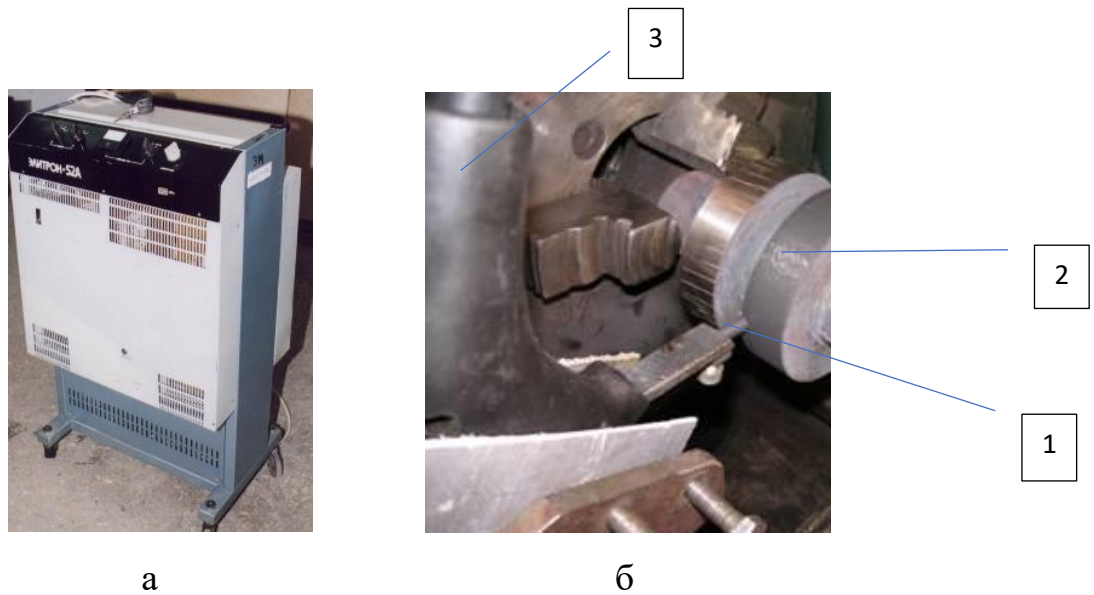


Рисунок 1.14 – Установка моделі «Елітрон -52А» (а) і схема ЕІЛ поверхні зразка в автоматизованому режимі (б): 1 – електрод; 2 – зразок; 3 – вібратор

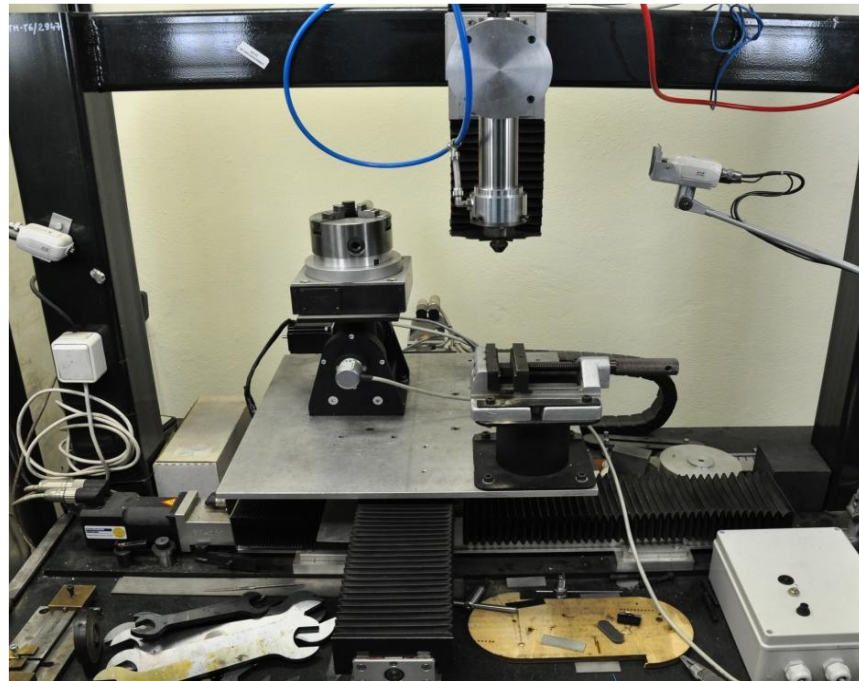


Рисунок 1.15 – Фотографія лазера моделі «Nd – YAG BLS 720»

Таблиця 2.1 – Режими лазера моделі «Nd – YAG BLS 720»

№	Подача, мм/хв	Напруга, В	Імпульс лазера, сек	Частота, Гц
1	120	500,0	$0,3 \times 10^{-3}$	100
2	-	500,0	-	50
3	-	500,0	$1 \times 10^{-3}$	-
4	-	550,0	-	-
5	-	600,0	-	-

Оцінка відносної зносостійкості покриттів зразків, застосовуваних для зміцнення поверхонь дисків лемішів сівалок, проводилась шляхом випробування дисків, розміром  $\varnothing 50 \times \varnothing 5 \times 10$  мм, які встановлювали на машину тертя СМЦ-2 і випробували в парі з контртілом з твердого сплаву ВК8, виконаним в вигляді плоского зразка. за схемою «кільце - плоский зразок».

Покриття на зразки зі сталі 12Х18Н10Т наносили згідно таблиці 2.2.

Нижня частина диску була занурена в мастило І40А. Швидкість ковзання складала - 0,780 м / с, а питомий тиск – 10,0 МПа, навантаження - 100 Н, тривалість випробувань - 10 год.

### ***Результати досліджень***

На рисунку 1.16 представлена мікроструктура поверхневого шару зразка з матеріалу 12Х18Н10Т після нанесення методом ЕІЛ покриття з твердого сплаву Т15К6 з наступною обробкою ПМ, армованого порошком з твердосплавної суміші ВК6, з наступною ОЛ по 5-му режиму таблиці 2.1 результати мікротвердості (а) та розподіл мікротвердості по глибині шару (б).

Мікроструктура поверхні зразка зі сталі 12Х18Н10Т з комбінованим покриттям (КП), сформованим в послідовності: ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6 + ОЛ, складається з 3-х зон: на поверхні – «темний» шар, товщиною до 400 мкм з твердістю до 10ГПа, нижче - «світлий» шар, товщиною до 280 мкм, з твердістю до 7500 МПа на кордоні з «темним шаром, і поступовим зниженням твердості до твердості основного металу (~1700 МПа).

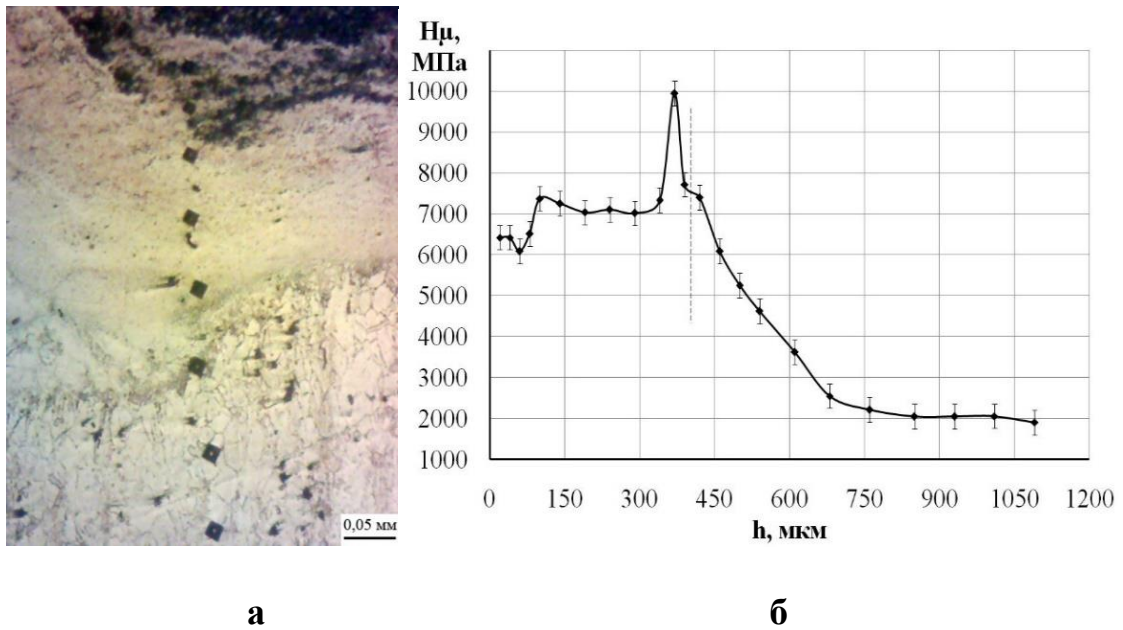


Рисунок 1.16 – Мікроструктура (а) і мікротвердість поверхні в залежності від заглиблення зразка сталі 12X18H10T після ЕЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6 + ОЛ

На рисунках 1.17 і 1.18 представлені максимальні мікротвердості і товщини, «темного» і «світлого» шару для всіх режимів ОЛ.

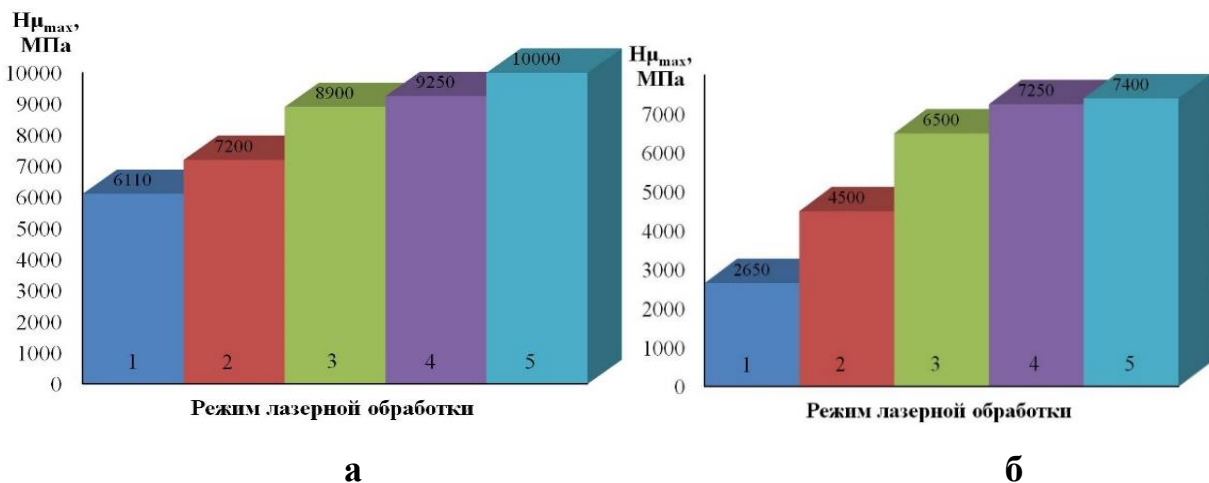


Рисунок 1.17 – Мікротвердість поверхні шарі в залежності від ОЛ: а - «темний» шар; б - «світлий» шар

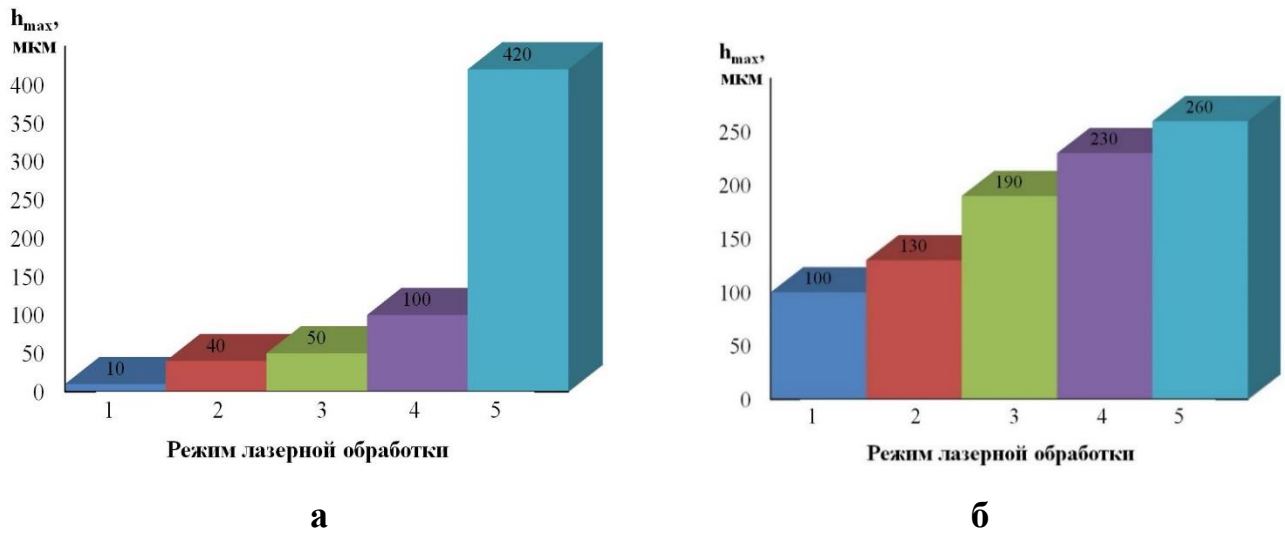


Рисунок 1.18 – Товщина зон покриття в залежності від ОЛ: а - «темний» шар; б - «світлий» шар

### *Порівняльні випробування*

Результати порівняльних випробувань занесені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати зносостійкості зразків зі сталі 12Х18Н10Т зміцнених різними методами

Послідовність нанесення покриттів	Товщина покриття, МКМ	Максимальна мікротвердість поверхневого шару, МПа	Ваговий знос $\times 10^3$ , кг
Без покриття	-	1700	0,35
ЕЛТ15К6	0,22	5500	0,11
ЕЛТ15К6 + МПМ, армований твердим сплавом ВК6	0,25	9500	0,086
ЕЛТ15К6 + МПМ, армований твердим сплавом ВК6+ОЛ	0,35	11500	0,045
Стеліт	1,50	6000	0,067

В результаті аналізу таблиці 2.2 встановлено, що зразки сталі 12X18H10T, з комбінованими покриттями: ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6 + ОЛ втратили найменшу вагу (0,000045 кг), тобто їх знос, відповідно в 7,78; 2,44; 1,91 і 1,49 раз менший ніж знос зразків без покриття; з покриттями ЕІЛ Т15К6; ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6; ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6 + ОЛ і оброблених наплавленням стеліту.

#### **2.4. Висновки.**

1. Розглянути умови роботи сівалок, визначені основні причини зносу їх дисків лемішів.

2. Проаналізовані сучасні технології збільшення зносостійкості дисків лемішів і запропоновано використовувати їх зі сталі 12X18H10T з КП складу: ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6 + ОЛ.

3. Розроблена методика проведення досліджень та проведення порівняльних іспитів.

4. Після проведення порівняльних іспитів встановлено, що знос зразків сталі 12X18H10T, з КП: ЕІЛ Т15К6+ПМ, армованих порошком ВК6 + ОЛ, відповідно, в 7,78; 2,44; 1,91 і 1,49 раз менший ніж у зразків без покриття та з покриттями ЕІЛ Т15К6; ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6; ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6 + ОЛ і оброблених наплавленням стеліту.

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ НАПЛАВЛЕНІ ПОКРИТТІВ

У кожному промисловому середовищі коефіцієнт безпеки є важливим фактором. У деяких середовищах він має першочергове значення. Деякі з факторів безпеки, які необхідно враховувати під час нанесення покриття, наведено нижче.

#### 3.1. Безпека під час підготовки поверхні

Працівники, які використовують абразивно-струменеве обладнання, повинні бути забезпечені справним обладнанням у належному робочому стані. Вони повинні бути оснащені масками з повітряними фільтрами, щоб запобігти вдиханню пилу та окалини. Одяг має бути відповідним та безпечним. Слід носити захисне взуття. Обов'язково використовувати захисні окуляри або захисні захисні окуляри. Слід носити беруші або захисні навушники.

Не можна експлуатувати обладнання в місцях, де воно може створювати іскри, що можуть займати вибухонебезпечні або легкозаймисті матеріали. Його не слід експлуатувати там, де абразивні матеріали, окалина або надлишки розпилення можуть пошкодити або перешкодити роботі іншого обладнання.

Деякі матеріали, зокрема старі покриття, які необхідно видалити для повторного покриття конструкцій, вважаються небезпечними та потребують спеціальних процедур безпеки. Це включає фарби на основі свинцю та покриття на основі азбесту. Ці матеріали, часто включаючи аерозольні розчини, не можна залишати на будівельному майданчику після видалення. Для розробки плану видалення, збору та належної утилізації цих матеріалів часто потрібна участь промислового гігієніста.

### 3.2. Безпека матеріалів

Матеріали для покриття часто бувають легкозаймистими, вибухонебезпечними або отруйними, а іноді й усіма трьома одночасно. Характеристики будь-якого використовуваного матеріалу повинні бути відомі заздалегідь, а також необхідно вжити всіх необхідних запобіжних заходів та суворо дотримуватися їх під час виконання робіт. Коротко кажучи:

1) Покриття, що містять легкозаймисті або вибухонебезпечні матеріали, не слід використовувати поблизу відкритого вогню, іскор або електрообладнання. Слід вжити всіх запобіжних заходів для запобігання випадковому пожежі або вибуху, заборонивши куріння, вимагаючи використання інструментів, що не іскроутворюють, або дотримуючись будь-яких інших відповідних вимог безпеки.

2) Під час використання в закритих приміщеннях концентрацію розчинників слід підтримувати як нижче межі вибухонебезпечності, так і нижче допустимого рівня токсичності. Обидва рівні різняться залежно від матеріалів, тому правила безпеки повинні залежати від використовуваних матеріалів. Вентиляція закритих приміщень повинна бути безперервною під час роботи та протягом трьох годин після неї, якщо використовуються вибухонебезпечні або легкозаймисті розчинники. Обов'язкове використання електрообладнання, затвердженого за стандартами безпеки.

Пари розчинників слід видаляти з резервуарів відсмоктуванням, оскільки багато парів важчі за повітря. Тому особливу увагу слід приділяти найвіддаленішим та найнижчим кінцям резервуарів. Працівники повинні носити схвалені маски зі стисненим повітрям. Взуття повинно мати гумові підшви та каблук та не повинно мати відкритих сталевих цвяхів.

### 3.3. Безпека обладнання

Щоразу, коли вентиляція є важливим фактором, її слід ретельно планувати та часто перевіряти. За необхідності слід використовувати автоматичне

обладнання для постійної перевірки повітря на наявність отруйних речовин або вибухонебезпечних концентрацій. Усе такелажне обладнання, підйомники, платформи, шланги або будь-яке інше обладнання, що використовується на роботі, повинно перевірятися та підтримуватися в безпечному стані. Такелажне обладнання повинні виконувати досвідчені оператори.

Бригади фарбувальників або сторонні бригади, що виконують роботи за контрактом, повинні знати та розуміти методи безпеки на заводі. Крім того, слід звертатися за порадою до інженерів з безпеки на заводі та дотримуватися їхніх рекомендацій. Опублікована інформація доступна в технічних та торгових асоціаціях, випробувальних бюро, і, що найважливіше, зазвичай друкується на етикетках та інструкціях, що надходять разом із матеріалами та обладнанням. Весь персонал повинен мати досвід та належне навчання, включаючи навчання з кваліфікації операторів, де це можливо.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ДИСКІВ СОШНИКІВ СІВАЛОК

#### 4.1. Нормування технології нанесення покриття на диски сошників сівалок

Перелік матеріалів потрібних для нанесення покриттів на диски сівалок (ДС) (табл.4.1).

Таблиця 4.1 – Матеріали та обладнання для нанесення покриттів на ДС

Обладнання	Вартість, грн
Установка «УІЛВ-7А»	15000
Лазер моделі «Nd – YAG BLS 720»	35000
Інше	
Електроенергія, кВт/год	45
Твердий сплав Т15К6	10
Порошок ВК6	15
Σ	50070

Поверхня ДС, на яку потрібно наносити покриття = 500 см<sup>2</sup>

#### 4.2 Розрахунок собівартості зміцнення

Собівартість виготовлення 1,0 ДС дробарки без покриття

$C_{\text{баз}} = 150,0$  грн.

Термін роботи 1,0 РО дробарки без покриття складає

$$T_{\text{баз}} = 0,3 \text{ рок.}$$

Собівартість затрат для зміцнення 1,0 ДС буде:

$$C_{\text{мат}} = 10,0 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна собівартість РО дробарки буде:

$$C_{\text{нов}} = C_{\text{баз}} + C_{\text{мат}} = 150 + 10 = 160 \text{ грн} \quad (4.1)$$

Враховуючи, що 1 ДС дробарки працювати в п'ять разів довше, то

$$T_{\text{нов}} = T_{\text{баз}} \times 5 = 0,30 \times 5,0 = 1,50 \text{ років.} \quad (4.2)$$

### 4.3. Розрахунок економічної ефективності

$$E = C_{\text{баз}} : T_{\text{баз}} - C_{\text{нов}} : T_{\text{нов}} = 150 : 0,3 - 160 : 1,5 = 393,0 \text{ грн} \quad (4.3)$$

### 4.4 Розрахунок окупності капітальних витрат, (Фок)

$$\text{Фок} = C_{\text{об}} : E = 50070 : 393 = \sim 127 \text{ шт.}, \quad (4.4)$$

де  $C_{\text{об}} = 50070$  грн (табл. 4.1)

Згідно того, що за добу зміцнюють приблизно 8,0 дисків сівалок, то добова окупність складе:

$$T_{\text{доб}} = \text{Фок} : 8 = 127 : 8 = \sim 16 \text{ діб.}$$

Таким чином. Економічна ефективність нової технології зміцнення дисків лемішів сівалок буде 127,0 грн на один диск, а окупність обладнання  $\sim 16,0$  діб.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Проаналізовані конструкційні особливості сівалок та їх основні переваги при використанні.
2. Проаналізовані сучасні технології в посівній техніці для зернових культур, їх останні досягнення та майбутні перспективи
3. Розглянути умови роботи сівалок, визначені основні причини зносу їх дисків лемішів.
4. Проаналізовані сучасні технології збільшення зносостійкості дисків лемішів сівалок і запропоновано використовувати їх зі сталі 12Х18Н10Т з комбінованими покриттями (КП) складу: ЕІЛ Т15К6 + полімерний матеріал (ПМ), армований порошком ВК6 + обробка лазером (ОЛ).
5. Розроблена методика проведення досліджень та проведення порівняльних іспитів, після яких встановлено, що знос зразків зі сталі 12Х18Н10Т, з КП: ЕІЛ Т15К6+ПМ, армовані порошком ВК6 + ОЛ, відповідно, в 7,78; 2,44; 1,91 і 1,49 раз менший ніж у зразків без покриття та з покриттями ЕІЛ Т15К6; ЕІЛ Т15К6+ПМ, армований порошком ВК6; ЕІЛ Т15К6+ПМ, армовані порошком ВК6 і оброблених наплавленням стеліту.
6. По результатам проведених досліджень опубліковані дві наукові роботи.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Гунатхунга, К.; Сенанаяке, С.; Джаясінгхе, М.А.; Бреннан, К.С.; Труонг, Т.; Марапана, У.; Чандрапала, Дж. Вплив пророщування на харчову якість: комплексний огляд змін у вибраних зернових та бобових культурах. *J. Food Compos. Anal.* 2024 , 128 , 106024. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
2. Доступно онлайн: <https://www.fao.org/faostat/zh/#data> (дата звернення: 17 листопада 2024 р.).
3. Яделєв, З.; Тадессе, ТМ; Tarekegn, W. Відповідне джерело насіння та норма підвищили продуктивність сортів хлібної пшениці в умовах зрошення в Північній Мечі, регіон Амхара, Ефіопія. *Heliyon* 2024 , 10 , 31568. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
4. Такеле, М.М.; Дірес, Г.З.; Мінтеснот, С.М.; Кіданемаріам Гелав, Г. Проектування та розробка комбінованого ущільнювача для насінневого ложа та сівалки для насіння теффу та добрив. *Heliyon* 2024 , 10 , 36856. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
5. Діллон, Г.С.; Баарда, Л.; Гретцінгер, М.; Коулз, К.; Берес, Б. Вплив точного посіву та норм висіву на густоту рослин канולי та врожайність насіння в південній Альберті. *Can. J. Plant Sci.* 2022 , 102 , 698–709. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
6. Zhao, P.; Ju, X.; Yang, P.; Zheng, Z.; Huang, Y.; Gao, X.; Shi, J. Розробка та експеримент з фронтально навішеною широкосмуговою стрічковою роторною ґрунтообробною сівалкою для внесення добрив з трубами для добрив. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2024** , 40 , 12–21. [ [Google Scholar](#) ]
7. Лю, Х.; І, Л.; Се, Ю.; Чжао, Ю.; Фан, Л. Розробка перевантажувальної платформи з переднім колесом для кукурудзяної сівалки середнього розміру з безповерховим обробітком та мульчуванням стебел. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2022 , 38 , 10–18. [ Google Scholar ]
8. Шан, С.; Ву, Х.; Ян, Р.; Лі, Г.; Ян, Х.; Чен, Д. Стан досліджень та перспективи використання техніки та технологій для посіву на ділянках. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2021 , 52 , 1–20. [ Google Scholar ]

9. Фу, З.; Гонг, З.; Чу, К.; Лі, Х.; Чжан, М.; Хуан, Ю. Розробка та випробування електрогідравлічної системи керування для ущільнення ґрунту кукурудзяною сівалкою. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2024 , 55 , 273–284. [ Google Scholar ]

10. Ду, З.; Хе, Х.; Ян, Л.; Чжан, Д.; Цуй, Т.; Чжун, Х. Прогрес досліджень технології та обладнання для точного висіву кукурудзи зі змінною нормою висіву. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2023 , 39 , 1–16. [ Google Scholar ]

11. Бай, Х.; Ван, Н.; Лонг, Дж. Виявлення та коригування орієнтації зародків кукурудзяного насіння на основі зображень для точного посіву. *Comput. Electron. Agric.* 2024 , 224 , 109139. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

12. Шараускіс, Е.; Казлаускас, М.; Naujokienė, V.; Brucienė, I.; Степонавічус, Д.; Романецкас, К.; Ясінскас, А. Висів зі змінною нормою в точному землеробстві: останні досягнення та перспективи на майбутнє. *Agriculture* 2022 , 12 , 305. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

13. Муннаф, Массачусетс; Хаесарт, Г.; Муазен, А.М. Посів кукурудзи на певній ділянці з використанням карт зон управління, окреслених за допомогою схеми об'єднання даних кількох датчиків. *Soil Tillage Res.* 2022 , 220 , 105377. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

14. Вірк, С.С.; Фултон, Дж.П.; Портер, В.М.; Пейт, Г.Л. Продуктивність просапної сівалки для підтримки змінної норми висіву кукурудзи. *Precis. Agric.* 2020 , 21 , 603–619. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

15. Ван, Х.; Ян, Л.; Чжан, Д.; Цуй, Т.; Хе, Х.; Сяо, Т.; Лі, Х.; Ду, З.; Се, К. Порівняльне дослідження та оцінка систем дозування насіння з електроприводом у різних діапазонах швидкостей для покращених високоточних застосувань посіву. *Comput. Electron. Agric.* 2024 , 222 , 108976. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

16. Се, К.; Ян, Л.; Чжан, Д.; Цуй, Т.; Хе, Х.; Ду, З.; Сяо, Т. Алгоритм оцінки вихідної кількості сигналу (SOQ) для підвищення точності висіву. *Comput. Electron. Agric.* 2022 , 201 , 107321. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

17. Zhang, C.; Liu, T.; Zheng, Z.; Fang, J.; Xie, X.; Chen, L. Розробка та випробування точного висівного апарата зі шаховим розташуванням опуклих зубців для посіву пшениці з широким розсадним ременем. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2024 , 40 , 47–59. [ Google Scholar ]
18. Gao, X.; Xie, G.; Xu, Y.; Yu, Y.; Lai, Q. Застосування шахового симетричного спірального канавкового колеса на пристрої кількісної подачі та дослідження характеристик руху частинок на основі цифрової моделювання порошків (DEM). *Powder Technol.* 2022 , 407 , 117650. [ Google Scholar ]
19. Шан, Ю.; Чжоу, Б.; Ян, Дж.; Чжан, С. Розробка та експеримент з приводним пристроєм для напрямлення насіння з крильчаткою для пристрою прямого висіву рису через внутрішній всмоктувальний отвір. *Sci. Rep.* 2024 , 14 , 13300. [ Google Scholar ] [ CrossRef ] [ PubMed ]
20. Лі, К.; Чжан, Д.; Ян, Л.; Цуй, Т.; Хе, Х.; Лі, З.; Донг, Дж.; Сін, С.; Цзян, Ю.; Лян, Дж. Дослідження відцентрового високошвидкісного пристрою для точного висіву насіння для кукурудзи з повітряним потоком для заповнення та очищення насіння. *Comput. Electron. Agric.* 2024 , 226 , 109434. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
21. Сін, Х.; Цао, Х.; Чжун, П.; Ван, Ю.; Лін, Дж.; Занг, Ю.; Чжан, Г. Моделювання зв'язку DEM-CFD та оптимізація частинок насіння рису, що висіваються на пагорб у двополотновому пневматичному дозаторі насіння. *Comput. Electron. Agric.* 2024 , 224 , 109075. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
22. Лі, З.; Се, Р.; Ван, Т.; Чжан, Т.; Лю, Л.; Чень, Ю. Система моніторингу негативного тиску в трубопроводі пневматичного точного дозатора насіння для ріпаку. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2024 , 55 , 180–189. [ Google Scholar ]
23. Се, К.; Чжан, Д.; Ян, Л.; Цуй, Т.; Хе, Х.; Ду, З. Система моніторингу параметрів точного висіву на основі лазерного датчика та бездротового зв'язку через послідовний порт. *Comput. Electron. Agric.* 2021 , 190 , 106429. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
24. Sun, W.; Yi, S.; Qi, H.; Wang, S.; Li, Y.; Dai, Z. Розробка та експеримент дводискового переплетеного високошвидкісного пристрою для

точного висіву насіння з пневматичним тиском для густих посівів кукурудзи з дельта-рядками. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2024 , 55 , 168–179. [ [Google Scholar](#) ]

25. Ван, В.; Сонг, Л.; Ши, В.; Вей, Д.; Чен, Ю.; Чен, Л. Розробка та експеримент дворядного шахового точного висівного пристрою з повітряним всмоктуванням для густого посіву кукурудзи. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2024 , 55 , 53–63. [ [Google Scholar](#) ]

26. Ян, Л.; Лі, З.; Чжан, Д.; Лі, К.; Цуй, Т.; Хе, Х. Конструкція та випробування Т-подібного отвору відцентрового високошвидкісного точного висівного пристрою для кукурудзи. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2024 , 40 , 50–60. [ [Google Scholar](#) ]

27. Лі, Ю.; Чжао, С.; Ян, Л.; Сонг, К.; Лі, Б.; Ян, Ф. Розробка та випробування високошвидкісної сівалки точного висіву з незалежним фракціонованим дворядним щітковим посівом сої. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2024 , 55 , 101–110. [ [Google Scholar](#) ]

28. Zhang, C.; Liu, T.; Zheng, Z.; Fang, J.; Xie, X.; Chen, L. Розробка та випробування точного висівного апарата зі шаховим розташуванням опуклих зубців для посіву пшениці з широким розсадним ременем. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2024 , 40 , 47–59. [ [Google Scholar](#) ]

29. Gao, X.; Xie, G.; Xu, Y.; Yu, Y.; Lai, Q. Застосування шахового симетричного спірального канавкового колеса на пристрої кількісної подачі та дослідження характеристик руху частинок на основі цифрової моделювання порошків (DEM). *Powder Technol.* 2022 , 407 , 117650. [ [Google Scholar](#) ] [ [CrossRef](#) ]

30. Ян, Л.; Лі, З.; Чжан, Д.; Лі, К.; Цуй, Т.; Хе, Х. Конструкція та випробування Т-подібного отвору відцентрового високошвидкісного точного висівного пристрою для кукурудзи. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 2024 , 40 , 50–60. [ [Google Scholar](#) ]

31. Доступно онлайн: <https://acclima.com/tdr-315n-sdi-12-soil-moisture-sensor-data-sheet/> (дата звернення: 17 листопада 2024 р.).

32. Доступно онлайн: <https://acclima.com/tdt-soil-moisture-sensor/> (дата звернення: 17 листопада 2024 р.).
33. Лі, Ю.; Чжу, М.; Луо, Л.; Ван, С.; Чен, К.; Чжан, З.; Яо, Ю.; Ху, Х. Двочастотне об'єднання даних GNSS-IR для інверсії вологості ґрунту на основі оцінки компонента дисперсії Гельмерта. *J. Hydrol.* 2024 , 631 , 130752. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
34. Нуракі, А.; Голабі, М.; Албаджі, М.; Насері, А.А.; Хомаюні, С. Покращений моніторинг вологості ґрунту кореневої зони з використанням багаточасових даних дистанційного зондування та методів машинного навчання. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 2024 , 36 , 101354. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
35. Ду, З.; Ян, Л.; Чжан, Д.; Цуй, Т.; Хе, Х.; Сяо, Т.; Се, К.; Лі, Х. Рішення щодо змінної норми висіву кукурудзи на основі моделі дерева рішень з градієнтним підвищенням. *Comput. Electron. Agric.* 2022 , 198 , 107025. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
36. Сюе, Дж.; Чжан, Х.; Чен, С.; Лу, Р.; Ван, З.; Ван, Н.; Хонг, Ю.; Чен, Х.; Сяо, Ю.; Ма, Ю.; та ін. Область достовірності об'єднання датчиків для вимірювання показників якості ґрунту. *Geoderma* 2023 , 438 , 116657. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
37. Маласлі, М.З.; Челік, А. Вплив диска та кута нахилу однодискового сошника сівалки без обробітку на розподіл пожнивних залишків та профіль борозни. *Turk. J. Agric. For.* 2023 , 47 , 1025–1042. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
38. Виробництво та продаж Schaffert. Доступно онлайн: <https://www.schaffert.com/products/disc-openers/b-toem.html> (дата звернення: 4 травня 2024 р.).
39. Відкривачі дисків. Доступно онлайн: <https://sidist.com/index.cfm?category=2210> (дата звернення: 4 травня 2024 р.).
40. Тухтакузієв, А.; Расульжонов, А.; Азізов, С.; Теміркулова, Н. Обґрунтування параметрів дводискової сівалки для безпосереднього посіву повторних культур у ґрунт після збору врожаю пшениці в Узбекистані. *BIO Web Conf. AEGISD-IV 2024* , 105 , 01015. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

41. Ергашев, І.Т.; Абдуллаєв, Б.В.; Пардаєв, К.К. Визначення параметрів дводискового сошника. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2022 , 1076 , 012038. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
42. Вимірювання зносу дводискових сошників сівалки John Deere. Доступно онлайн: <http://www.mdf.coop/files/pdf/resources/minndak-measureweardiskopeners.pdf> (дата звернення: 4 травня 2024 р.).
43. Язиджи, А. Знос сталевих ґрунтообробних знарядь: огляд матеріалів, ґрунту та динамічних умов. *Soil Tillage Res.* 2024 , 242 , 106161. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
44. Ян, Х.; Чен, Дж.; Чжао, Х.; Худа, Н.; Герліх, А.П. Вплив складу присадного дроту на мікроструктуру та механічні властивості зварного металу при лазерному зварюванні сталі X80. *Materials* 2024 , 17 , 5235. [ Google Scholar ] [ CrossRef ] [ PubMed ]
45. Маррокко, В.; Модіка, Ф.; Беллантоне, В.; Валорі, М.; Фассі, І. Як електропровідність водних рідин впливає на мікроерозійну обробку в короткоімпульсному режимі. *Micromachines* 2024 , 15 , 266. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
46. Рахаділов, Б.; Кантай, Н.; Сагдолдіна, З.; Ерболатули, Д.; Бектасова, Г.; Пашковський, М. Експериментальні дослідження покриттів на основі Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та ZrO<sub>2</sub> , нанесених методом детонаційного напилення. *Mater. Res. Express* 2021 , 8 , 056402. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
47. Гакі, Ю.; Кусумото, К.; Сімідзу, К.; Пурба, Р.Х. Вплив орієнтації карбиду на характеристики зносостійкості високолегованих зносостійких чавунів. *Мастильні матеріали* 2023 , 11 , 272. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
48. Сінгх, П.; Чата, С.С. Зменшення абразивного зносу шляхом наплавлення твердим покриттям відвального лемеша. *Mater. Today Proc.* 2020 , 33 Pt 3 , 1505–1512. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
49. Ян, Х.; Чжао, Л.; Чен, З.; Ху, Х.; Ян, З. Дослідження властивостей поверхні та зносостійкості сталі AISI H11, обробленої плазмовим азотуванням з допоміжним нагріванням. *Coatings* 2020 , 10 , 528. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]

43. Забезпечення захисту поверхонь торцевих імпульсних ущільнень турбомашин шляхом формування зносостійких наноструктур : монографія / В. Б. Тарельник, Є. В. Коноплянченко, О. П. Гапонова, Н. В. Тарельник ; за заг. ред. В. Б. Тарельника. Суми : Університетська книга, 2022. 260 с.

44. Проблеми безпечної експлуатації компресорного та насосного обладнання в сучасній промисловості : монографія / В. С. Марцинковський та ін. ; за ред. В. Б. Тарельника, Є. В. Коноплянченка. Суми : ФЛП Литовченко Е. Б., 2020. 410 с.

45. Галузеве машинобудування: підручник для аспірантів спеціальності / В.Б. Тарельник, доц. Є.В. Коноплянченко, М.В. Зубко та ін.; за заг. Ред. В.Б. Тарельника, Ю.І. Данька. Видавництво СНАУ, 2022.- 468 с.

## ДОДАТКИ