

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

УДК 656.078:631.33:621.81

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного
факультету

д.т.н., професор

_____ **Братішко В.В.**

“ ___ ” _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри технічного сервісу
та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

_____ **Роговський І.Л.**

“ ___ ” _____ 2024р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ПОКАЗНИКІВ ДВОДИСКОВИХ СОШНИКІВ ПОСІВНИХ
МАШИН JD734»**

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

Доктор технічних наук, с.н.с _____

«підпис»

Братішко В.В.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.т.н., професор _____

«підпис»

Войтюк В.Д.

Виконав

_____ «підпис»

Лавренюк І.В.

Київ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка,

І.Л.Роговський

“ ___ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Лавренюку Івану Вячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»
Освітня програма – «Агроінженерія»
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Удосконалення експлуатаційних показників дводискових сошників посівних машин JD734».

затверджені наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 року №2223 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 06.12.2024 р.

Вихідні дані до роботи:

1. Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах експлуатаційних показників дводискових сошників посівних машин

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Стан питання забезпечення роботоздатності двохдискових сошників зернових сівалок
2. Теоретичні передумови забезпечення роботоздатності двохдискових сошників
3. Програма і методика експериментальних досліджень роботоздатності дводискових сошників зернових сіялок
4. Результати експериментальних досліджень модернізованих двохдискових сошників
5. Техніко-економічна оцінка пропозицій по забезпечення роботоздатності сошників

Дата видачі завдання 19.10.2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ В.Д. Войтюк
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ І.В.Лавренюк _____

РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить розрахунково-пояснювальну записку на 103 стор. машинописного тексту.

Ключові слова: закономірності, залежності, параметри процесу, посів, полімерне покриття, зернові культури, диски, тяговий опір, вологість, системний, математичний аналіз, досліди, прибуток.

Отримано аналітичні залежності роботоздатності дводискових сошників з полімерним покриттям, що враховують його зношування; розроблено теоретичну Модель прогнозування ресурсу дводискових сошників на ґрунтах з різною вологістю; встановлені залежності тягового опору модернізованого дводискового сошника від глибини закладення насіння, швидкості ходу і вологості ґрунту, запропонований коефіцієнт роботоздатності модернізованих дводискових сошників на ґрунтах різної вологості.

Розроблено номограма прогнозування ресурсу дводискових сошників зернових сівалок; встановлені інтенсивності зношування дводискових сошників на ґрунтах різної вологості; визначено коефіцієнти відносною зносостійкості порівнюваних варіантів конструкційних матеріалів в лабораторних і польових умовах; отримані значення липкості робочих поверхонь дисків сошника в різному діапазоні вологості ґрунту.

Пропонований модернізований дводисковий сошник зерновий сівалки при роботі на ґрунтах підвищеною вологістю забезпечує можливість раннього проведення посівних робіт по порівнянні з існуючими сошниками, тим самим знижуючи час його роботи при підвищеному зношуванні в посушливих ґрунтах.

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП.....	6
1. СТАН ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДВОХДИСКОВИХ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК	9
1.1 Особливості роботи посівних машин.....	9
1.2 Переваги та недоліки, що визначають працездатність сошників зернових сівалок	10
1.3. Вплив технологічних властивостей ґрунту на надійність роботи посівних агрегатів	16
1.4. Огляд і аналіз заходів по відновлення роботоздатного стану дводискових сошників.....	22
1.5. Аналіз способів застосування полімерних матеріалів для забезпечення роботоздатності робочих органів сільськогосподарських машин.....	28
2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДВОХДИСКОВИХ СОШНИКІВ	35
2.1. Підвищення надійності роботи дводискового сошника	35
2.2. Напрями із забезпечення роботоздатності дводискових сошників зерновий сівалки.....	37
2.3. Модернізація дводискового сошника покриттям з НВМПЕ	40
2.4. Теоретична модель підвищення ресурсу модернізованого дводискового сошника	44
2.5. Теоретичний аналіз взаємодії модернізованого дводискового сошника з ґрунтом	51
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДВОДИСКОВИХ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК	58
3.1. Програма експериментальних досліджень	58
3.2. Методика визначення адгезійних характеристик полімерних матеріалів при взаємодії з ґрунтом різної вологості	59

3.3. Виготовлення модернізованих дводискових сошників зернових сівалки	61
3.4. Методика проведення лабораторних та польових випробувань модернізованих сошників.....	63
3.5. Розробка матриці та методика проведення багатofакторного експерименту	68
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
МОДЕРНІЗОВАНИХ ДВОДИСКОВИХ СОШНИКІВ.....	71
4.1. Експериментальні дослідження ґрунту і полімерних матеріалів.....	71
4.2. Результати польових випробувань модернізованих дводискових сошників.....	75
4.3. Результати лабораторних випробувань модернізованих дводискових сошників.....	79
4.4. Результати багатofакторного експерименту	81
4.5. Порівняння і аналіз експериментальних даних	85
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОПОЗИЦІЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ СОШНИКІВ.....	91
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	98

ВСТУП

На сьогодні підвищення ефективності виробництва зернових культур є найважливішим завданням сталого розвитку сільського господарства країни. При збереженні посівних площ одним з факторів, який впливає на кількість і якість виробленої продукції, є якісний посів зернових. Випущені промисловістю і наявні в господарствах прості по конструкції і надійні в роботі зернові сівалки обладнані дводисковими сошниками, які виконують рядковий і вузькорядний посів. Такі сошники найбільш універсальні, вони підходять для різних типів ґрунту і варіантів якості її підготовки. Задовільно виконують задані агротехнічні вимоги по формуванню борозенки, заданій глибині посіву та закладенню насіння за рахунок обсіпання ґрунту зі стінок борозни.

У сучасних умовах при вирощуванні озимих зернових культур виник ряд проблем через різкі зміни клімату. Осіння сівба часто супроводжується спекотною сухою погодою, нерідко за межами оптимальних строків, а посів здійснюється у висушений ґрунт. Через це у кожному регіоні Півдня України більше 10% засіваються посівів, вимагають пересівання навесні. Це пред'являє особливі вимоги до властивостям робочих поверхонь посівних машин, і в першу чергу до сошникам. Огляд досліджень показує, що ресурс дисків сошника становить у середньому 6...17 га, а за деякими даними і більше 30 га на один сошник. Великий діапазон ресурсу сошників в першу чергу характеризує різне поєднання періодів роботи при нормальному та підвищеному зношуванні дисків сошника, в залежності від зношує здібності ґрунту в ці періоди. Не дивлячись на те, що нормативно-технічної документацією передбачено шість ремонтних розмірів для дискових сошників, в літературі відсутні рекомендації по прогнозування їх ресурсу в різних умовах експлуатації. Водночас, як показав проведений аналіз, втрата роботоздатності дисків сошника відбувається в основному через знос їх ріжучої кромки, а також через налипання ґрунту при роботі в умовах підвищеною вологості. Застосування пластикових покриттів з фторопласту і поліетилену знижують липкість на ґрунтах вологістю 25...30%, але в посушливих умовах такі покриття

не працездатні з- за швидкого та інтенсивного зношування. У зв'язку з цим, застосування покриттів з матеріалів, які при низькій адгезії мають високою зносостійкістю, наприклад, надвисокомолекулярного поліетилену (НВМПЕ), переважно для роботи дисків сошника. Таким чином, забезпечення роботоздатності сошників зернових сівалок на ґрунтах різної вологості за рахунок модернізації робочих поверхонь дисків застосуванням НВМПЕ представляє науковий і практичний інтерес, а тема наукового дослідження є актуальною.

Розробкою, дослідженням, обґрунтуванням конструктивно-режимних параметрів і підвищенням надійності роботи зернових сівалок і її основних робочих органів займалися П.М. Василенко, В.А. Желіговський, Г.М. Бузенков, А.Б. Лур'є, Я.П. Лобачевський, О.М. Зазуля, Н.П. Ларюшин, Н.М. Безпам'ятнова, А.Ю. Несміян, М.П. Набатян, М.Х. Каскулов та інші вчені.

Розробкою питань підвищення довговічності дискових робочих органів, технологій зміцнення робочих поверхонь дисків сошників та технологічного оснащення під час ремонту сошників займалися А.Г. Пастухів, В.М. Гадалів, С.К. Федоров, Г.Р. Латипова і інші вчені. Дослідження щодо ефективності застосування НВМПЕ для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин і іншої сільськогосподарської техніки виконали В.І. Пахомов, С.І. Камбулів, В.Б. Риків, Г.Г. Пархоменко, С.В. Брагинець, М.М. Московський та інші.

Незважаючи на це, НВМПЕ досі не застосовували для модернізації дводискових сошників зернових агрегатів з метою забезпечення їх роботоздатності на ґрунтах різної вологості.

Наукова гіпотеза – збільшення довговічності робочих органів при роботі в посушливих умовах та підвищення надійності процесу роботи на ґрунтах підвищеної вологості може бути досягнуто за рахунок застосування сучасних полімерних матеріалів для модернізації дводискових сошників зернових сівалок.

Об'єкт дослідження – технологічний процес роботи дводискового

сошника зерновий сівалки на ґрунтах різної вологості.

Предмет дослідження – закономірності зміни роботоздатного стану дводискового сошника зерновий сівалки на ґрунтах різної вологості.

Мета дослідження – забезпечення роботоздатності дводискових сошників зернових сівалок на ґрунтах різної вологості.

Завдання досліджень:

1. Виявити основні напрямки щодо забезпечення роботоздатності дводискових сошників зернових сівалок на ґрунтах різної вологості.

2. Теоретично досліджувати процес взаємодії модернізованих дводискових сошників зернової сівалки на ґрунтах різної вологості для визначення резервів підвищення ресурсу і проведення їх порівняльної оцінки.

3. Дослідити адгезійні та триботехнічні властивості полімерних матеріалів, застосовуваних для модернізації дводискових сошників.

4. Провести експериментальні дослідження по ефективності використання модернізованого дводискового сошника зернової сівалки для роботи на ґрунтах з різної вологістю.

5. Виконати техніко-економічну оцінку пропозицій по забезпечення роботоздатності дводискових сошників зернових сівалок.

1. СТАН ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДВОХДИСКОВИХ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК

1.1. Особливості роботи посівних машин

Для систематизації сівалок існує більше десятка різних класифікацій, в основу яких покладено: спосіб посіву, тип висівного апарату, конструкція, вигляд висіваються культур і інші ознаки. Серед такого різноманітності техніки стоїть відзначити зернові сівалки. З їх допомогою можна засівати пшеницю, жито, овес, кукурудзу та інші культури.

Зернові сівалки бувають універсальними (для висіву насіння різнорідних с.г. культур) та спеціальними (для однорідного насіння), а по способу посіву їх поділяють на рядові, вузькорядні, розкидні і ін. Більшість сівалок одночасно з висівом насіння можуть використовуватись для внесення добрив.

У основу класифікації лежить принцип, об'єднуючий вид висівається культури та спосіб розміщення її насіння на поле. Сучасні зернові сівалки здатні виконувати посів в погано оброблену або зовсім необроблену ґрунт. А раціональне використання накопиченої вологи у ґрунті є визначальною умовою роботи посівних машин.

Основними робочими органами зернових сівалок є висівні апарати і сошники. Висіваючий апарат повинен забезпечувати подачу насіння або добрив при різних швидкостях руху сівалки і рельєфах ґрунту. Дозатори висівних апаратів зернових сівалок бувають механічними, пневматичними і електромагнітними.

Сошники служать для створення у ґрунті борозенки та укладання на її дно насіння та добрив. Від якості їх роботи залежить схожість та подальше розвиток рослин. Усе види сошників (рис. 1.1) повинні створювати однакові борозни заданої глибини, не виносити нижні шари ґрунту на поверхню поля, щоб не було втрати вологи, ущільнювати дно борозни для оновлення капілярів у ґрунті, забезпечувати рівномірний розподіл насіння в борозні, присипаючи їх вологим шаром ґрунту.

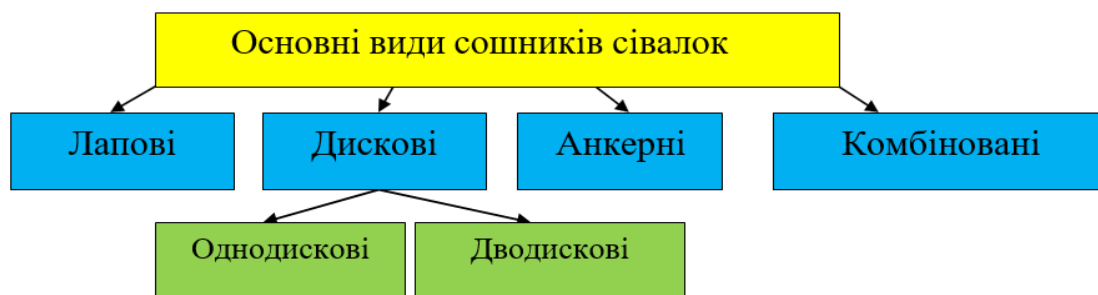


Рис. 1.1. Класифікації сошників сівалок прямого висіву

На перше місце при виборі сівалки виходять такі її показники, як якість висіву, універсальність і простота технічного обслуговування.

Якість роботи сошників зернових сівалок представляє собою сукупність властивостей, які характеризують успішність виконання технологічного процесу в певних умовах посіву. Універсальність обумовлюється можливістю висіву різних зернових культур, використанням сівалки для пересівання, підсівання і підживлення, а також надійністю роботи (збереженням роботоздатного стану) за змінних умов експлуатації, у тому числі на ґрунтах різної вологості.

1.2. Переваги та недоліки, що визначають працездатність сошників зернових сівалок

Робота сівалок повинна задовольняти всім чинним на сьогоднішній день агротехнічним вимогам, а також усім вимогам, пред'явленим до системи самої сівалки. Якість посіву і посадки визначається, враховуючи такі три основні показники, як норма висіву насіння сільськогосподарських культур, глибина їх закладення і ширина стикових міжрядь. Для зернових культур допустимі відхилення від норми посіву дорівнюють 3%, від кроку посадки – 3...4 см, від заданої глибини – 1,5...2 див. Допустиме відхилення ширини стикових міжрядь для суміжних сівалок дорівнює 2 см, для суміжних проходів - 5 см. Глибина закладення насіння складає 3...8 см і залежить від якості насінневого матеріалу, типу та вологості ґрунту.

При стабільною роботі висівного апарату, працездатність сівалки буде залежати від типу використовуваного сошника. Кожен сошник має певні переваги та недоліки, а також відрізняється за формою утвореної їм борозни. Проведений аналіз конструкцій сошників дозволяє скласти блок-схему, засновану на особливостях їх роботи та представлену на рис. 1.2.


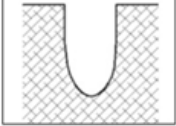
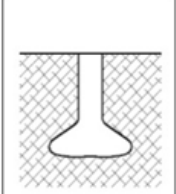
	Форма борозни	Ставлять на сівалки	Переваги	Недоліки
Дисковий		C3-3,6; C3-5,4; John Deere 730; Solitair 10; Salford 520 та ін.	- придатність для посіву по мульчі; - простота конструкції; - висока якість укладання насіння; - центрований рух сошників.	- ефект подвійного ряду (для однодискових); - складніша конструкція, ніж в інших сошників.
Анкерний		Amazone Primera DMC; Amazone AD3 Special та ін.	- проста вигідна конструкція; - можливість стрічкового посіву.	- посів по мульчі можливий лише обмежено.
Лаповий		Horsch Sprinter ST; Morris Concept 2000 та ін.	- придатність для посіву по мульчі; - висока продуктивність; - можливість прямого посіву; - проста конструкція машини.	- необхідні попередня обробка та вирівнювання поля.

Рис. 1.2. Блок-схема "Особливості роботи сошників»

Блок-схема розкриває особливості роботи виходячи з типу сошника, тим не менше, можна сформулювати і загальні вимоги до їх роботи:

- дотримання постійною глибини посіву;
- формування посівного ложа, укладання насіння і його загортання;
- забезпечення оптимального якості при заданому швидкості;
- гарна самоочищення і надійність роботи в мінливих умовах;
- довгий термін служби і низькі витрати на обслуговування.

Не дивлячись на позитивні сторони при експлуатації анкерних та лапових сошників, використовуються вони все рідше і лише для певних умов роботи, тому порядку 85% всіх посівних агрегатів виробники сільгоспмашин постачають з одне- або дводисковими сошниками.

Проведений аналіз показав, що найбільш поширений тип сошників – дисковий. При цьому більшість господарств нашої країни та зокрема південних її регіонів використовують для проведення робіт по висіву зернових культур сівалку типу СЗ-3,6 та її модифікації і John Deere 730, сошники якої обладнані дисками з вихідним діаметром 350 мм і завтовшки 2,5 мм.

Роботоздатний стан дводискового сошника зернової сівалки - це його здатність нормально виконувати задані функції в даний момент часу і залежить від наступних параметрів:

міцність – здатність диска витримувати певні навантаження протягом заданого терміну без порушення роботоздатності;

жорсткість – здатність диска витримувати задані навантаження без зміни форми і розмірів;

зносостійкість – здатність кромки диска чинити опір зношуванню;

стійкість до спеціальних впливів – здатність сошника зберігати працездатний стан при прояві спеціальних впливів (налипання ґрунту на диски, корозія та інші).

Нероботоздатний стан настає в наслідок відмови. Якщо аналізувати загальні причини порушення роботоздатності дводискових сошників, виключивши повні та раптові відмови, що вимагають капітального ремонту чи заміни робочих органів, можна виділити такі фактори як підвищений знос ріжучою кромки диска в посушливих умовах і налипання ґрунту на його робочі поверхні при підвищеною вологості.

При цьому дані відмови сприяють підвищенню енергоємності посівних агрегатів і перевитрати палива через збільшення тягового опору сошників. Це відбувається як при розрізанні і сум'ятті ґрунту затупленою ріжучою кромкою диска, так і при налипанні ґрунту на робочі поверхні сошника через підвищення коефіцієнта внутрішнього тертя ґрунту про ґрунт при роботі на ґрунтах підвищеної вологості. Крім зростання непродуктивних втрат матеріальних ресурсів це призводить до значної варіації глибини обробки ґрунтового шару сошниками, а значить і до порушень глибини закладення

насіння, що негативно впливає на їх схожість і подальше розвиток.

Для визначення опору ґрунту сум'яттю застосовується емпірична формула:

$$p = gh, \quad (1.1)$$

де p - питома опір ґрунту зминання, Н/м²;

g - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/м³;

h - глибина ходу, дорівнює або трохи більше глибини закладення насіння, м.

Багато вчених вносили до цього рівняння уточнюючі і поправочні змінні в залежності від особливостей конструкції та умов експлуатації, що вивчаються дводискових сошників. Тим не менше, при теоретичному дослідженні тягового опору дводискового сошника за основу прийнято брати вираз визначення спільного опору сівалки P , запропоноване В.П. Горячкіним:

$$P = f_c G_c + phbn + shbnv^2, \quad (1.2)$$

де f_c - Сумарний коефіцієнт тертя та перекочування;

G_c - сила тяжкості сівалки, Н;

b - максимальне відстань між дисками на поверхні поля, м;

n - кількість сошників на сівалці, шт;

ε - швидкісний коефіцієнт;

v - швидкість руху сошника, м/с.

Використовуючи залежності (1.1), (1.2) і переходячи до тяговому опору дводискового сошника окремо від посівного агрегату запропонований принцип, враховує сили його опору (R_x , R_y і R_z), по трьох осях x , y і z , де опір R_x відповідає тяговому опору дводискового сошника і спрямовано в бік протилежну його руху:

$$-R_x = 2 R_1 \sin\psi \cos\alpha + 2 R_2(\sin\alpha + f \cos\alpha) \quad (1.3)$$

де R_1 – сила опору різання, Н;

ψ – кут прикладення сили R_1 в площині диска, град.

α – кут атаки, град.

R_2 – статичні і динамічні нормальні сили, н.

Використовуючи принципи, закладені в (1.2), А.Є. Сарсенов

запропонував визначати тяговий опір удосконаленого (рис. 1.3) дводискового сошника по формулі:

$$\bar{R}_c = 2(\bar{R}_p + \bar{R}_\phi + \bar{F}_{m\phi} + \bar{F}_{\delta\phi} + \bar{F}_{m\delta\phi}) + \bar{F}_{N\delta} + \bar{F}_{m\delta} + \bar{F}_{N_x} + \bar{F}_{m_x}, \quad (1.4)$$

де \bar{R}_p – сила опору різання ріжучою крайкою диска, Н;

\bar{R}_ϕ – сила опору зминання фаскою заточеної частини диска, Н;

$\bar{F}_{m\phi}$ – сила тертя заточеної частини фаски, Н;

$\bar{F}_{\delta\phi}$ – сила опору ґрунту по бічній поверхні диска, Н;

$\bar{F}_{m\delta\phi}$ – сила тертя бічної поверхні диска до ґрунту, Н;

$\bar{F}_{N\delta}$ – сила нормальної реакції ґрунту на притискну пластину, Н;

$\bar{F}_{m\delta}$ – сила тертя деформатора притискної пластини до ґрунту, Н;

\bar{F}_{N_x} – сила опору вдавлюванню насіння ґрунтової маси хвостовиком притискної пластини, Н;

\bar{F}_{m_x} – сила тертя хвостовика притискної пластини до ґрунту, Н.

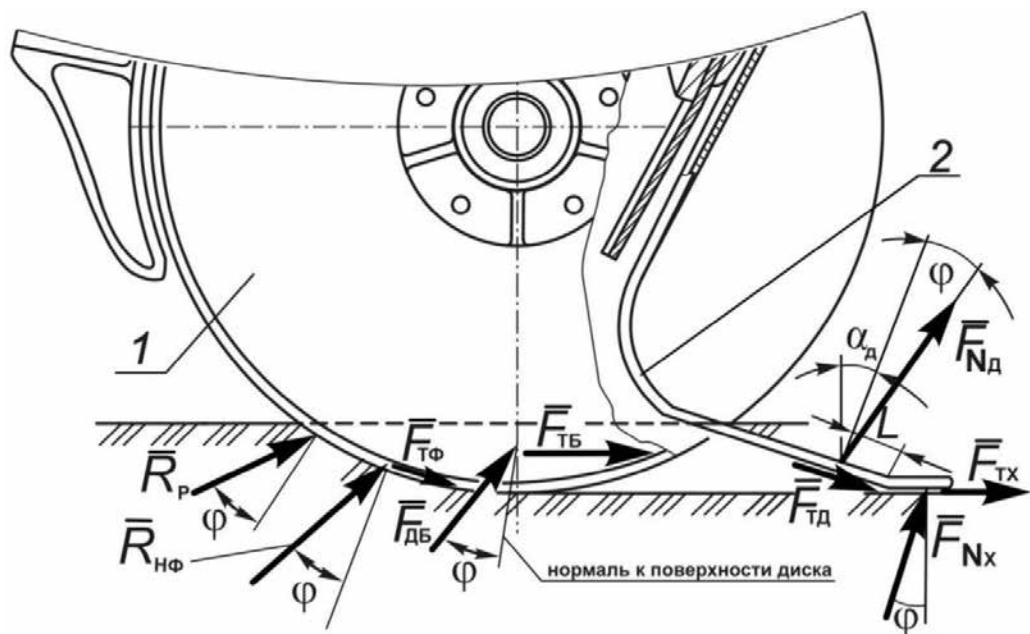


Рис. 1.3. Розрахункова схема визначення тягового опору удосконаленого сошника: 1 – плоскі диски; 2 – притискна пластинка; L - відстань до точки докладання сили F_{Td}

За дослідженнями удосконалений дводисковий сошник 1 оснащувався

притискний пластиною 2, яка переміщала разом з сошником, притискаючи насіння на дно і вирівнюючи їх по глибині загортання, роздавлюючи при цьому і грудочки ґрунту, що потрапили на дно. Однак при зношуванні дисків по діаметру навіть наявність притискної пластини не зможе компенсувати збільшення обсіпання в міждисківий простір ґрунту, що буде приводити до порушення по глибині закладення насіння. Також автором не враховувалися умови змінної вологості ґрунту, за яких притискна пластина або травмуватиме насіння (сухий ґрунт), або залипатиме шаром налиплого на неї ґрунту (перезволожений ґрунт).

Керуючись основними положеннями методики розрахунку по формулі (1.3) і дослідженнями І.С. Імамова, М.Б. Єроков запропоновано враховувати вологість ґрунту через коефіцієнт тертя робочої поверхні дисків сошника об ґрунт:

$$\bar{R} = 2\bar{R}_1 + 2\bar{R}_2 + 2\bar{T}, \quad (1.5)$$

де T – сили тертя, виникаючі при русі дисків:

$$T = fR_2 \quad (1.6)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту по диску, що змінюється в залежності від абсолютної вологості ґрунту W_a .

У роботі Лебедева А.Т. представлені емпіричні залежності коефіцієнта тертя f від вологості ґрунту W_a для сталевого диска, для диска покритого фторопластом і поліетиленом при роботі в суглинистій ґрунті та глинистих чорноземи.

Тим не менш, що проводяться цими та іншими вченими, теоретичні дослідження мають в основному емпіричний характер і не повною мірою враховують фрикційні і адгезійні властивості робочих поверхонь дводисківих сошників на ґрунтах різної вологості. З цієї причини теоретичні розрахунки не завжди узгоджуються з виробничими даними, що пояснюється непередбачуваними процесами вологообміну ґрунтового шару, змінюючими технологічні властивості ґрунту і додатково ускладнюються зовнішніми кліматичними факторами.

Тому рішення проблем, які порушують безвідмовну роботу дводискових сошників в перемінних умовах вологості ґрунтів з збереженням усіх позитивних сторін їх експлуатації є однією з перспективних завдань сучасного сільського господарства і вимагає окремого вивчення.

1.3. Вплив технологічних властивостей ґрунту на надійність роботи посівних агрегатів

Посів повинен здійснюватися в стислі агротехнічні терміни, коли ґрунт має оптимальну липкість, густина, гранулометричний склад і вологість – *фізична стиглість ґрунту*. Тривалість періоду фізичної стиглості мала і спостерігається при певних значеннях вологості ґрунту. Наприклад, А.Ф. Пронін експериментально встановив, що при обробці середньосуглинкового чорнозему оптимальне його кришення забезпечується в діапазоні абсолютної вологості $W_a = 13...24\%$. Аналіз даних представлений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Межі вологості ґрунту при його фізичній стиглості

Тип ґрунту	Межі вологості W_a , %		W_a для кращої якості обробітку
	грудкоутворення і ерозія ґрунту	залипання робочих органів	
Дерново-підзолисті	11	22	15...18
Сірі лісові	14	24	17...18
Середньосуглинкові чорноземи	13	24	15...18
Важко-суглинисті чорноземи	15	20	-
Каштанові	11	23	-

Збільшена вологість веде до залипанню робочих поверхонь дисків сошників, через що відбуваються збої та порушення технологічного процесу посіву, а часто і зовсім стає неможливим провести посівні роботи в встановлений агротехнічний термін.

З іншої сторони суха і надмірно висохла ґрунт веде до порушення освіти борозенки, закладення насіння і підвищеному зношуванню робочих поверхонь

про ґрунт, що в сукупності не дозволяє дотриматися мінімально прийнятну норму висіву і збільшує енерговитрати.

Висушування ґрунту або швидкість випаровування з його поверхні вологи залежить від цілого ряду кліматичних факторів і фізико-механічних властивостей ґрунту. І виявляється у міліметрах шару води, що випарувалася за одиницю часу з одиниці поверхні, а в залежності від регіону складає від 80 мм/рік в полярних областях до 400...1800 мм/рік в помірних широтах з тенденцією зростання при просуванні з північного заходу на південний схід.

В умовах нестабільних погодних сезонів, зокрема збільшення посушливих періодів, пов'язаних з глобальним потеплінням на планеті, прогнозованим на 2022-2026 зростає роль своєчасності проведення технологічних операцій посіву зернових культур. Через збільшення середніх показників температур зростає і інтенсивність випаровування вологи з ґрунту. Таким чином, у різних погодних умовах агротехнічні строки на проведення посівних робіт можуть порушуватися через непередбачувану швидкість випаровування (кілька діб або навіть годин). У таких умовах посів буде проводитися або в висушений ґрунт менше 11% вологості, або в перезволожений ґрунт при вологості вище 24%.

Підвищене випаровування вологи з ґрунту сільськогосподарських угідь пояснюється тим, що на початку сезону ґрунти мають темний колір, несформовану структуру і позбавлені рослинності, причому швидкість випаровування додатково збільшується при низькій вологості повітря та сильному вітрі. До того ж вологість ґрунту нерівномірна по глибині навіть після 400 годин випаровування вологи з поверхні чорноземних і каштанових ґрунтів різної структури (рис. 1.4).

З графіка видно, що в залежності від структури ґрунту мають різним розподілом вологи по її шарам. Так на глибині 2...5 см вологість розпорошеного ґрунту не перевищує 10%, що вже має на увазі підвищене зношування ріжучої кромки дисків сошників. У грудочкуватого ґрунту на цій же глибині вологість досягає значення $W_a=32\%$, за якого відбуватиметься

надмірне налипання ґрунту на диски. Зі зростанням глибини до 10 см вологість розпорошеною ґрунту незначно зростає до максимального значення порядку $W_a=17\text{...}18\%$ на глибині 6...7 см, а вологість грудочкуватого ґрунту не змінюється і знаходиться в межах 30%.

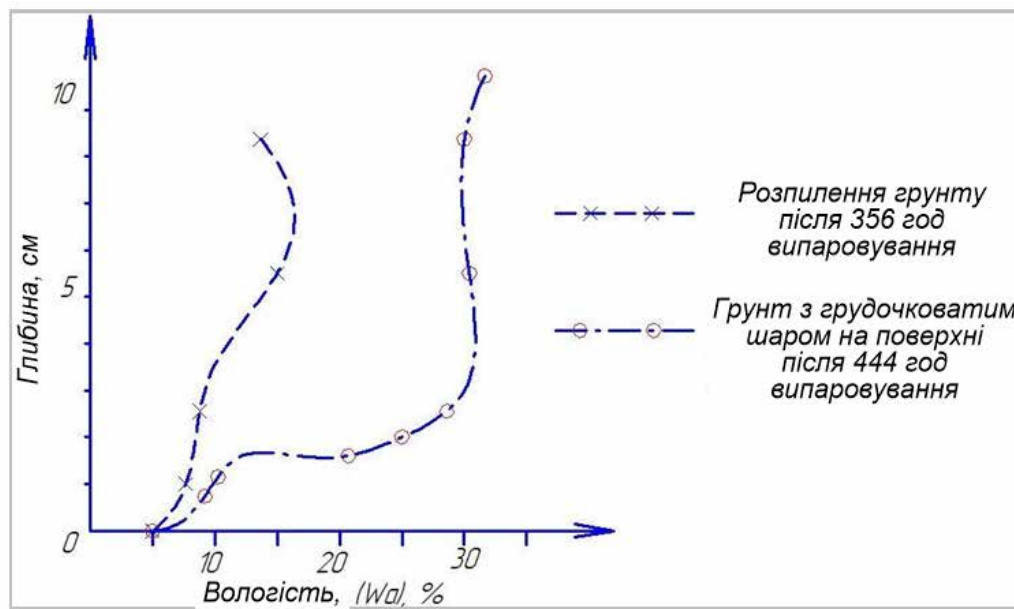


Рис. 1.4. Розподіл вологості в ґрунті по глибині після випаровування

Виходячи з цих даних, можна, можливо говорити о тому, що ефект зношування поверхні дисків сошників і налипання ґрунту на їх поверхню буде спостерігатися майже завжди, але з різної інтенсивністю, яка залежатиме від технологічних властивостей ґрунту, погодних умов, та режиму посівних робіт.

У загалом випадку ґрунт це пружно-в'язко-пластичне тіло. Із зміною тих або інших параметрів, наприклад вологості, відбувається зміна їх співвідношення. Так при сильному висиханні (зменшення вологості) ґрунт втрачає властивість в'язкості і набуває властивість крихкості. Серед найбільш значимих властивостей ґрунту що впливають на технологічний процес посіву можна виділити абразивність, твердість, липкість та її фрикційні властивості.

Абразивність, або властивість ґрунту при зношуванні робочих органів ґрунтообробних машин, яке залежить від механічного складу ґрунту, зміст в ній фізичного піску (глини). Наприклад, знос леміша при оранці 1 га: на глинистих та суглинистих ґрунтах від 2 до 30 г; суглинистих та супіщаних з невеликою кількістю

каменів – 30...100 г; піщаних з великим кількістю каменів - 100... 450 г.

Твердість визначається за допомогою твердомірів, які поділяють по принципом заглиблення в ґрунт. Лінійна деформація ґрунту дорівнює величині заглиблення наконечника в ґрунт h . Залежність P від h представляється в вигляді діаграми на рис. 1.5.

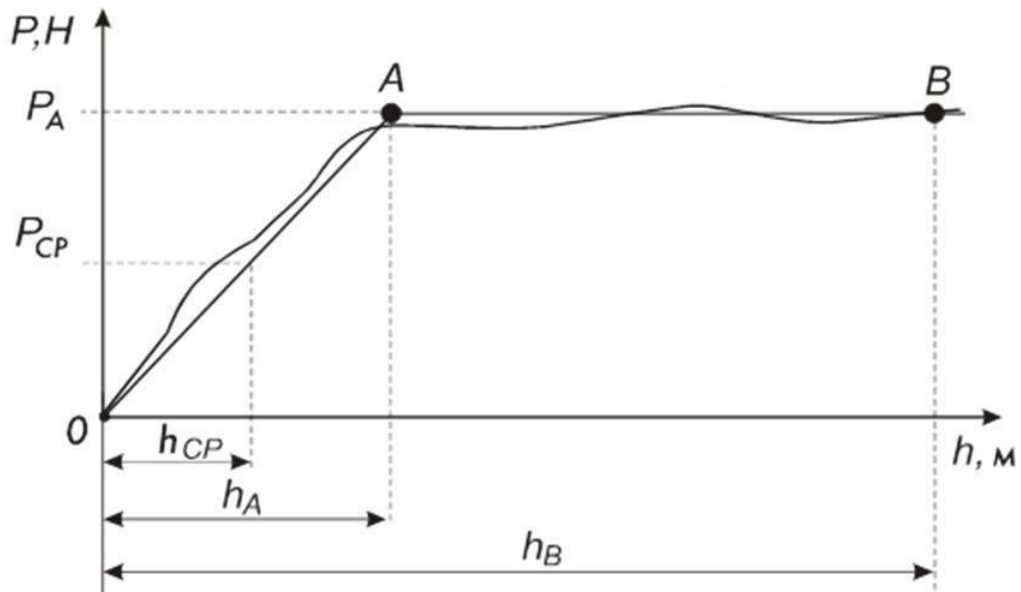


Рис. 1.5. Залежність сили опору ґрунту змінанню P від глибини заглиблення h .

Перша фаза має велике практичне значення, так як деформація ґрунту сільськогосподарськими машинами, як правило, не виходить за межі першого ділянки (OA) діаграми і відповідає середнім значенням P_{CP} при h_{CP} . Для дослідження твердості визначають коефіцієнт об'ємного змінання ґрунту:

$$g = \frac{P_A}{V}, \quad (1.7)$$

де P_A - сила опору ґрунту, яка відповідає точці

A - діаграми та глибині h_A , Н;

V - об'єм зім'ятою (витісненою) ґрунту, м³.

Коефіцієнт об'ємного змінання має наступні значення: свіжозораний ґрунт $g = 1...2 \cdot 10^6$ Н/м³; стерня та пара $g = 5...10 \cdot 10^6$ Н/м³. На показники твердості і коефіцієнта об'ємного змінання ґрунту значний вплив має вологість, при її збільшенні твердість і коефіцієнт об'ємного змінання зменшується.

Фрикційні властивості здійснюють велике вплив на процеси взаємодії ґрунту з робочими органами машинно-тракторних агрегатів. Максимальне значення сила тертя F_{mp} досягає при ковзанні, коефіцієнт тертя f визначається по формулі:

$$f = \frac{F_{mp}}{N} = \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.8)$$

де φ - кут тертя, град.;

N - сила нормального тиску або реакції опори, Н.

f і φ – не постійні та змінюються залежно від механічного складу, вологості ґрунту, швидкості відносного руху, площі поверхні і її стану. Значення f знаходяться в інтервалі 0,25 ... 0,90, а φ - 14... 42 °. На тертя витрачається від 30 до 50% енергії, яке характер змінюється в залежності від абсолютної вологості ґрунту W_a .

Як показано на графіку рис. 1.6, при низькій вологості 0...10% ґрунт не прилипатиме до металу (відрізок ab) і коефіцієнт тертя f не залежить від вологості. на відрізку bc f збільшується, тобто. має місце налипання ґрунту на метал. При вологості 50 ... 80% ґрунт в більшою ступеня працює як мастило, тому f зменшується (відрізок cd). Якщо в складі ґрунту є фізична глина (частки менше 0,1 мм) буде відбуватися збільшення коефіцієнта тертя. Так, за наявності її складу до 10% – $f = 0,1 \dots 0,2$, а при 40% і вище – $f = 0,4 \dots 0,6$. *Липкість ґрунту*, або здатність її частинок прилипати і склеюватися, характеризується зусиллям G_L необхідним для відриву від ґрунту 1 м² сталеві поверхні:

$$G_L = \frac{P_{\text{відр}}}{S_0}, \quad (1.9)$$

де $P_{\text{відр}}$ - сила, необхідна для відриву диска від ґрунту, Н;

S_0 - площа диска, м².

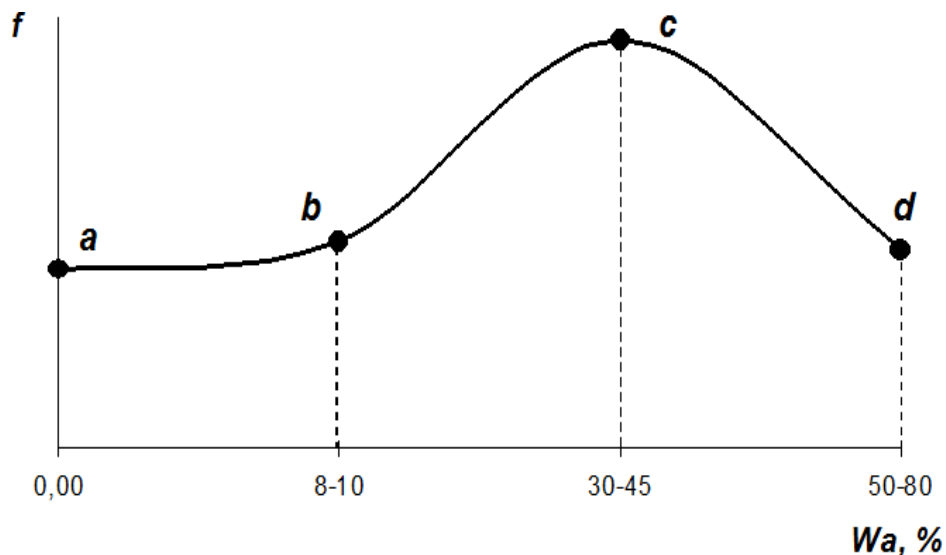


Рис. 1.6 – Залежність коефіцієнта тертя f від вологості ґрунту W_a .

Липкість ґрунту залежить від механічного складу (дисперсності), вологості, матеріалу робочої поверхні робітника органу і питомої тиску. З збільшенням дисперсності липкість зростає, тому глинисті ґрунту більше липкі, чим піщані і безструктурні більше липкі, чим структурні. З збільшенням вологості липкість спочатку зростає, а потім падає (рис. 1.7).

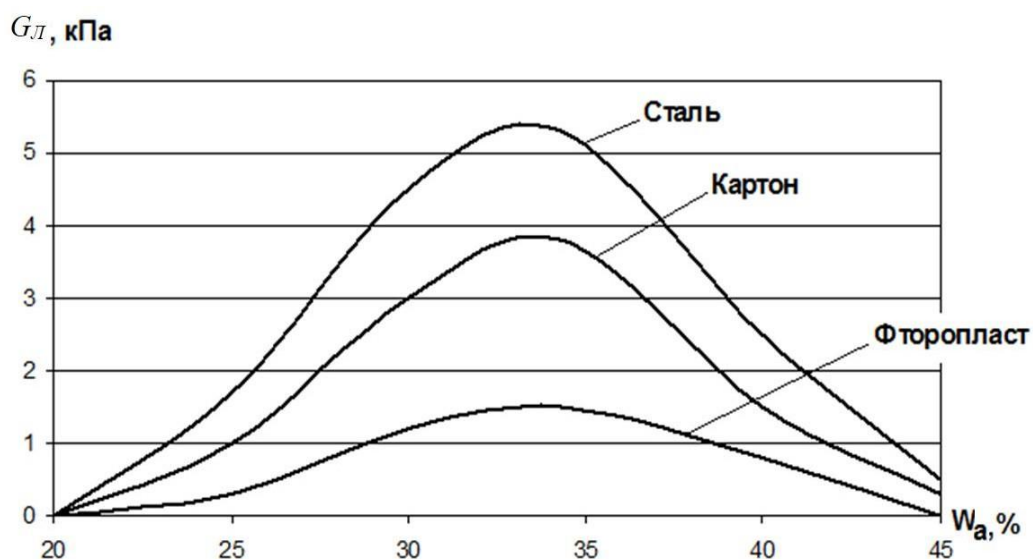


Рис. 1.7. Залежність тиску необхідного для зчищення ґрунту який прилипає до матеріалу

Як видно на графіку, ґрунт менше прилипає до неметалевих матеріалів, і цей ефект часто використовують при вдосконаленні конструкцій ґрунтообробної техніки.

ґрунт та його технологічні властивості мають значний вплив на

працездатність дводискових сошників зернових сівалок. При цьому визначальним властивістю ґрунту є її вологість. У різних діапазонах її значень змінюються енергетичні витрати технологічного процесу посіву (тяговий опір сошника), фрикційні характеристики ґрунту (інтенсивність зношування ріжучої кромки диска) і адгезія до взаємодіючим з ній поверхонь (налипання ґрунту на робочі поверхні дисків). Це пред'являє особливі вимоги до властивостям робочих поверхонь посівних машин, і в першу черга до дводискових сошників.

1.4. Огляд і аналіз заходів по відновлення роботоздатного стану дводискових сошників

Роботоздатності дискових робочих органів сільськогосподарських машин присвячений ряд відомих робіт.

Диски найбільш схильні до абразивного зношування, що призводить до зміни геометрії їх робочих поверхонь та надає суттєве вплив на технологічні процеси, виконувані ними. Найбільш інтенсивне зношування дисків відбувається на піщаних, супіщаних, а також щербенистих, кам'янистих ґрунтах.

Однак, в той час як є безліч даних по зношування робочих органів різної ґрунтообробної техніки, накопичено мало інформації по зношування дискових сошників зернових сівалок, а також в літературі відсутні рекомендації по прогнозування їх ресурсу і планового ремонту при різних умовах експлуатації.

Це підтверджується суперечливістю даних щодо зносостійкості дискових сошників, так різниця в даних при порівнянні різних досліджень складає порядку 100...300 га напрацювання до ремонту. Це можна, можливо пояснити різними умовами експлуатації, типами ґрунтів, погодними умовами та іншими, найчастіше випадковими, факторами. Тим не менше, необхідно отримувати більше даних для формування точних висновків.

За даними досліджень ресурс дисків сошників у перерахунку на одну сівалку складає 150...400 га (6...17 га на один сошник) залежно від умов експлуатації.

Автори іншого дослідження провели аналіз зношування дисків двох

сівалок СЗТ-3,6А. на момент виконання вимірювань напрацювання комплектів дисків складала 700 га (30 га на один сошник). За підсумками група дисків з граничним зносом понад 24 мм становила 73,8% і лише чверть усіх сошників можна, можливо було піддати стандартним відновлювальним заходам. Ці дані говорять про те, що напрацювання сівалки 700 га наводить до тому, що майже Усе диски сошників мають критичний діаметральний знос і суттєво впливають на працездатність сівалки.

На знос кромки диска також надає вплив якість застосовуваної її виготовлення стали (боровмісні, 45 і 65Г). Так по даними тих же вчених середня значення твердості по всім 96 шт. випробуваних дисків було близько 31 HRC, при максимальному її значенні 48,5 HRC. Що можна, можливо пояснити тільки низьким якістю вихідного матеріалу, технологічним шлюбом або порушеннями при експлуатації.

Рекомендоване кількість ремонтних розмірів для дисків сошників одно шести: 346+0,5; 342+0,5; 338+0,5; 334+0,5; 330+0,5; 326+0,5 (мм). Однак найчастіше в господарствах зношені диски заточуються до ремонтних розмірів: 340+0,5; 334+0,5; 326+0,5 (мм) (рис. 1.8).

Ремонт може проводитись і на інші три розміри, але з більшою похибкою до 2 мм, тому що технологічні значення фаски $h_f = 6...8$ мм і кута заточування $\theta = 20...25^\circ$ не завжди дозволяють своєчасно робити шість ремонтів однієї пари дисків. Таким чином, кількість ремонтів фактично скорочують до трьох, а план ремонтно-обслуговуючих впливів для дисків сошників можна, можливо уявити

Як видно з схеми на рис. 1.7 зношування діаметра дисків відповідає ремонтний розмір і ряд операцій по відновлення їх робото здатності чи утилізації. Усі операції поділяються на чотири види, два з яких можна, можливо рахувати капітальними ремонтами (наплавлення або приварювання кільця), а одна пов'язана з додатковим зміцненням. У решті ж застосовується стандартний метод заточування кромки диска (леза) до ремонтного розміру.

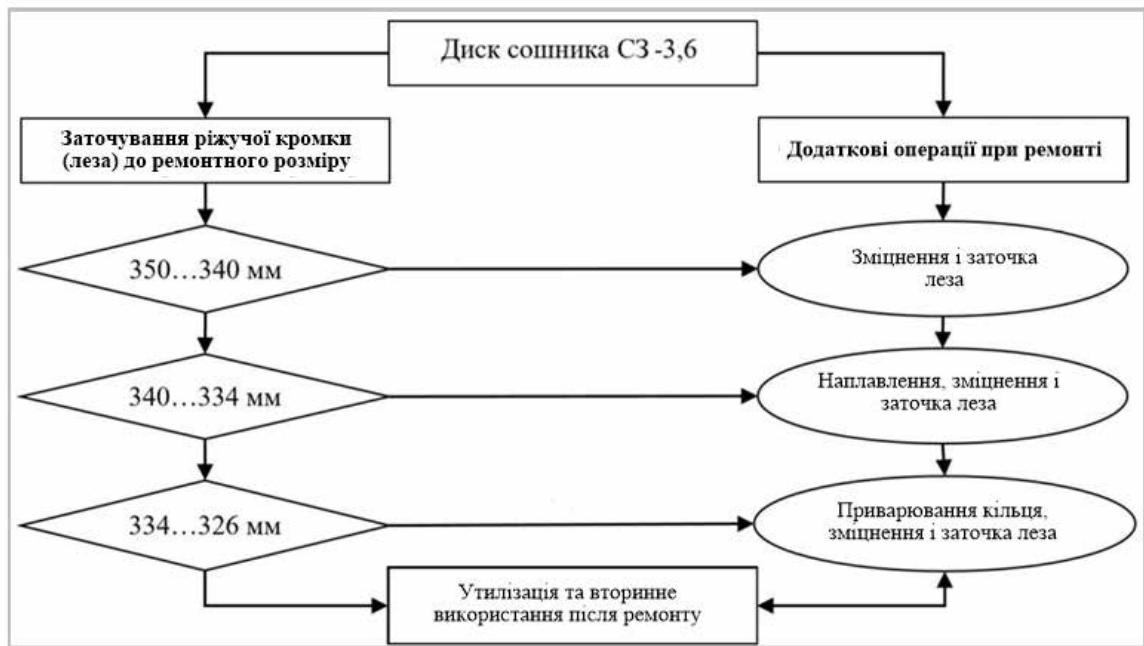


Рис. 1.8. Відновлювальні роботи при зношуванні діаметра диска

Зношування дисків по діаметру і збільшення зазорів в підшипниковому вузлі наводять до освіти зазору в точці сходження дисків, що не повинен перевищувати 2 мм у момент докладання зусилля стиснення з протилежного боку тоді сошники крупним планом близько 90% насіння на потрібну глибину. Порушення цього значення призводить до того, що тільки 43% насіння укладається на задану глибину при тих ж умов роботи.

Стандартний ремонт дисків сошника можна, можливо описати наступним чином. Диски зношуються за діаметром затуплюються і деформуються зазубрюються їх робочі ріжучі кромки, зношуються деталі з'єднання диск-вкладиш або підшипники, а також диск та гумовий ущільнювач (рис. 1.9).

Під час ремонту сошники після очищення дефектуються в зборі. У разі короблення більше 3 мм і зазорі більше 2 мм у точці сходження дисків сошник розбирають на пристрої.

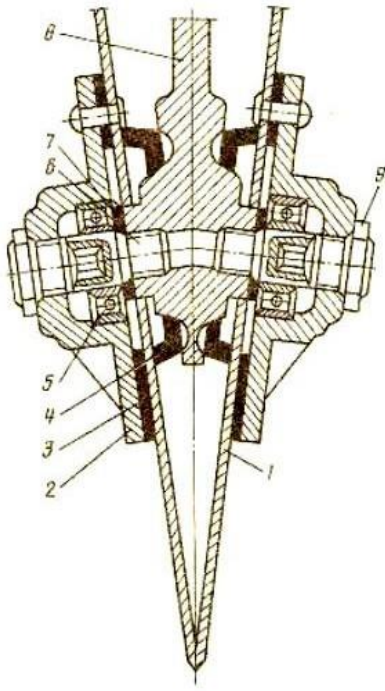


Рис. 1.9 – Сошник сівалки: 1 – диск,
2 – кришка, 3 – прокладка, 4 – гумовий
ущільнювач (сальник), 5 – підшипник,
6 – вісь, 7 – кільце, 8 – корпус, 9 – пробка

Диски рихтуються в холодному стан, або ударами молотка на плиті, або на установці, притискаючи їх до обертовим роликам або термофіксація. У останньому випадку їх слід зібрати в пакет між двома паралельними плитами, навантажити та помістити в електропіч. У печі їх необхідно нагріти до температури $450...480^{\circ}\text{C}$ і витримати протягом 4...5 годин. Потім диски потрібно наточити з зовнішньої сторони різцем на токарному верстаті (стиснути два диски) під кутом $18...22$ градусів до ширини фаски $6...8$ мм і товщини леза $0,1...0,5$ мм. Допускається змінання леза не більше чим в трьох місцях глибиною і довжиною не більше $1,5$ мм. Якщо ж підшипниковий вузол не потребує ремонту, диски у зборі заточуються при допомоги спеціального пристосування.

Наприклад, відремонтовані диски можуть мати наступні ремонтні розміри: перший – діаметром 342 ± 2 мм; другий – діаметром 336 ± 2 мм; третій – діаметром 328 ± 2 мм.

При збиранні для створення нормального зазору в точці сходження дисків встановлюється дистанційне кільце відповідної товщина. Для дисків, що мають діаметр 350 мм, воно має товщину 2 мм, для дисків діаметром більше 340 мм – $1,7$ мм, для дисків діаметром більше 334 мм – $1,4$ мм і для дисків діаметром більше 326 мм – $1,0$ мм.

У зібраному сошнику всі диски повинні бути одного ремонтного розміру з перекриттям лез не більше 4 мм, вони повинні провертатися від руки з зусиллям не більше 50 Н, не торкаючись корпус сошника, кромки направника та чистика (зазор не більше 2...3 мм). Вигин насіннепроводу більше 5 мм слід правити. Якщо бічні поверхні чистиків мають знос більше 5 мм, то вони підлягають вибракуванню.

Особливості ремонту дисків сошників необхідно враховувати при проведенні заходів по їх модернізації для збільшення роботоздатності (протидії налипанню ґрунту і зменшення часу роботи в умовах підвищеного зношування). Використання пропонованих рішень не повинно заважати проведенню кожного чергового ремонту диска до самого його вибракування і тим більше порушувати термінів проведення посівних робіт.

Крім зношування ріжучої кромки диска, порушення роботоздатності дводискових сошників може наступити в результаті налипання на них ґрунту. Для усунення налипання і повного залипання робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, у різний час у нас в країні та за кордоном, було запропоновано безліч способів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Аналіз відомих технологій, пропонованих різними дослідниками, дозволяє об'єднати їх по принципом "*Спосіб / Недолік*":

- *Механічний / Ускладнення конструкції і металомісткості;*
- *Змащення водою / Витрати води і часу на її підвід;*
- *Вилучення води електроосмосом / Робота на малій швидкості до 0,4 м/с;*
- *Повітряне змащування / Значне ускладнення конструкції;*
- *Вібрація / Не виправдовується енерговитратами на вібропривід;*
- *Застосування покриттів / Пошкодження і знос тонкого шару, вартість.*

Серед найбільш поширених способів боротьби з налипанням ґрунту на робочих органах сільськогосподарської техніки можна виділити механічні, тобто. зміна конструкції або додавання в її додаткових елементів. Для підвищення якості посіву насіння на перезволожених ґрунтах пропонується ввести в конструкцію дводискового сошника долото, стійку з наральником і

відбивач. А в роботах дослідників, різного роду нейлонових, металевих та інших чистиків, що очищають диски. Однак введення в конструкцію сошника великої кількості деталей збільшує металомісткість та економічні витрати його виготовлення.

Один з найбільш відомих способів створення граничних плівок між робочими поверхнями і ґрунтом - водяне мастило, яке здебільшого застосовувалася до корпусів плугів. За даними досліджень її застосування дозволяє знизити тягове зусилля на 30...40%, але така технологія економічно недоцільна, так як вимагає підвезення великої кількості води та великих витрат часу.

Застосування електроосмосу (перенесення води з ґрунту на робочі поверхні) показало, що його використання можливо і дає позитивний ефект при вологості ґрунту 24...26%, але тільки на низьких швидкостях руху – 0,2...0,3 м/с.

Аеродинамічне мастило (утворення газового прошарку між робочою поверхнею і пластом ґрунту) зменшує тертя ковзання ґрунту по металу та тягове зусилля. Але через конструктивну складність виготовлення таких робочих органів не застосовується. Для боротьби із залипанням і для зниження тягового опору плугів також використовувалася вібрація. Встановлено, що вібрація знижує тяговий опір на 40...65 % при амплітуді коливання 5 мм і частоті 20 Гц і мінімальної поступальної швидкості 0,6 м/с. Однак застосування вібрації не виправдовується енерговитратами на вібропривід корпусів.

Поруч інших випробувань також підтверджено, що застосування різних покриттів зменшує інтенсивність прилипання вологою ґрунту до металевим робітничим органам. Так, наприклад, при вологості ґрунту близько 25% використання на ковші екскаватора епоксидних композицій дає підвищення продуктивності на 10 ... 15%, а застосування водяний мастила знижує тягове зусилля на 11%, емульсійної – на 21%.

Для боротьби із залипанням робочих органів, налипанням на них ґрунту та зниження тягового опору застосовувалися покриття з бронзи, міді, хрому, скла, кераміки та інших конструкційних матеріалів. Вони до 35% знижують

ефект налипання ґрунту на поверхню робочих органів за рахунок своїх гідрофобних властивостей.

Найбільш ефективними при боротьбі з налипанням через підвищені гідрофобних властивостей є синтетичні матеріали. Наприклад, пропонувалося покривати робочі поверхні плугів у місцях найбільшого залипання поліетиленом, капроном, поліамідом, різними смолами, вініпласт, фторопластом і іншими пластиками, що значно знижувало липкість ґрунту до їх поверхні.

Однак технологіям нанесення покриттів властиві і дуже значні недоліки: підвищений знос тонкого шару матеріалу, низька удароміцність і збільшення вартості виготовлення.

З проведеного аналізу відомих технологій, спрямованих на забезпечення роботоздатності ґрунтообробної техніки в ґрунтах з підвищеною вологістю видно, що більшість з них спрямовано на модернізацію плугів. При цьому ці технології не завжди можна, можливо використовувати для інших сільськогосподарських машин. Вони збільшують металомісткість, конструктивно ускладнюють механізм і в більшості випадків не окупають витрат від їх застосування.

Пошук нових конструкційних матеріалів та способів їх нанесення на робочі поверхні дводискових сошників зернових сівалок дозволить підвищити надійність, якість і енергоефективність технологічного процесу при сівбі зернових та інших культур.

1.5. Аналіз способів застосування полімерних матеріалів для забезпечення роботоздатності робочих органів сільськогосподарських машин

Одним з перспективних напрямів є створення модернізованих конструкцій дводискових сошників, які б дозволили зменшити вплив змінних умов вологості ґрунту, мінливих погодних умов для запобігання зривам у строках посівних робіт і збільшити ресурс сошників за рахунок роботи на

грунтах з сприятливими технологічними властивостями.

Поступово накопичується позитивна практика, як покриття робочих органів ґрунтообробної техніки рідкими складами полімерів, так і виготовлення окремих або цілих частин із пластику, що значно знижує негативне вплив вологих ґрунтів на технологічні процеси ґрунтообробки і додатково може покращувати ущільнення утвореної ними борозни.

Досліди по застосування пластмас показали, що при вологості глини $W_a = 21\%$, тефлон має коефіцієнт тертя 0,25, чотирифтористий етилен з наповнювачем – 0,44, поліетилен високого тиску - 0,78, сталь - 2. При цьому тяговий опір плужного корпусу з пластмасовим покриттям на 23% нижче, чим у сталевому, яке залипання відсутня. Також покриття плуга поліетиленом Worblex-PE7473 дало зниження тягового опору плуга на 5,6...12,9%, в інтервалі швидкостей 6...10 км/год. Витрата палива також знижується на 6,1 ... 11% в порівнянні з плугами зі сталевими корпусами. Знижуються експлуатаційні витрати на 2%; витрата палива на 7%. Вироблення плуга з пластиковим покриттям Worblex-PE7473 складає близько 120 га. Експерименти, при оранці липких ґрунтів з допомогою плугів, відвали яких покриті тонкою пластмасовий плівкою показали, що найбільшу довговічність мають тефлон (90...120 га) та суміш келону з деякими похідними тефлону (160 га), а налипання ґрунту до ним не було.

В ряді робіт описані плужні корпуси з відвалами, виготовленими з поліаміду, фторопласту, поліетилену П4009, емаллю Т-2 і каолін. Зазначено, що ці покриття знижують тяговий опір на 10...30%, в залежності від типу ґрунту в діапазоні швидкостей 6...14 км/год. Коефіцієнт тертя f емалей і полімерних матеріалів, а також стали з поверхневий чистотою 12 при взаємодії з ґрунтом знаходиться в межах 0,12...0,38, а у стали з чистотою поверхні 4 в 2 рази більше – 0,38...0,8.

Дослідженнями по визначенню липкості поліетилену і фторопласту-4 до різних типів ґрунтів встановлено, що найменшою силою відриву (у 2 рази менше, ніж у сталі) має фторопласт-4, а поліетилен відстає від нього незначно.

Найбільш цікавим є дослідження, проведене на вилуженому чорноземі суглинистого механічного складу. Авторами вивчалось налипання ґрунту на модернізовані диски сошників на відвальному обробленому тлі при швидкостях 1,9...3,5 м/с вологості ґрунту $W_a = 24,3.. 26,8\%$. Більше всього ґрунт прилипла до сошникам серійного виробництва – 0,7 кг, на сошники з пентопластовим напиленням налипало порядку 0,55 кг, з фторопластовим – 0,16 кг і поліетиленовим – 0,38 кг. Зі збільшенням швидкості залипання всіх сошників зменшувалося. У всіх випадках налипання ґрунту на диски сошників відбувалося з зовнішньої сторони, утворюючи нарост конусної форми, що в результаті призводило до зміни геометрії робочої поверхні сошника і тертя ґрунту о ґрунт. З збільшенням вологості до $W_a = 28...30\%$ серійні сошники ставали практично непрацездатними.

Як видно з проведеного вище аналізу, через свої специфічні властивості найбільше поширення отримали такі полімерні матеріали як фторопласт та поліетилен. Вони можуть піддаватися повторній переробці з збереженням основних властивостей. Густина поліетилену в 2,2...2,6 рази менше, ніж у фторопласту, що полегшує вагу конструкцій з нього. Також фторопласт має холоднотекучість, що наводить до зміни геометрії робочого органу при навантаженнях понад 3 МПа, а це не відповідає вимогам до ґрунтообробним робітничим органам, функціонуючим при твердості пласта до 4...6 МПа.

Проведене лабораторією нових матеріалів дослідження відносної зносостійкості пластмас показало, що фторопласт-4 - 1,6 раз більше стійок до зношування, чим поліетилен. Однак іншими дослідженнями, де проводилося експериментальне визначення зношування різних видів трубного поліетилену (ПЕ 80, ПЕ 100 та ін.) шліфувальній шкірці, встановлено середнє значення зношування 3,1...3,8 мм³/м, що менше чим у поліуретану 6,4 мм³/м, епоксидний смоли 8,3 мм³/м, полістиролу 9,7 мм³/м та фторопласту – 4-18 мм³/м, тобто за цими даними поліетилен до 4,7 раз більше зносостійкий чим фторопласт-4.

Більше низькі показники міцності фторопласту по порівнянні з надвисокомолекулярним поліетиленом (НВМПЕ, англ. Ultra-high molecular

weight polyethylene, UHMWPE), підтверджуються дослідженнями М.М. Московського, за цим даними відносна зносостійкість НВМПЕ в 6,7 раз вище, чим у фторопласту при інших рівних умовах.

Цікаві дослідження по застосування НВМПЕ для робочих органів ґрунтообробних машин були виконані колективом вчених. Вказаний полімер монтували в локальних зонах зношування та області підвищеного тертя робочого органу для пошаровий безвідвальної обробки ґрунту, що забезпечило зниження тягового опору на 18,3% та покращення якості кришення пласта на 6,8...10,4% (рис. 1.10).

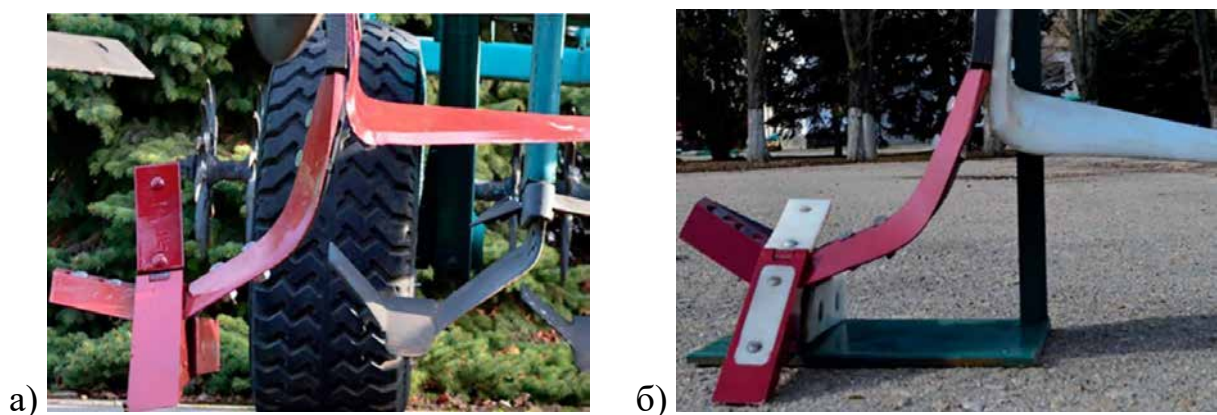


Рис. 1.10. Робочий орган для пошарового безвідвального обробку ґрунту:

а) – без пластика; б) – з пластиком НВМПЕ

Одним з відомих типів виробництва НВМПЕ є PE-1000 та його більше економічний аналог PE-500, які мають великий ударостійкістю та зносостійкістю щодо утворення зазубрин, а також мінімальним коефіцієнтом тертя при ковзанні.

Можливість застосування НВМПЕ замість фторопласту також підтверджується при порівнянні відомих властивостей цих двох полімерних матеріалів (Таблиця 1.2).

З таблиці видно, що руйнівні зусилля на стиск у НВМПЕ 10 раз вище, чим у фторопласту при інших показниках одного порядку. НВМПЕ PE-1000 і PE-500 були розроблені для того, щоб мати можливість витримати самі високі навантаження в течія тривалого період використання.

Порівняльні властивості фторопласту і НВМПЕ

Вид полімерного матеріалу	Водопоглинання, %	Коеф. тертя	Робочі температури, °С	Твердість по Шору, D	Руйнівна напруга, МПа		
					розтягування	стиск	згин
Фторопласт (Ф4)	менше 0,01	0,1	-260 ... +260	55...59	35	12	18
НВМПЕ (PE - 500)	0,01 ... 0,05	0,1	-100 ... +80	66	21	100	28
НВМПЕ (PE - 1000)	0,01 ... 0,05	0,1	-260 ... +80	64	21	100	20

Матеріал має вкрай високу стійкість до зношування, низьким коефіцієнтом тертя та підвищеною ударною в'язкістю, що дає можливість замінювати їм метали, у тому числі: сталеві сплави, бронзу та низку інших, а також такий дорогий матеріал, як фторопласт. Так, за зносостійкістю НВМПЕ при допустимих для нього температурах експлуатації і деяких абразивах перевершує тefлони і навіть вуглецеві сталі. Коефіцієнт тертя НВМПЕ (по сталі) – близько 0,1. Коефіцієнт ударної в'язкості – 170 кДж/м² (з надрізом – до 80 кДж/м²), робочі температури – від мінус 260°С до плюс 80°С. Він має дуже низьким для органічних полімерних з'єднань водопоглинанням, в межах 0,01...0,05%, що говорить про надзвичайно низьку адгезію до будь-яких матеріалам. Все це робить НВМПЕ ідеальним матеріалом для футерування бункерів та жолобів, вирішення проблем налипання, комкування, освіти засорів. Матеріал має дуже високу межу міцності при згині та не виявляє тенденції до освіти тріщин при нарузі.

Виготовляється НВМПЕ PE-1000 і PE-500 в вигляді листів і плиток. Недоліком при їх застосуванні є низька адгезія, що ускладнює кріплення на сталеві і інші поверхні стандартними способами, застосовуваними для полімерів (нанесення теплопроменеві, вихровим, вібраційним, струминним, газополум'яним, електростатичним напиленням, відцентровим методом, пресуванням, литтям під тиском і т.п.).

Незважаючи на вищесказане, НВМПЕ не використовувався раніше для

модернізації дводискових сошників зернових сівалок, що можна, можливо пояснити високою ціною, відсутністю опрацьованої експериментальної бази і яких або досліджень в даному напрямі, а також через того, що не завжди можна забезпечити надійне кріплення НВМПЕ на робочі поверхні сільськогосподарських знарядь.

Тим не менш, виходячи з відомих даних та проведеного в розділі аналізу по вдосконалення ґрунтообробних робочих органів сільськогосподарських машин різними полімерними матеріалами, можна визначити основні способи застосування поліетилену НВМПЕ для модернізації дводискових сошників і порівняти їх переваги і недоліки щодо стандартного варіанти.

Таблиця 1.3

Застосування полімерних матеріалів для вдосконалення процесу посіву
дводисковими сошниками

Диски сошника	Використання	Переваги	Недоліки
Стандартні з лакофарбовим покриттям	-	прості в експлуатації та ремонті	робота в обмежених умовах (фізична стиглість ґрунту, тобто вологість 12...23%)
Напилене полімерне покриття	проти дія налипанню ґрунту	збільшує надійність роботи при підвищені вологості ґрунту	тонке покриття ушкоджується і швидко зношується
З полімерними накладками закріпленими механічно	працездатність у змінних умовах вологості ґрунту	надійність роботи у вологому ґрунті та можливість роботи в сухий	забивання частинок ґрунту між накладкою і диском
З полімерними накладками приклеєними до диску			можливість відриву поверхні при експлуатації
Виготовлені з полімерів частково або повністю			крихкість конструкції
Кріплення комбінованими способами (механічний і клейовий та інші)			більш дорожка технологія

Як видно з таблиці 1.3, є кілька варіантів застосування полімерних матеріалів. У залежності від застосовуваної технології вдосконалення дводискових сошників будуть виникати додаткові роботи та витрати. До таких можна віднести витрати часу на переобладнання стандартного сошника, на покупку додаткових матеріалів і інші. Також необхідно чітко розуміти, що

дозволяє робити модернізований дводисковий сошник по порівнянні зі стандартним його варіантом і яку вигоду отримає підприємство від цього удосконалення.

Тим не менш, використання НВМПЕ для модернізації дводискових сошників зернових сівалок представляє практичний інтерес, є актуальним науково-технічним завданням і потребує окремого опрацювання в рамках теоретичних, експериментальних досліджень, і техніко- економічною оцінки.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДВОДИСКОВИХ СОШНИКІВ

2.1. Підвищення надійності роботи дводискового сошника

Розглянемо дводисковий сошник зерновий сівалки, розглянемо (стандартний) дводисковий сошник сівалки по методиці запропонованої А.Т. Лебедєвим. У відповідно з цією методикою для вдосконалення технологічного процесу посіву та розробки основ збільшення довговічності та ефективності роботи машин у змінних умовах вологості ґрунтів, дводисковий сошник зерновий сівалки розглядається як самостійна складна технічна система (рис. 2.1).

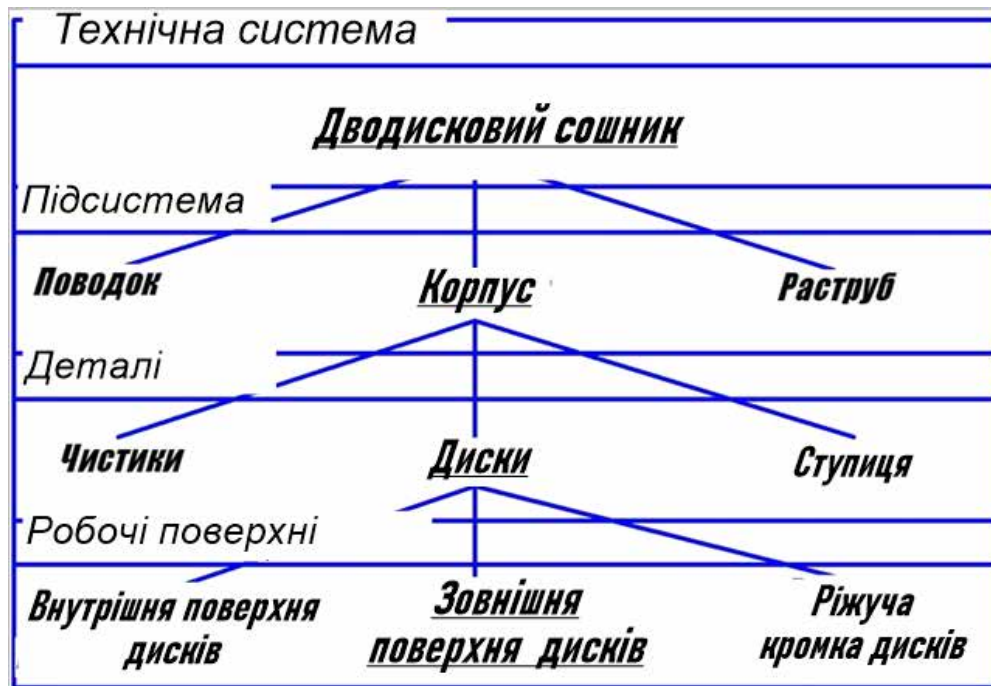


Рис. 2.1. Ієрархічна схема дводискового сошника

Технічна система «Дводисковий сошник» представлена ієрархічною схемою та розділена на її основні на підсистеми, деталі та робочі поверхні. Найбільший вплив на надійність технологічного процесу посіву зернових культур здійснюють нижчі елементи схеми – внутрішня і зовнішня поверхні дисків і їх ріжучі кромки. Ці робочі поверхні безпосередньо контактують з ґрунтовим шаром, здійснюючи закладення насіннєвого матеріалу, визначають

форму та ущільнюють дно створюваної борозни, а від стабільності їх безперервний роботи в заданих режимах (швидкість, глибина ходу тощо) залежить від рівномірності висіву зерна.

Таким чином, цільове призначення робочих поверхонь дисків сошника – формування ними борозенки для закладення насіння на встановлену глибину, при різних умовах вологості ґрунту, з збереженням заданої якості та надійності процесу.

Виходячи з описаного, можна, можливо стверджувати, що диски сошника одночасно виконують функцію розрізання (формування борозни), транспортування та ущільнення (зсуву ґрунту в сторони від утвореного борозни та ущільнення її дна та схилів) певного об'єму ґрунтового шару, за рахунок чого створюються сприятливі умови для закладення насіннєвого матеріалу на потрібну глибину. Тому диски сошника можна, можливо назвати багатофункціональними робочими органами, визначальними якість, ефективність і надійність посівних робіт.

Визначимо основні причини викликають відмови при працездатному стані технічної системи «Дводисковий сошник».

Надійність роботи сошника знижується при погіршенні характеристик загострення по кола диска внаслідок зношування об сухий ґрунт або деформації об сторонні предмети, контакт кромки дисків із шаром ґрунту відбувається нерівномірно, що збільшує енерговитрати на виконання технологічного процесу. Для відновлення роботоздатності необхідно проводити своєчасне заточування дисків до ремонтних розмірів або замінювати їх на нові

Одночасно з цим, при підвищеній вологості ґрунту $W_a \approx 20\%$ починають відбуватися відмови, пов'язані з порушенням борозноутворення та рівномірності висіву через налипання ґрунту на диск, а при вологості вище 24% диски сошників настільки залипають ґрунтовым шаром, що посів неможливо вести зовсім.

Аналіз, проведений в 1 главі, показав, що застосування надвисокомолекулярного поліетилену (НВМПЕ) для модернізації дводискових

сошників зернових сівалок може забезпечити їх працездатність як при роботі на перезволожених ґрунтах, так і при використанні на підсушених полях. Тому для забезпечення роботоздатності дводискових сошників на ґрунтах різної вологості пропонується модернізувати дводисковий сошник, за рахунок виготовлення робочої поверхні диска з НВМПЕ.

Для встановлення всіх факторів, що впливають на оптимальну працездатність модернізованого дводискового сошника зерновий сівалки, і можливих напрямів по підвищенні ефективності і надійності технологічного процесу посіву, підсів, пересівання і підгодівлі розглянемо його роботу більш детально.

2.2. Напрями із забезпечення роботоздатності дводискових сошників зерновий сівалки

До умов нормальною роботоздатності дисків сошника можна, можливо віднести фізичну стиглість ґрунту, безперешкодне обертання дисків, гладку та пофарбовану поверхню дисків та своєчасне обслуговування, і налаштування агрегату. Таким чином, виходячи з цих умов, можна виділити напрями щодо забезпечення роботоздатного стану дводискових сошників зерновий сівалки (Рис. 2.2).

Як видно основними проблемами при експлуатації дводискових сошників є: знос і затуплення ріжучою кромки, налипання ґрунту та порушення заводських конструктивних характеристик та режимів роботи, що тягне за собою збільшення енергетичних витрат, пов'язаних з підвищенням тягового опору.

Аналіз схеми рис. 2.2 разом із проведеним теоретичним аналізом технологічної системи «Дводисковий сошник» дозволяє говорити о тому, що більшість виникаючих проблем можна, можливо вирішити створенням надійною зовнішньої робочої поверхні диска з НВМПЕ. Така поверхню, мабуть, повинна мати поряд особливих властивостей:

- підвищена зносостійкість в змінних умовах навколишнього

середовища;

- протидія налипанню перезволоженою ґрунту;
- тривалий збереження властивостей покриття в сухий ґрунті, абразивний і агресивного середовища.



Рис. 2.2. Напрями забезпечення работоздатності дводискового сошника зерновий сівалки

За способом застосування модернізованих сошників можна уявити три варіанти:

- постійне використання 1 комплекту дисків з полімерним покриттям;
- використання 2 комплектів дисків, полімерним покриттям для перезволоженою ґрунту і стандартний для звичайних умов експлуатації;
- використання тільки стандартного комплекту дисків.

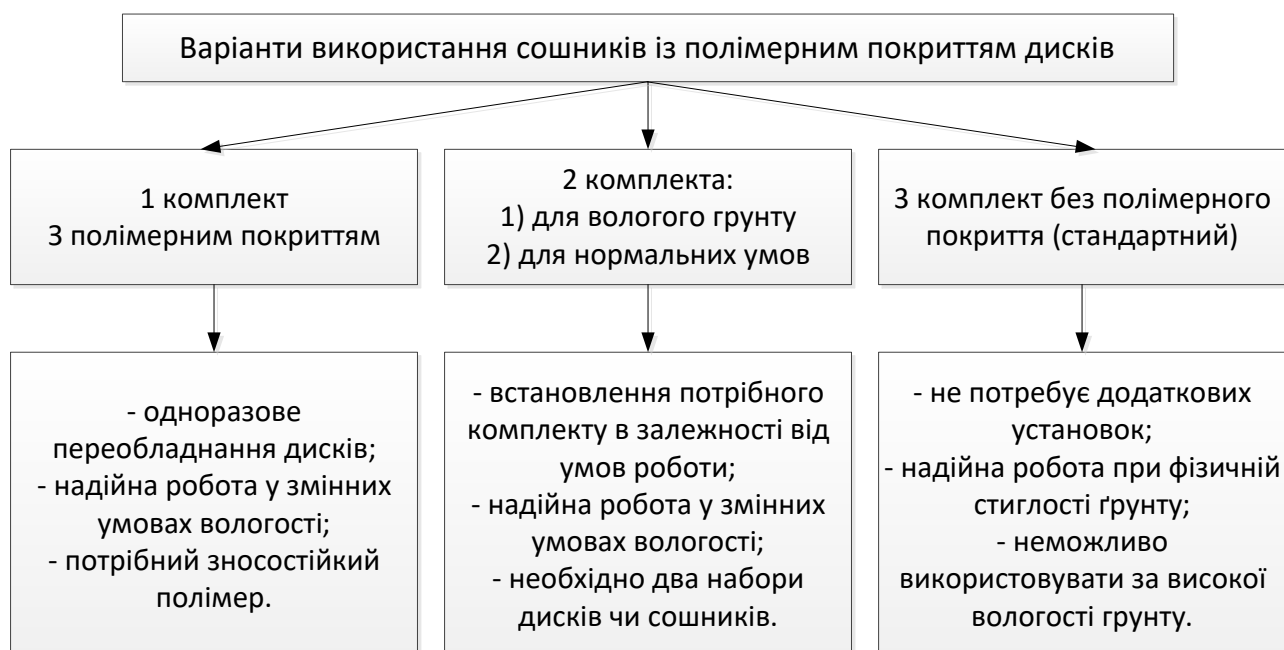


Рис. 2.3. Способи застосування полімерного покриття при модернізації дводискових сошників

Виходячи з цього, можна, можливо побудувати схему ефективності використання одного з трьох запропонованих варіантів. З схеми на рис. 2.3 видно, що кожен з варіантів експлуатації різниться по декільком важливим для посівних робіт факторів:

- час установки перед посівом;
- час роботи і універсальність;
- надійність і якість посівних робіт;
- вартість додаткових матеріалів і обладнання.

Найбільш кращий варіант, коли використовується один комплект з полімерним покриттям, яке буде забезпечувати, як високу гідрофобність, так і мати підвищену зносостійкість.

Як було описано в першій главі, НВМПЕ РЕ-1000 і РЕ-500 задовольняють цим вимогам, але є обмеження при кріпленні таких поліетиленів до поверхні диска. Вони поставляються в вигляді листового прокату, який необхідно кріпити клейовими складами або механічним способом.

2.3. Модернізація дводискового сошника покриттям з НВМПЕ

У патенті нами пропонується дводисковий сошник (рис. 2.4) для висіву насіння, що складається з повідця 1, з'єднаного з корпусом 2, встановлених на ньому двох плоских дисків 3 під кутом один до одного з ріжучими кромками з можливістю їх обертання, розміщених між ними чистиком 4 для очищення внутрішніх площин диска, розтрубом 5 для подачі насіння і ступицями 6, виступаючими до назовні дисків 3, причому на кожен плоский диск ззовні встановлена суцільна осесиметрична захисна накладка 7 з гідрофобного та зносостійкого матеріалу з центруючими ребрами 8 навколо маточини, одягнена на маточину і закріплена до диску кліпсами 9 з головками потай з внутрішньої сторони, для чого в захисній накладці 7 і 3 дисках влаштовані отвори 10 і 11 відповідно необхідних діаметрів та форми.

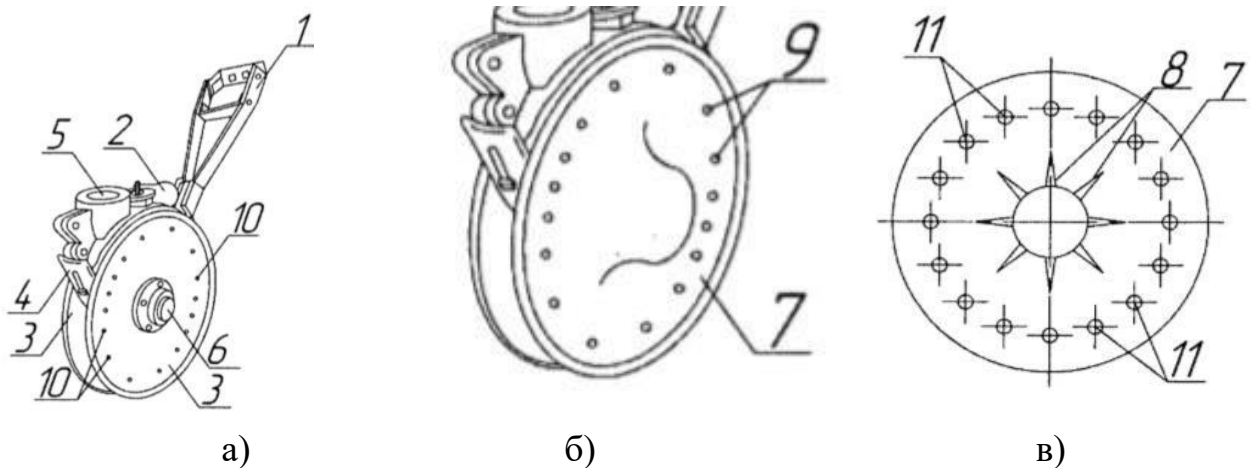


Рис. 2.4. Схема модернізованого дводискового сошника:

а) загальний вид сошника; б) вид бічної накладки диска; в) точки механічного кріплення накладки

Для перевірки роботоздатності накладки із НВМПЕ та обґрунтування її параметрів приймемо деякі припущення виходячи з особливостей реальною експлуатації дисків сошника. Для забезпечення жорсткості конструкції модернізованого сошника на першому етапі дослідження, замінимо знімну поверхню на нерухомо закріплену. При цьому, замість більше складних в виготовлення кліпс, застосуємо механічне кріплення, наприклад, заклепки. Така

фіксація, на наш погляд, усуне рухливість самої поверхні та точок її кріплення до диска, що має забезпечити відносну постійність конструктивних та геометричних параметрів елементів модернізованого диска сошника (диска і накладки). Крім того, при забезпеченні нерухомості накладки усувається можливість влучення ґрунту між диском і накладкою.

Виходячи з поданих припущень та вимог, виконаємо розрахунок основних конструктивних і технологічних параметрів, які необхідно забезпечити при проведенні модернізації дисків сошника. Розглянемо схему модернізованого сошника, представлену на рис. 2.5. Для забезпечення основного призначення сошника, – розрізання ґрунту і освіти борозенки, накладка модернізованого сошника не повинна закривати ріжучу крайку диска і повинна перешкоджати проникненню ґрунту між ними. Для забезпечення ремонтпридатності модернізованого диска задаємося умовою, що кріплення накладки здійснюється тільки при проведенні модернізації.

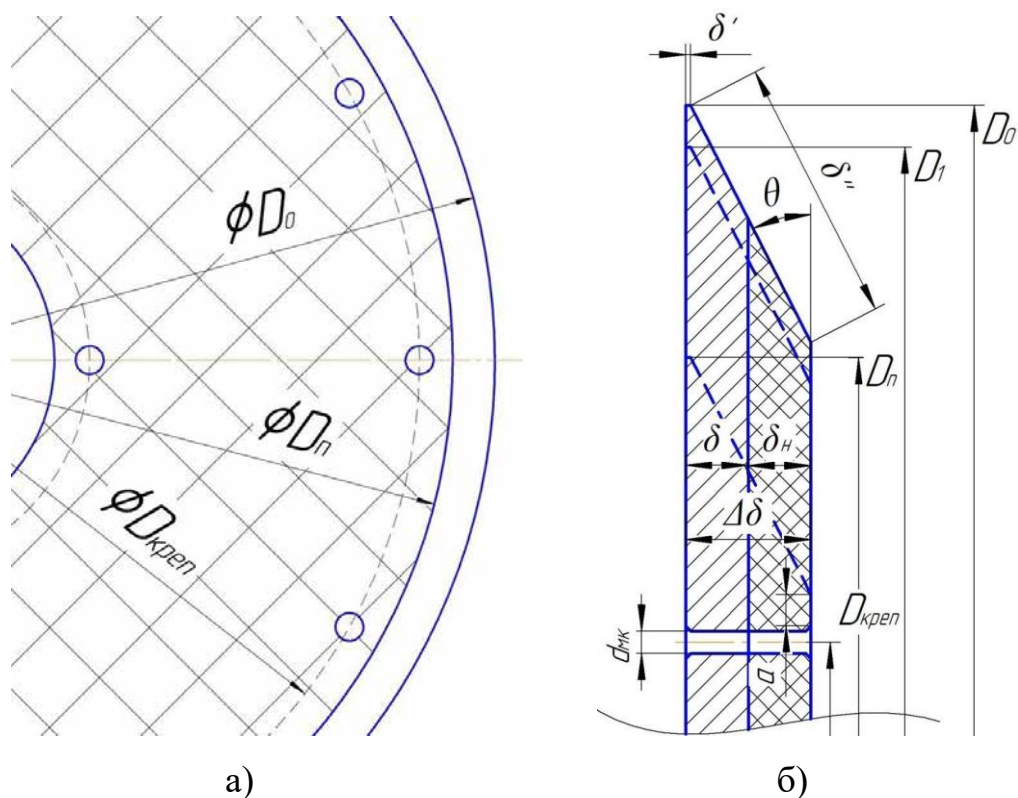


Рис. 2.5. Схема фрагментів лицьової (а) та профільної (б) частин модернізованого диска

Як видно з рис. 2.5, механічні кріплення розташовуються по діаметру диска $D_{міц}$, Котрий повинен бути менше $D_{п}$, гранично допустимого по технічним умовам розміру, враховувати товщину накладки $\Delta\delta$, необхідну геометрію ріжучої фаски (δ' – загострення та δ'' – ширина) і розміри кріпильних елементів заклепок.

Тоді, теоретичний діаметр $D_{міц}$ визначимо з наступного нерівності:

$$D_{міц} \leq D_{п} - d_{мк} - \Delta\delta \cdot ctg\theta - 2a, \quad (2.1)$$

де $d_{мк}$ – діаметр механічного кріплення, м;

a - технологічний припуск, м.

Таким чином, при $D_{п} = 326$ мм, $d_{мк} = 6$ мм, кути загострення $\theta = 20^\circ$, ширині диска $\delta = 2,5$ мм, ширині накладки $\delta_n = 3$ мм та $a = 2$ мм, діаметр кріплень повинен бути $D_{міц} \leq 310,9$ мм. Приймаємо $D_{міц} = 310$ мм.

Також важливо визначити кількість механічних кріплень $n_{кріп}$ для надійного прилягання поверхні із НВМПЕ до диска сошника по діаметру $D_{кріп}$. Ймовірно, що при поступовому нарощуванні кількості кріплень буде виявлено їх оптимальне кількість $n_{копт}$, після якого додаткова встановлення кріплень буде не доцільною (рис. 2.6).

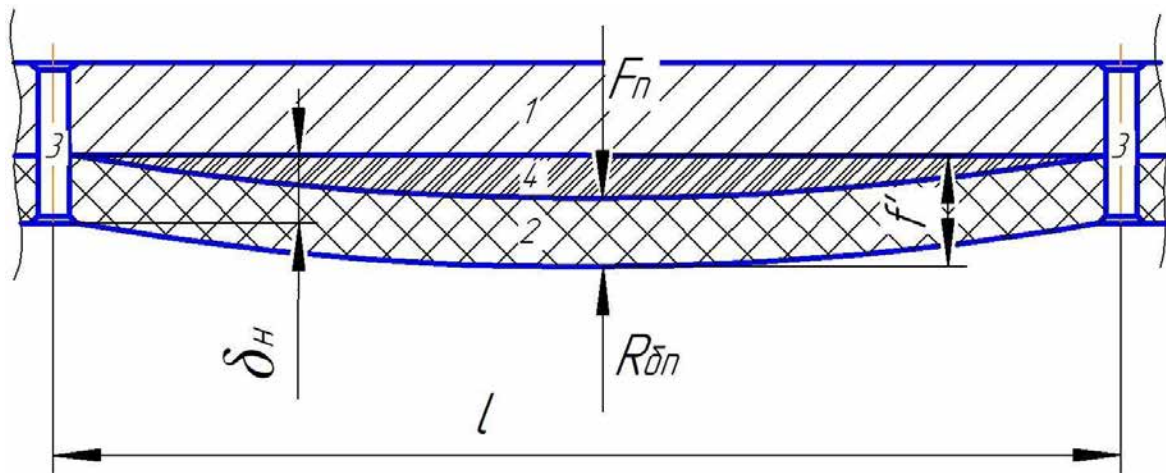


Рис. 2.6. Схема проміжної зони кріплень 3 накладки 2 до диска 1 у вигляді балки, що прогинається, з-за ґрунту 4 на кордоні між диском і накладкою НВМПЕ

На схемі рис. 2.6 видно, що в процесі роботи модернізовані диски сошників зернової сівалки випробовують на своїй зовнішньої поверхні сили

опору ґрунту $R_{\text{ґп}}$. При цьому це опір в першу чергу сприймається накладкою із НВМПЕ та буде збільшуватися при збільшенні глибини обробітку ґрунту, а також від фізичних властивостей ґрунту. При роботі модернізованого сошника можуть виникати умови здатні відігнути накладку і утворити Проміжок, в який буде потрапляти ґрунт, що підсилює ефект, що розклинає. При цьому, як здається, буде необхідна певна критична величина сили $F_{\text{п}}$ для прогину f' накладки, яку можна розглядати як пружну балку. Величина прогину і порушення герметичність з'єднання по периметру диска визначатиметься параметрами накладки та в першу черга відстанню між кріпленнями l .

Для визначення зусилля $F_{\text{п}}$, необхідного для створення заданого прогину накладки між місцями її кріплення по діаметру $D_{\text{міц}}$ змодельємо різні варіанти модернізації дводискових сошників. Для цього скористаємося відомою формулою для розрахунку максимального прогину балки f' з теорії опору матеріалів, перетворивши її для визначення $F_{\text{п}}$:

$$F_{\text{п}} = \frac{48EI_x f'}{l^3}, \quad (2.2)$$

де E – модуль пружності, МПа;

I_x – момент інерції для прямокутного поперечного перерізу, мм⁴;

l - відстань між точками кріплень, мм

Використовуючи це вираз, нами були отримані графіки залежностей зусилля $F_{\text{п}}$, з урахуванням прогину $f' = 0,001$ м (рис. 2.7).

З графіка, видно, що зусилля для прогину накладки, яка закріплена по діаметру кріплень $D_{\text{крп}}$ через кожні $l = 0,04$ м, або за 24 точках кріплення в середньому до 8 разів більше у порівнянні з $l = 0,12$ м (12 точок кріплення). Так, наприклад, при 40 точках кріплення ($l = 0,024$ м) при товщині накладки $\delta_{\text{н}} = 1$ мм (0,001 м) для прогину її на 1 мм необхідно зусилля $F_{\text{п}} = 23,3...36,6$ Н, а для прогину на 2 мм в 2 рази більше - $F_{\text{п}} = 46,6...73,3$ Н для НВМПЕ РЕ-500 та НВМПЕ РЕ-1000 відповідно.

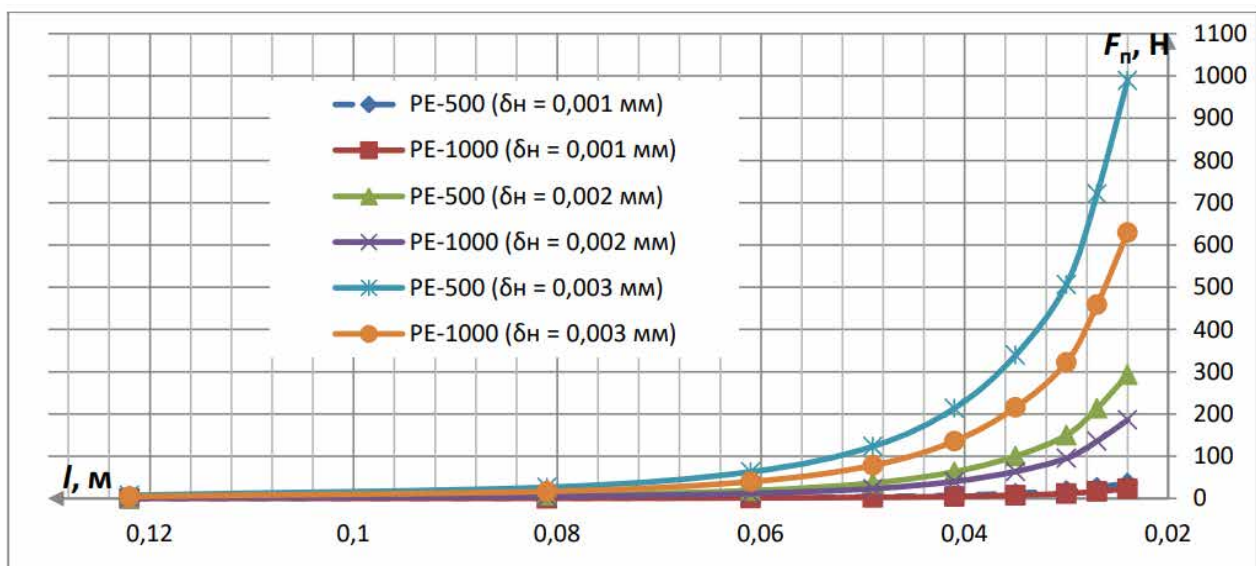


Рис. 2.7. Графік залежностей зусилля F_n при прогинанні $f' = 0,001$ м різної товщини накладки δ_n від відстані l між кріпленнями

Таким чином, краще використовувати НВМПЕ PE-500 товщиною не менше $\delta_n = 3$ мм, оптимальний діаметр розташування точок її кріплення $D_{\text{крп}} = 310$ мм із відстанню з-поміж них $l = 38...42$ мм. Ці параметри гарантовано забезпечують багаторазовий запас зусилля притискання накладки до диску по всьому периметру і гарантовано виключають можливість влучення ґрунту між диском і накладкою. Дані теоретичні розрахунки необхідно перевірити в рамках експериментальних досліджень.

2.4. Теоретична модель підвищення ресурсу модернізованого дводискового сошника

Характер впливу ґрунту з робочими поверхнями дводискового сошника зернової сівалки має визначатися експериментально та буде залежати від цілого ряду кліматичних умов і фізико-механічних властивостей ґрунту, та зовнішньої поверхні диска.

Можливість обробки ґрунту при вологості вище фізичної стиглості дозволяє розпочинати посів зернових культур у більш ранні терміни. При цьому податливий вологий ґрунт, незважаючи на більш високу щільність і монолітність буде сприяти якісному освіті борозни.

Об'єднуючи дані 1 глави та теоретичний аналіз, проведений вище можна, можливо графічно зобразити, як використання модернізованих сошників з накладками з НВМПЕ дозволяє збільшити їх напрацювання.

Вологість ґрунту змінюється протягом сезону у досить великому діапазоні і во багато в чому залежить від кількості опадів і інтенсивності випаровування вологи з поверхні ґрунту. Однак, керуючись даними наданими господарствами України, що займаються обробітком зернових сільськогосподарських культур, за кількістю опадів та початком посівних робіт за 2021, і 2022 роки, порівняємо працездатність дводискових сошників (рис. 2.8).

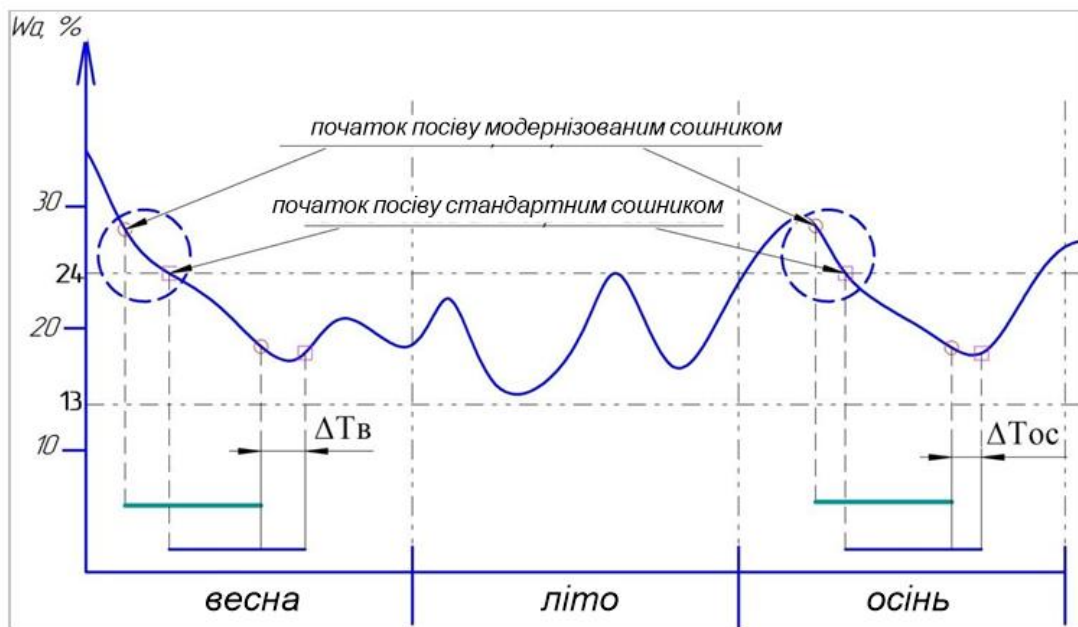


Рис. 2.8. Періоди експлуатації серійного та модернізованого дводискового сошника в протягом сезону

Як показано на графіку малюнка модернізований дводисковий сошник дозволяє починати посів зернових культур в більше ранні терміни при $W_a \approx 25...28\%$, ніж стандартний сошник при $W_a = 24\%$. При цьому, завершення посівних робіт відбувається з різницею во часу, як в весняний на період ΔT_B , так і в осінній – ΔT_{OC} . Причому в ці періоди часу стандартний сошник працює при $W_a < 15\%$, то є при підвищеної інтенсивності зношування, а модернізований весь час працює при нормальною інтенсивності зношування.

Таким чином, використання модернізованого сошника дозволяє не тільки забезпечити працездатність на ґрунтах різної вологості, а й збільшити довговічність його дисків за рахунок використання зернової сівалки в ширшому діапазоні вологості ґрунту, ніж її фізична стиглість.

Виходячи з середньої сезонної навантаження посівних машин сільськогосподарських підприємств Півдня, в середньому можна умовно прийняти, що у рік навантаження однією сошник становить близько 10 га. При цьому 2 га, або 20% часу роботи припадає на посів у весняний період, коли вологість ґрунту переважно вище або близька до її фізичної стиглості. А 8 га, або 80% часу роботи на осінній період, коли вологість ґрунту варіюється від 15% до 24% залежно від погодних умов, виду ґрунту та інших факторів. Тоді можна поділити сезонну експлуатацію сошників на обсяг роботи W_y весняний період T_H («Нормальна інтенсивність зношування» J_H та знос I_H) та обсяг роботи W_{oc} в осінній період T_I («підвищена інтенсивність зношування» J_I і знос I).

Змоделюємо і схематично зобразимо ситуацію коли, наприклад, співвідношення обсягів робіт W_B / W_{oc} для стандартного дискового сошника складає 20/80%, а для модернізованого – 30/70%. З графіка на рис. 2.9 видно, що обсяг роботи одного сошника W_i можна уявити в вигляді:

$$W_i = W_B + W_{oc} + W_{зк}, \quad (2.3)$$

де W_i - загальний об'єм роботи i -ого сошника до чергового ремонту або вибракування;

$W_{зк}$ - об'єм роботи з затупленою ріжучою кромкою (непрацездатне стан).

Як видно крім показників W_B і W_{oc} загальний об'єм роботи до ремонту, ймовірно, буде включати і $W_{зк}$, коли сошник використовується при зношеною (затупленою) до значення Δl ріжучої кромці диска, а значить і з збільшеним зазором між дисками. Величину зношування Δl можна, можливо розглядати як відмову, що відповідає обсягу робіт $W_{зк}$ або періоду $T_{зк}$. У цей період експлуатації значно збільшується тягове опір, витрата палива, порушується якість закладення насіння і знижується надійність технологічного процесу сівби.

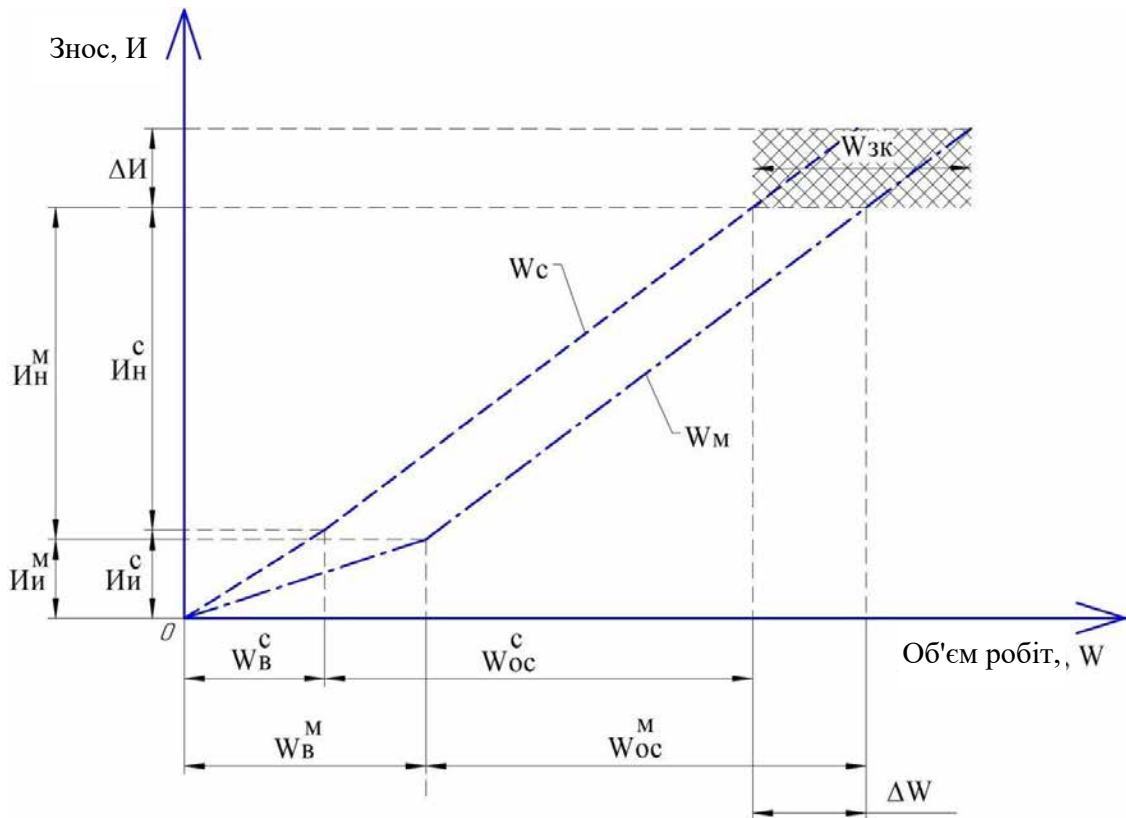


Рис. 2.9. Теоретичний обсяг робіт серійного W_c та модернізованого W_m дводискового сошника

При цьому, якщо продовжувати роботу з зношеною (затупленою) ріжучою кромкою диска, не виконуючи їх відновлення, додатково виникатимуть обсяги робіт $W_{зкв}$ у весняний період $T_{зкв}$ і $W_{зкос}$ в осінній період $T_{зкос}$. Дані періоди будуть супроводжуватися значними порушеннями роботоздатності дводискових сошників, що приведе до зниження схожості посівів і збільшення енергоємності посівного агрегату.

Отже, обсяг робіт $W_b + W_{oc}$ можна розглядати як основний період напрацювання до чергового ремонту дводискового сошника TRi , після завершення якого необхідно відновити його геометрію та загострення ріжучої кромки, а обсяг роботи $W_{зк}$ в умовах правильної експлуатації повинен виключатися як відмова.

Аналіз рис. 2.10 каже про те, що W_b супроводжується «нормальною інтенсивністю зношування» J_H , а інтенсивність зношування J_I в період W_{oc} може перевищувати «нормальну» у кілька разів. Таким чином, отримаємо, що

модернізовані диски виконують в середньому на ΔW більший обсяг роботи, тобто матиме збільшену напрацювання.

«Нормальні» умови експлуатації сошників можуть наступати в весняний, осінній, літній періоди, а також порушуватись під час виконання посівних робіт, тому обсяг роботи сошника W_i краще ділити на періоди його напрацювання, які можуть представлятися, як в гектарах засіяної площі, так і в годинах роботи сошника до його чергового ремонту:

- T_H – «нормальні умови роботи і зношування»;
- T_I – «умови роботи при підвищеному зношуванні». А формулу (2.3) можна записати в вигляді:

$$T_{Pi} = T_H + T_I, \quad (2.4)$$

де, T_{Pi} – напрацювання дводискового сошника до ремонту, (га; год).

Як відомо з теорії надійності, для оцінки технічного стану машин застосовується коефіцієнт готовності K_G :

$$K_G = \frac{T_O}{T_O + T_\epsilon}, \quad (2.5)$$

де T_O – напрацювання на відмова;

T_ϵ – середня час відновлення.

Для сільськогосподарських підприємств України, а також з урахуванням глобального потепління клімату, робота посівних комплексів (для зернових культур) супроводжується можливістю висіву у фізично стиглий ґрунт навесні (для посіву ярих, пересіву або підсіву озимих та підживленням добривами) і посіву озимих, як правило, в висушену ґрунт.

При цьому слід уточнити деякі моменти весняних посівних робіт. Ґрунт в цей період має високу вологозабезпеченість і вологоємність, і може бути віднесено до ґрунтів підвищеною вологості $W_a > 24\%$. Водночас робота машинно-тракторних агрегатів починається. при підсиханні поверхневого, глибиною до 2 см шару або утворенні кірки, яка забезпечує зчпні якості модульного енергетичного. засоби. Але робота посівних агрегатів буде відбуватися тільки при досягненні вологості ґрунту на глибині посіву $W_a =$

13...24%, а для найбільш якісної роботи і до $W_a = 15...18\%$, тобто в межах її фізичної стиглості.

Однак при цьому висока сумарна температура та інтенсивні вітри призводять до швидкого випаровування ґрунтової вологи та зниження її запасів у поверхневих шарах. Це в першу чергу диктує необхідність проведення посівних робіт у стислий термін за досить короткий період течія 3...5 днів.

При роботі дводискових сошників у таких сприятливих ґрунтових умовах, коли верхній шар ґрунту, підготовленою під посів, має вологість 13...15%, а нижні горизонти фізичну стиглість або більшу вологість, ґрунт прилипає на найбільших глибинах і самоочищається в процесі обертання дисків. І хоча ґрунт не налипає, в той же час відбувається зношування дисків з найменшою інтенсивністю.

Конкретні умови посіву, як показує практика, швидко змінюються через підсихання ґрунту по глибині, дещо збільшується і інтенсивність зношування дисків. Щоб виключити такий вплив ґрунту на знос в практику впроваджуються поверхні дисків з гідрофобними (водовідштовхувальними) властивостями. Ця позитивна практика дозволяє проводити посів у ґрунту підвищеної вологості. Тим самим утворюється можливість більш раннього посіву (зсуву на кілька днів початку робіт). Робота дисків сошників характеризується ще меншим зношуванням, але затримки в термінах виконання посіву наводять до підвищеному зношування таких покриттів (фторопласт, поліетилен та інші матеріали), які не мають достатньою стійкості до абразивного зношування.

Подібні явища можуть відбуватися і при осінньому посіві озимини зернових культур, що і буде обумовлювати підвищення коефіцієнта роботоздатності дводискового сошника k_{pc} . Але в реальних умовах у цей період ґрунт висушений, а його загальна вологість по горизонтах становить трохи більше 15%. Тому при роботі в таких умовах різко збільшуються ризики підприємств щодо зниження продуктивності виробленої продукції рослинництва, а самі робочі органи піддаються підвищеному зношуванню, що

різко знижує їхній ресурс. Коефіцієнт роботоздатності k_{pc} у своїй знижується, а застосування дисків із гідрофобними покриттями економічно недоцільно. У залежності від річний навантаження підприємств їх необхідно замінювати на стандартні сталеві диски без покриттів, або працювати на знос покриття без заміни сошників.

Запропонована нами у цій роботі модернізація властивостей робочих поверхонь дисків сошника зерновий сівалки спрямована на усунення описаних вище недоліків існуючою технології. Для цього використовуються накладки з НВМПЕ PE-1000 і PE-500, які мають і гідрофобними, і зносостійкими властивостями.

Переходячи до оцінки ефективності, запропонованої теоретичної моделі, яка враховує коефіцієнт роботоздатності сошника k_{pc} зауважимо, що співвідношення сприятливих сезонів в практиці сільськогосподарських виробників, в залежності від регіону країни, коливається від 1:2 до 1:7. Тобто на один сприятливий сезон доводиться від 2 до 7 несприятливих.

на основі практично накопиченого досвіду, уявимо дані співвідношення в математичному вигляді (таблиця 2.1), використовуючи отримане нами вираз для визначення величини коефіцієнта роботоздатності дводискового сошника в формулі трохи його перетворивши:

$$\frac{T_H}{T_I} = \frac{k_{pc}}{1 - k_{pc}}, \quad (2.6)$$

Таблиця 2.1

Залежність співвідношення напрацювань ($T_H : T_I$) від коефіцієнта роботоздатності сошника k_{pc}

$T_H : T_I$	0	1 : 9	1 : 4	3 : 7	2 : 3	1 : 1	3 : 2	7 : 3	4 : 1	9 : 1	∞
k_{pc}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Використовуючи дані співвідношень з таблиці, побудуємо графік залежності $k_{pc} = f\left(\frac{T_H}{T_I}\right)$ рис. 2.10.

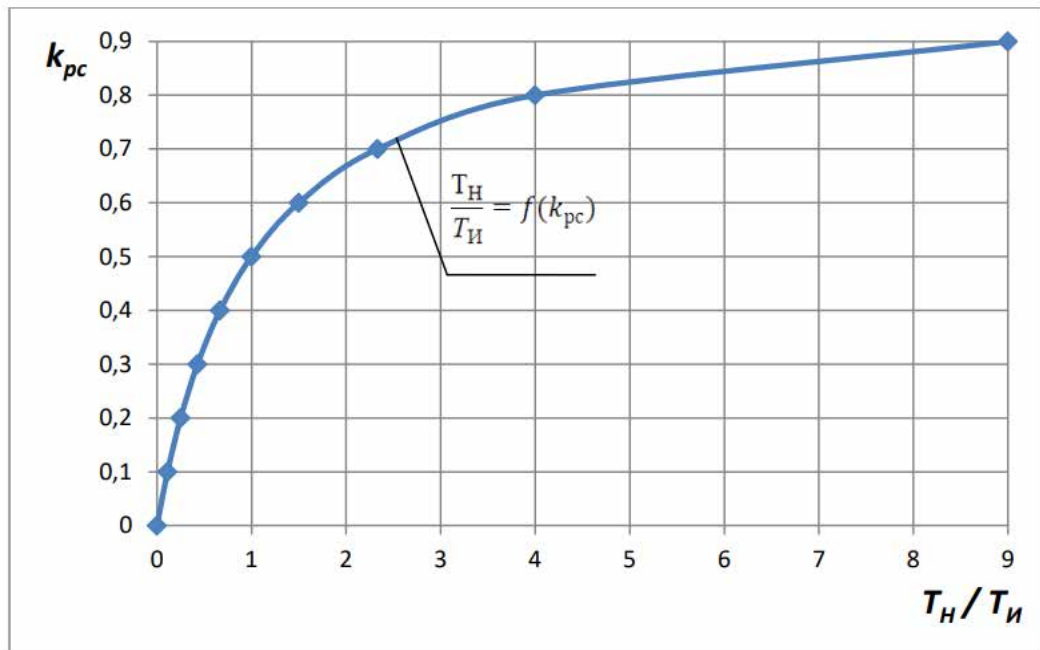


Рис. 2.10. Графік залежності коефіцієнта роботоздатності сошника $k_{рс}$ від співвідношення напрацювання у «нормальний» період T_H до напрацюванні в «зносний» період T_I

Ця залежність набуває вигляду зростаючої гіперболи. Зона вища її характеризує частку напрацювання дводискового сошника в «нормальний» період T_H по порівнянні з його напрацюванням в «зносний» період T_I при відповідному коефіцієнті роботоздатності $k_{рс}$. За його значення 0,9 і більше дводисковий сошник зернової сівалки має найбільшу напрацювання.

Крім збільшення ресурсу дводискового сошника зернової сівалки за рахунок його модернізації знижуватиметься і коефіцієнт тертя про ґрунт робочих поверхонь диска. Для того щоб зрозуміти як застосування полімерної накладки з НВМПЕ буде впливати на показник тягового опору сошника необхідно вивчити кінематику процесу його з ґрунтовим шаром.

2.5. Теоретичний аналіз взаємодії модернізованого дводискового сошника з ґрунтом

Переміщаючись в ґрунті диски сошника, сприймають зі сторони ґрунтового шару ряд сил її опору. При цьому основними робочими поверхнями,

контактуючими з ґрунтом при освіті борозенки сошником, є ріжучі кромки дисків (вістря і фаска) та їх бічні поверхні, що утворюють клин, що врізається у ґрунтовий шар. Постійне обертання дисків зумовлює більше низька тяговий опір по порівняно з іншими типами сошників, при цьому виникають сили тертя підшипників, якими з огляду їх щодо малої величини можна, можливо знехтувати.

На край диска діють результуючі сил, що припадають на фаску диска $R_{\text{фд}}$ і його вістря $R_{\text{од}}$. При цьому на зусилля опору різання впливають кут загострення кромки диска, його товщина і питома опір ґрунту зсуву p' :

$$p' = Ap, \quad (2.7)$$

де p' – питома опір ґрунту зсуву;

A – коефіцієнт пропорційності.

При горизонтальному переміщенні дисків, утворюють клин, на їх бічні поверхні діє результуюча сил її опору $R_{\text{бп}}$ величина якої залежить від площі сегмента, зануреного у ґрунт і питомої опору ґрунту сум'яттю p , визначається за формулою (1.1).

Для розрахунку тягового опору модернізованого дводискового сошника скористаємося формулою (1.4), запропонованої А.Є. Сарсеновим, але без урахування сил, що діють на притискну пластину, яка відсутня у розглянутому нами варіанті конструкції (рис. 2.11).

Тоді з обліком аналізу проведеного вище тяговий опір серійного дводискового сошника R_c визначимо, умовно прийнявши незмінною швидкість руху сошника v_c , по формулі:

$$R_c = 2(R_{\text{од}} + R_{\text{фд}} + R_{\text{бп}}), \quad (2.8)$$

де $R_{\text{од}}$ – результуюча сил опору різання вістря диска, Н:

$$R_{\text{од}} = p' \cdot \delta' \cdot h; \quad (2.9)$$

де δ' – товщина ріжучою кромки диска сошника, м;

h – глибина хода сошника, м;

$R_{\text{фд}}$ – результуюча сил опору фаски диска, Н:

$$R_{\text{фд}} = F_{\text{фд}} + F_{\text{тфд}}; \quad (2.10)$$

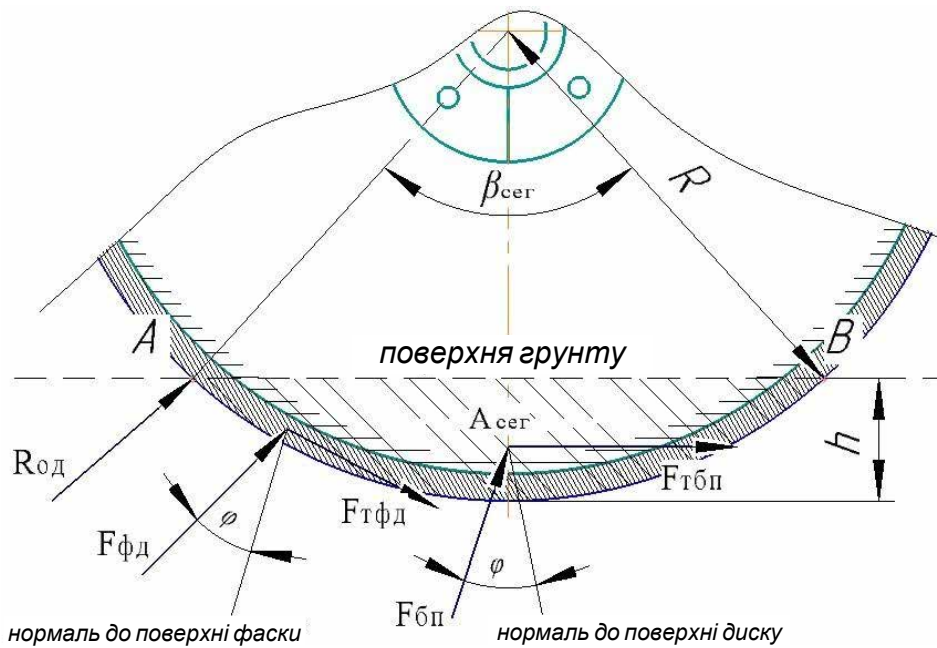


Рис. 2.11. Схема сил, діючих на диск сошника

$F_{\text{фд}}$ – сила опору сум'яттю фаски диска сошника, Н:

$$F_{\text{фд}} = F_{\text{тфд}} \cdot \cos\theta \cdot f_c; \quad (2.11)$$

$F_{\text{тфд}}$ – сила тертя фаски диска сошника, Н:

$$F_{\text{тфд}} = p' \cdot \delta \cdot h \cdot f_c; \quad (2.12)$$

δ – товщина диска сошника, м;

θ – кут загострення фаски диска, град;

f_c – коефіцієнт тертя ґрунту о сталь;

$R_{\text{бп}}$ – результуюча сил діючих на бічну поверхню диска сошника, Н:

$$R_{\text{бп}} = F_{\text{бп}} + F_{\text{тбп}}; \quad (2.13)$$

$F_{\text{бп}}$ – сила опору ґрунту о бічну поверхню диска, Н:

$$F_{\text{бп}} = A_{\text{ceseg}} \cdot p; \quad (2.14)$$

A_{ceseg} – проекція площі сегменту диска на глибині h , м²:

$$A_{\text{ceseg}} = \frac{1}{2} R^2 \left(\frac{\pi \beta_{\text{ceseg}}}{180^\circ} - \sin \beta_{\text{ceseg}} \right) \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2.15)$$

R – радіус диска сошника, м;

β_{ceseg} – центральний кут сектора, утвореного хордою АВ сегменту висотою h , град;

α - кут (атаки) установки дисків, утворює клин, град;

$F_{\text{тбп}}$ – сила тертя бічний поверхні диска об ґрунт, Н:

$$F_{\text{т}} = F \cdot f_c. \quad (2.16)$$

Після підстановки формул (2.9), (2.10) і (2.13) в (2.8), і ряду математичних перетворень з урахуванням формул (2.11), (2.12), (2.14), (2.15), і (2.16) було отримано вираз визначення тягового опору стандартного дводискового сошника:

$$R_{cc} = 2 \left[\begin{aligned} & p' \delta' h + p' \delta h f_c (2 \cos \theta + 1) + \\ & + \frac{pR^2}{2} \left(\frac{\pi \beta_{cez}}{180^\circ} - \sin \beta_{cez} \right) (1 + f_c) \sin \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right], \quad (2.17)$$

Модернізований дводисковий сошник має зовнішню накладку з НВМПЕ завтовшки δ_n , а коефіцієнт зовнішнього тертя бічний поверхні буде змінено на тертя поліетилену НВМПЕ о ґрунт f_n , перетворивши з обліком цього формулу (2.17) отримаємо вираз для визначення тягового опору модернізованого сошника R_{cm} :

$$R_{cm} = 2 \left[\begin{aligned} & p' \delta' h + p' (\delta + \delta_H) h f_n (2 \cos \theta + 1) + \\ & + \frac{pR^2}{2} \left(\frac{\pi \beta_{cez}}{180^\circ} - \sin \beta_{cez} \right) (1 + f_n) \sin \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right], \quad (2.18)$$

У формулах (2.15) та (2.16) у явному вигляді не присутня вологість ґрунту W_a , що опосередковано підтверджується наявністю показників p , p' і f_i , які вона безпосередньо впливає. Обчисливши різницю показників R_{cm} і R_{cc} можна, можливо визначити ступінь зниження тягового опору, а ефективність проведеною модернізації E_m можна, можливо перевірити ставленням:

$$E_m = \frac{R_{cm}}{R_{cc}}, \quad (2.19)$$

Таким чином, якщо $E_m < 1$ модернізацію можна, можливо рахувати ефективною.

Проведемо теоретичний порівняльний аналіз двох варіантів дводискових сошників, використовуючи отримані формули розрахунку їх тягових опорів та виходячи з відомих даних. Задамо кілька умов порівняльного аналізу: $\theta = 20^\circ$; $v = 10 \text{ км/год} = 2,7 \text{ м/с}$; $p' = 60 \dots 80 \text{ кН/м}^2$, приймаємо $p' = 70 \text{ кН/м}^2$; $p \approx 20 \text{ кН/м}^2$;

$\delta' = 0,0001 \dots 0,0005$ м, приймаємо $\delta' = 0,0005$ м; $\delta = 0,0025$ м; $\delta_n = 0,003$ м; $\alpha = 10^\circ$ для широкорядного дводискового сошника. При цьому варіюватимемо такі фактори як глибина ходу сошника h (0,03, 0,06 та 0,09 м), та вологість ґрунту W_a (5%, 15% та 25%). Вологість впливає на коефіцієнти тертя f_i , тому будемо використовувати відомі середні дані коефіцієнтів тертя сталі і поліетилену НВМПЕ о ґрунт (чорнозем) різної вологості.

Розрахунки тягових опорів були проведено в середовищі MsExcel. Графіки складових $R_{од}$, $R_{фд}$ і $R_{бп}$ тягового опору для стандартного $R_{сc}$ і модернізованого $R_{сm}$ дводискового сошника представлені у вигляді графіків залежностей від глибини ходу сошника h при різній вологості ґрунту W_a на рис. 2.12.

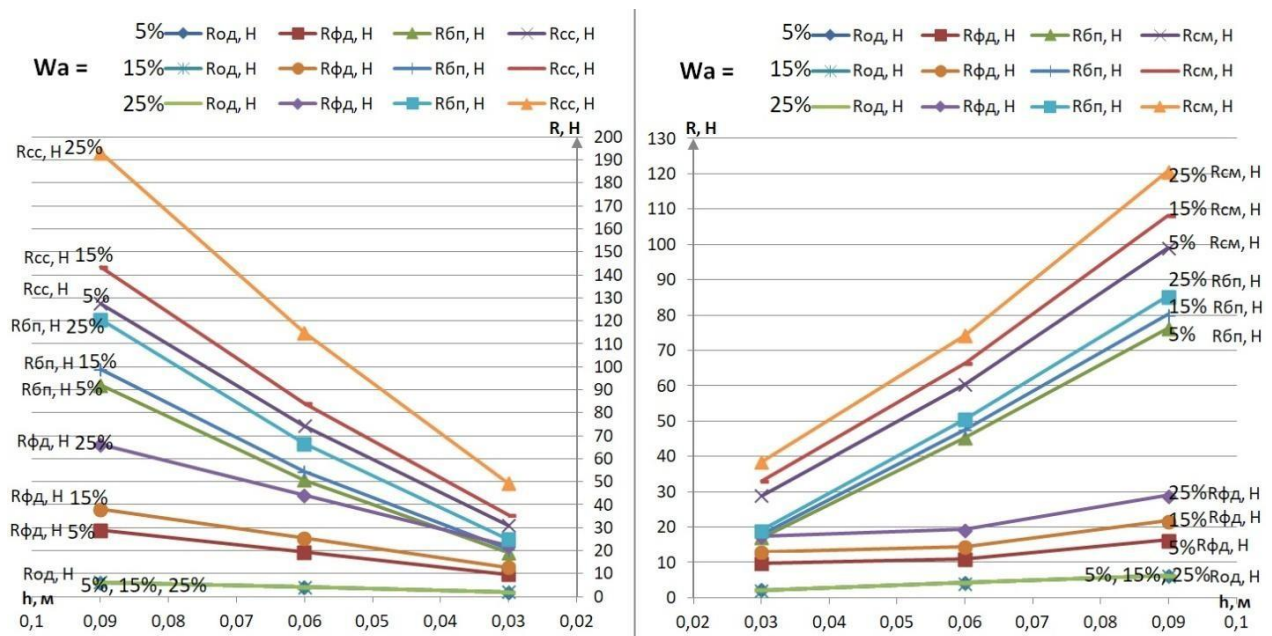


Рис. 2.12. Теоретично розраховані складові тягового опору $R_{од}$, $R_{фд}$ та $R_{бп}$ залежно від глибини ходу сошника h і вологості ґрунту W_a для стандартного (ліворуч) $R_{сc}$ та модернізованого (праворуч) $R_{сm}$ дводискового сошника

Аналіз показує, що тяговий опір модернізованого сошника знижено в порівнянні зі стандартним в 1,2...1,6 раз, залежності від глибини посіву і вологості ґрунту. Це пояснюється більше низьким коефіцієнтом тертя його бічний поверхні з НВМПЕ о ґрунтовий шар, а також зниженням налипання ґрунту на робочі поверхні дисків при її підвищеною вологості. Разом з тим, як у стандартних, так і модернізованих сошників опір бічний поверхні $R_{бп}$ має найбільшу частку в загальному тяговий опорі сошника. Виконані розрахунки

підтверджують гіпотезу про підвищення ефективності роботи дискових сошників за рахунок модернізації властивостей робочої поверхні застосуванням НВМПЕ. Разом з тим, складний процес зношування дисків сошника у поданих виразах не враховується. У отриманій залежності тягового опору дводискового сошника аналітичним методом виділимо основні фактори, умовно об'єднуючи їх в групи. Наприклад, група А – конструктивні параметри сошника, група В – режими його роботи, група С – технологічні властивості ґрунту та сошника:

$$R_{cm} = f \left(\underbrace{B_m, D, \Delta\delta, \delta', \theta, \alpha}_A \underbrace{\beta_{ce2}, b, h, v_c, A_{ce2}}_B \underbrace{p, p', f_i, W_a, G_{Л}, J, Z}_C \right), \quad (2.20)$$

де B_m - вигляд матеріалу, з якого виготовлені диски;

D – діаметр диска сошника, м;

$\Delta\delta$ – загальна товщина диска сошника, якщо є додатковий шар, наприклад накладка з НВМПЕ, визначиться як $\Delta\delta = \delta + \delta_n$, м;

α - кут (атаки) установки дисків, град;

b - відстань між дисками сошника на рівні поверхні поля, м;

$G_{Л}$ – липкість ґрунту до робітником поверхонь диска, кПа;

J – інтенсивність зношування матеріалу диска, мм/га;

Z – знос ріжучої кромки диска, мм.

На підставі вивчення робіт і проведеного в розділі теоретичного аналізу визначено фактори, які найбільш впливають на тяговий опір модернізованого дводискового сошника зернової сівалки. Серед факторів групи А найбільш значущими виявилися вигляд матеріалу, з якого зроблений сошник m , діаметр сошника D і загальна ширина диска $\Delta\delta$. Серед параметрів групи В виділили глибину ходу h , швидкість руху сошника v_z і інтенсивність зношування J . З групи С найбільший вплив мають коефіцієнт тертя f , абсолютна вологість W_a і липкість ґрунту $G_{Л}$.

Таким чином, у загальному вигляді опір сошника R_z представлено наступною функціональною залежністю:

$$R_c = f(D, \Delta\delta, B_m, W_a, f, v_c, J, h, G_{Л}). \quad (2.21)$$

Вивчення представленої функціональної залежності має практичний інтерес запланований в процесі експериментальних досліджень.

1. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень дозволив встановити, що працездатність дводискового сошника зернової сівалки залежить від вологості ґрунту і її зношує Можливості. Для протидії налипанню на робочі поверхні дисків наносять гідрофобні фторопласт та поліетилен, але при роботі в сухому ґрунті тонкий шар таких матеріалів швидко зношується. Збільшити довговічність робочих органів при роботі в посушливих умовах у ґрунті вологістю менше 13% і підвищити надійність процесу роботи на перезволожених ґрунтах вологістю вище 24% запропоновано за рахунок модернізації дводискових сошників зернових сівалок гідрофобним і зносостійким пластиком НВМПЕ.

2. Теоретичними дослідженнями процесу взаємодії модернізованих дисків сошника з ґрунтом різної вологості дозволили:

- обґрунтувати, що для накладки краще використовувати НВМПЕ РЕ-500, завтовшки не менше $\delta_n = 3$ мм, оптимальний діаметр розташування точок її кріплення $D_{\text{міц}} = 310$ мм з відстанню між ними $l = 38 \dots 42$ мм. Дані параметри гарантовано забезпечують багаторазовий запас зусилля притискання накладки до диску по всьому периметру і гарантовано виключають можливість попадання ґрунту між диском та накладкою;

- встановити залежність коефіцієнта роботоздатності дводискового сошника $k_{рс}$, яка враховує інтенсивність зношування робочих поверхонь дисків в «нормальний» T_n і в «зносний» T_1 періоди експлуатації, а також дозволяє виявити резерви підвищення ресурсу дисків сошника і розробити програму відновлення їх роботоздатності на ґрунтах різної вологості;

- отримати аналітичну та функціональну залежності тягового опору модернізованого сошника, враховують основні параметри дисків сошника, режими його роботи та зношування здатність ґрунту в різних умовах експлуатації. Розрахунками показано можливість зниження опору модернізованого сошника в 1,2...1,6 разів, по порівнянні зі стандартним сошником.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТОЗДАТНОСТІ ДВОДИСКОВИХ СОШНИКІВ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК

3.1. Програма експериментальних досліджень

Як показав аналіз та теоретичні передумови для забезпечення роботоздатності дводискових сошників зернової сівалки на ґрунтах різної вологості необхідно модернізувати стандартну модель дводискового сошника з застосуванням надвисокомолекулярного поліетилену НВМПЕ .

Тому в відповідно з метою і завданнями дослідження була розроблена програма експериментальних досліджень, яка включала:

- дослідження властивостей ґрунтів та полімерних матеріалів;
- виготовлення експериментальних зразків дводискових сошників;
- проведення експериментів для визначення експлуатаційних характеристик роботоздатності модернізованого дводискового сошника зернової сівалки в лабораторних та польових умовах;
- техніко-економічна оцінка модернізованого дводискового сошника зернової сівалки.

На основі уточнених властивостей ґрунту і полімерних матеріалів проводився ряд лабораторних і польових експериментів при оцінці роботоздатності модернізованих дводискових сошників зернової сівалки, після чого відбувалася звірка отриманих дослідних даних з теоретичними і визначалися підсумкові показники. на завершальному етапі проводилася техніко-економічна оцінка пропонованого рішення.

Експерименти проводились в лабораторних і польових умовах в відповідно з діючими ДСТУ і відомими методиками планування багатофакторних експериментів. Використовувалися загальноприйняті і приватні методики, і обладнання, в том числі тензометричне, Обробка експериментальних даних виконувалася в MsExcel, ZetLab, STATISTICA і інших аналітичних програмах що забезпечують точні розрахунки та наочні графіки на основі законів математики, фізики та інших природничих наук.

У якості випробуваних полімерних матеріалів виступали фторопласт-4, НВМПЕ РЕ-1000 і НВМПЕ РЕ-500. При цьому в кожному експерименті фізико-механічні властивості цих полімерів порівнювалися з металевим зразком з сталі 65Г твердістю 54 HRC .

3.2. Методика визначення адгезійних характеристик полімерних матеріалів при взаємодії з ґрунтом різної вологості

Визначення липкості ґрунту до випробуваних матеріалів проводилося на установці, в відповідно до методики.

Установка була виготовлена відповідно до відомої конструкції, а досліди проводилися за методикою. Установка складається з стійки 5 з жорстким круглим основою і двох паралельних планок- власників. на краях верхнього власника закріплені два ролика 3 , що забезпечують плавне рух троса 4 перетином 1 мм. Трос врівноважувався з одного боку чашкою з гирями 6 або з піском, а з інший через центруючий механізм 2 стрижнем, на кінці якого різьбовим з'єднанням встановлювався власник зразків 7 , для запресування в нього різних полімерних матеріалів в вигляді диска. При цьому ємність з ґрунтом 1 відповідної вологості встановлювалося на рівний жорсткою поверхні (рис. 3.1).

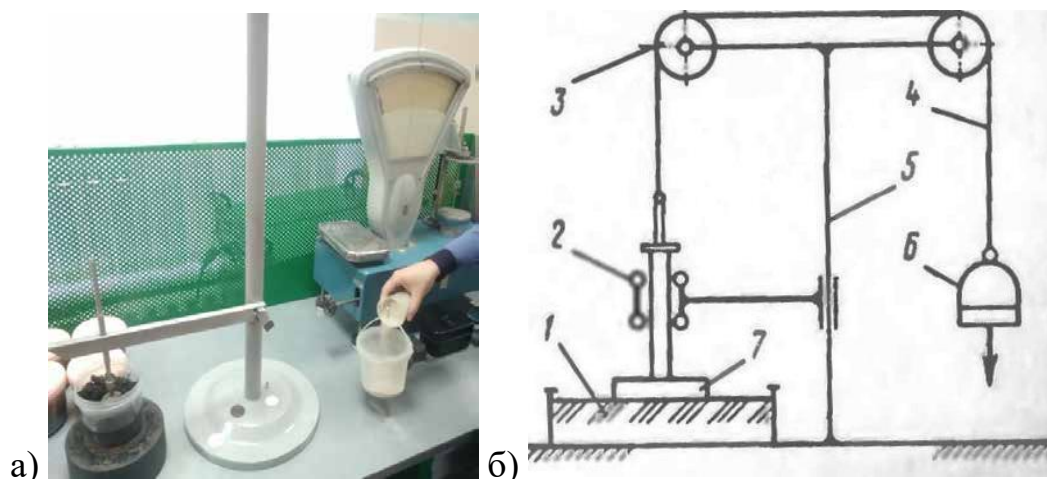


Рис. 3.1 – Установка для визначення липкості ґрунту (а) та його схема (б):

- 1 - ємність з ґрунтом, 2 - центруючий механізм, 3 – ролики, 4 – трос,
5 - стійка, 6 - чашка з гирями; 7 - власник з зразком-диском

Для запресування в власник 7 було виготовлено 5 випробувальних зразків (рис. 3.2, а).



Рис. 3.2 – Зразки для перевірки липкості ґрунту (зліва направо) (а): сталь 65Г 54 HRC , фторопласт-4, НВМПЕ РЕ-500, НВМПЕ РЕ-1000 та прилад вимірювання шорсткості MarSurf PS 1 (б)

Характеристика випробуваних зразків представлена в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Характеристики зразків для випробування

Вид зразка	Товщина, мм	Вага зразка, г	Діаметр зразка, мм	Висота зразка, мм	Площа, мм ²	Об'єм зразка, мм ³	Густина, г/см ³
Сталь 65Г 54 HRC	2,5	16,966	33,1	2,5	862,1	2224,31	7,63
Фторопласт-4	3	5,509	33,1	2,9	862,1	2560,54	2,15
НВМПЕ РЕ-500	3	2,450	32,9	2,9	852,3	2488,65	0,98
НВМПЕ РЕ-1000	2	1,504	32,9	1,9	854,4	1614,72	0,93

Шорсткість поверхонь випробуваних зразків визначалася профілографом-профілометром MarSurf PS 1 (рис. 3.2, б) і була в одному діапазоні $R_a \approx 25...40$ мкм.

Для проведення даного експерименту ґрунт був просіяний через сито 1мм із набору сит СПП і розфасована у відра з кришками. Далі у кожному з них з кроком в 5% створювалася необхідна вологість. Діапазон вологості при даному дослідженні становив 5...50% (рис. 3.3, а).



Рис. 3.3. Зразки ґрунту для перевірки липкості (а) та аналізатор вологості ЕЛВІЗ 2
 Дозволення зразків до необхідного рівня проводилося по формулі:

$$M_B = \frac{M_M (W - W_1)}{100 - W}, \quad (3.1)$$

де M_B - маса додається води, кг;

M_M - маса зволоженного матеріалу, кг;

W - задана вологість матеріалу, %;

W_1 - вологість матеріалу до зволоження, %.

Вологість зразків після додавання води перевірялася і контролювалася в процесі експерименту на аналізаторі вологості ЕЛВІЗ 2 (рис. 3.3, б).

Експеримент проводився так. Випробуваний зразок, запресований у тримач, занурювався у відро з ґрунтом відповідної вологості і далі протягом однієї хвилини знаходився під тиском гири 2,5 кг. Після того як гиря прибиралася, в протывага на іншій частини установки (пластикове відро) поступово додавався пісок. У момент відриву тримача із зразком-дискон від поверхні ґрунту припинялося додавання піску. Далі ємність з піском зважувалася з точністю до 5 г.

Холостий хід або зусилля на подолання тертя троса по ролику установки становило трохи більше 5 г. При перерахунку отриманих по даної методиці наважок на площа зразка (Таблиця 3.1) отримували значення липкості $G_{Д}$ в кПа.

3.3. Виготовлення модернізованих дводискових сошників зернових сівалки

Для виготовлення модернізованих дводискових сошників зерновий сівалки в якості базових сошників були використані однорядкові широкорядні

та дворядкові вузькорядні сошники, які встановлюються на сівалку СЗ-3,6. Проведення робіт відбувалося з урахуванням навчально-лабораторної майстерні.

З обліком стандартного діаметра цих дисків (350 мм) і теоретичного аналізу були виготовлені накладки з НВМПЕ РЕ-500 товщиною 3 мм із попередньо фрезерованими в них отворами під маточину диска діаметром 110 мм, які механічно кріпилися заклепками (рис. 3.4, а).



Рис. 3.4 Модернізовані дводискові сошники сівалки СЗ-3,6 (JD 730) і ділильний диск для розмітки кріплень накладки НВМПЕ

На фото рис. 3.10, а показаний експериментальний широкорядний модернізований дводисковий сошник зернової сівалки СЗ-3,6 (JD 730) з накладкою з НВМПЕ РЕ-500, закріпленою по $D_{міц}$ заклепками. Таких механічних кріплень достатньо на даному етапі дослідження, яке спрямовано на підтвердження висунутих припущень по забезпечення роботоздатності дводискових сошників на ґрунтах різної вологості. Кріплення накладки з НВМПЕ вході модернізації вироблялося при допомозі клею (найкраще склеювання спостерігалось при використанні COSMO (CA-500.200). Для приклеювання накладки з НВМПЕ на робочу поверхню сталевого диска сошника рівномірно (на всю дотик поверхню по кола диска) наносився шар клею, після чого модернізований таким чином диск витримувався під тиском в протягом доби.

Тим не менш, через низьку адгезію НВМПЕ при клейовому з'єднанні

спостерігалися нерівномірності в приляганні накладки. Тому було вирішено кріпити накладки з цього матеріалу тільки механічним способом, оскільки комбінування клейової та механічної фіксації, хоч і забезпечувало найбільшу надійність, є економічно недоцільним.

Для механічного з'єднання полімерних поверхонь нами був виготовлений ділильний диск (рис. 3.10, б), який дозволяв по периметру сталевого диска сошника на діаметрі $D_{\text{міц}} = 310$ мм, розрахованого з урахуванням формули (2.1), закріплювати заклепками накладку з НВМПЕ трьома можливими варіантами 12, 24 і 36 шт. заклепок відповідно. Додатково накладка закріплювалася поруч із маточкою в 4 місцях. Застосовувалися заклепки із легованої сталі діаметром 4,5 мм. Надійність кріплення поверхонь із НВМПЕ перевірялося під час польових випробувань модернізованих дводискових сошників.

3.4. Методика проведення лабораторних та польових випробувань модернізованих сошників

Лабораторні випробування по перевірці роботоздатності модернізованих дискових сошників зернової сівалки в порівнянні зі стандартними проходили на лабораторному стенді «Грунтовий канал».

Лабораторна установка «Грунтовий канал» оснащена електродвигуном з налаштуванням частоти обертання (рис. 3.5, а). обертання від електродвигуна передається на лебідку, встановлену з однієї сторони каналу ланцюговою передачею. Трос лебідки з'єднаний із санчатами через весь канал (рис. 3.5 б) і S-подібним тензодатчиком DACELL - UU-K500 – до 500 кг (рис. 3.5, в). При цьому санки мали можливість пересування по рейках каналу на роликах-колесах та кріплення на них ґрунтообробних робочих органів, в нашому випадку дводискових сошників (рис. 3.5, г).

Для проведення випробувань дводисковий сошник жорстко кріпився на санки разом з повідцем сошника без можливості ходу по горизонтальним і вертикальним осям, і без вертикального навантаження. При цьому глибина ходу сошника регулювалася зміною положення повідця болтом на спеціальній планці з отворами, має 8 різних положень (рис. 3.5, г).



Рис. 3.5. Лабораторний стенд «Грунтовий канал»: модуль керування електродвигуном (а), робоча зона (б), тензодатчик (в) і санки (г)

Послідовність отримання даних по тяговому опору наступна. Оператор, здійснюючи електропривід троса через лебідку, наводить в рух санки і закріплений на них досвідчений зразок сошника. Показання з тензодатчика I обробляються тензостанцією KYOWA EDX-100A 2, яка передає фактичні числа навантажувальних показників на ПК (Ноутбук) 3 (рис. 3.6, а). Дані записуються і зберігаються на жорсткому диску ПК. В інтерфейсі прикладення тензодатчика на ПК (рис. 3.6, б) були отримані графіки (рис. 3.6, в) по зміни тягового опору в різних умовах взаємодії змінюваних факторів.

Перед тим як фіксувати значення тягового опору при впровадженні дисків сошника у ґрунт вимірювалося зусилля при холостому ході (салазки з закріпленим сошником, без впровадження у ґрунт).

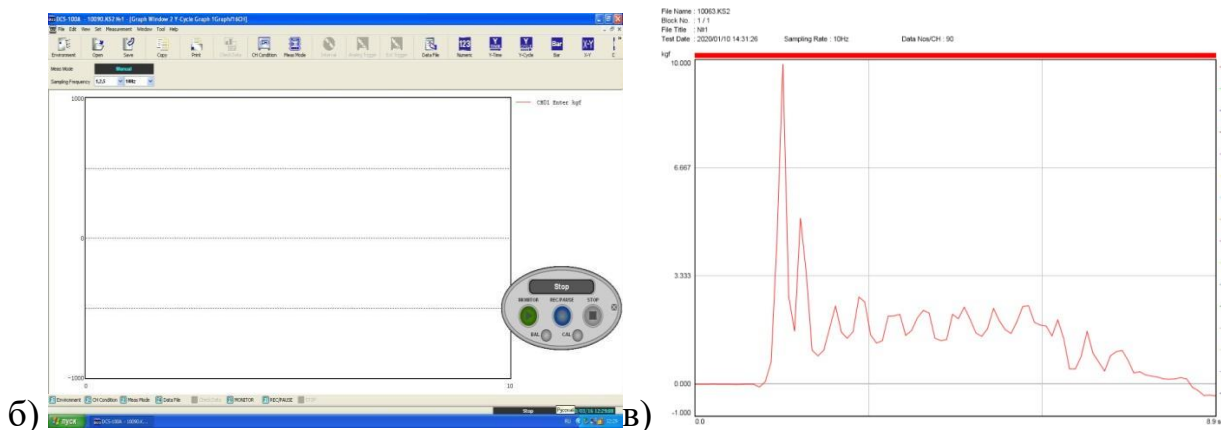


Рис. 3.6. Послідовність отримання результатів тензометрування у ґрунтовому каналі (а), програма тензостанції на ПК (б) та характерний графік випробувань (в)

Основний експеримент проводився на широкорядному і вузькорядний зразках дводискових сошників в заводському виконанні і дисками з накладками з НВМПЕ (з кількістю заклепок для кріплення по результатам попереднього експерименту в польових умовах). Таким чином, відбувалося визначення різниці між працездатністю стандартного та модернізованого дводискового сошника за декількома параметрам (тяговий опір, налипання ґрунту, борозноутворення, влучення ґрунту між диском та накладкою з НВМПЕ і ін).



Рис. 3.7. Польові випробування модернізованого дводискового сошника зернової сівалки: місце встановлення сошника (а) та загальний вигляд у зчіпці з трактором (б)

Польові випробування проводилися під час встановлення модернізованого однорядкового широкорядного дводискового сошника на сівалку СЗ-3,6 (рис. 3.7). При цьому попереднім уточнюючим експериментом польових умовах встановлювалося оптимальне кількість заклепок з крапки зору економії ресурсів на переобладнання дисків сошника і з точки зору надійності з'єднання накладки з робочої поверхнею диска. Даний досвід також проводився на однорядковому дводисковому сошнику, Котрий комплектувався трьома різними варіантами закріплення поверхні з НВМПЕ до диску – 12, 24 і 36 шт. заклепок.

Кількість ґрунту налипла на дискові сошники во час лабораторних та польових випробувань фіксувалося шляхом збору налиплої ґрунту з поверхні дисків. Після проходу сошника по ґрунтовому каналу в обидві сторони (8 м), налипла на диски ґрунт зчищала, збиралася в спеціальну пластикову ємність і зважувалася з точністю до 5 г. час польових випробувань після проходу сошником близько 1 км. ґрунт збирався аналогічним способом і зважувався з точністю до 5 г. Швидкість руху сошників у ході цієї перевірки була на рівні 10 км/год ($v_s = 2,7$ м/с).

Для визначення інтенсивності зношування протягом одного сезону був створений експериментальний зразок сівалки СЗ-3,6 з новою сошникомовою. групою. на цю сівалку в загальну групу стандартних сошників встановлювалися

модернізовані широкорядні дводискові сошники в кількості 3 шт.

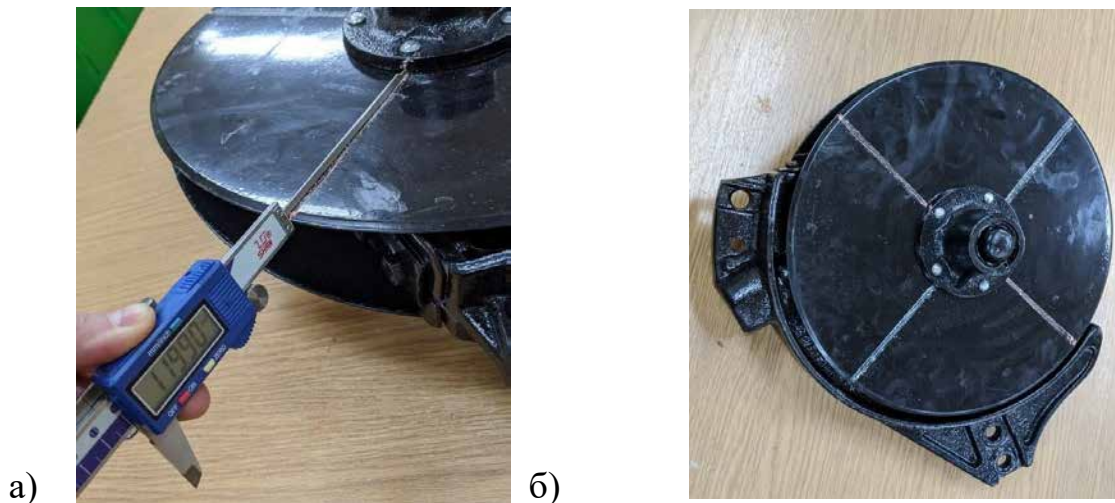


Рис. 3.8. Методика вимірювання радіального зношування дисків сошників (а) по 4 напрямкам (б)

За експериментальний сезон в господарстві сівалка пропрацювала по чорноземних ґрунтах, як в умовах фізичної стиглості в весняний період («нормальні») умови експлуатації), так і в посушливий осінній період («зносні») умови експлуатації). На кожен диск припадало в середньому 2,08 га напрацювання. Після кожного періоду роботи цифровим штангенциркулем SHAN 0-150 (рис. 3.14, а) з точністю до 0,01 мм вимірювався радіальний знос стандартних та модернізованих дисків сошників.

Зношування дисків сошника фіксувався по 2 осям в 4 напрямках (рис. 3.14, б), як для стандартних, так і для модернізованих зразків інтенсивність зношування розраховувалася по формулі:

$$J_i = \frac{Z_i}{2.08}, \quad (3.2)$$

де J_i - інтенсивність зношування в i - ий період, мм/га;

Z_i - знос за i - ий період, мм.

На підставі певної інтенсивності зношування спрогнозували ресурс модернізованих та стандартних дводискових сошників зернових сівалок і порівнювали їх з відомими даними по південним регіонам країни.

3.5. Розробка матриці та методика проведення багатofакторного експерименту

Розробка та проведення багатofакторного експерименту проводилася для визначення тягового опору на основі даних отриманих при випробуваннях модернізованих і стандартних дводискових сошників зернової сівалки СЗ-3,6 в ґрунтового канал. Визначення найбільш значимих факторів проводилося на основі теоретичного аналізу, відомих і власних досліджень по застосування посівних агрегатів, обладнаних дводисковими сошниками, в том числі модернізованих з застосуванням полімерних матеріалів.

Параметр оптимізації позначали символом Y_i . Параметри оптимізації відповідали наступним вимогам:

- можуть змінюватися при будь-якій комбінації факторів;
- представляє собою статично ефективний параметр, то є можуть змінюватись з найбільшою точністю, що дозволяє скоротити до мінімуму повторність дослідів.

Чинники позначали символом X_i . Після проведення попередніх пошукових експериментів, були отримані рівні варіювання регульованих факторів.

Швидкість руху сошника v_z прийнято в діапазоні 7...12 км/год (1,9...3,3 м/с), що відповідає швидкостям роботи сівалки СЗ-3,6 при використанні дводискових сошників. У ході багатofакторного експерименту використовували варіювання швидкості v_z – 2, 2,5 і 3 м/с.

Варіювання глибини ходу сошника h було в межах відомих агротехнологічних норм (3...8 см) для посіву зернових та вимог для даного показника, Котрий змінюється в залежності від виду ґрунту, кліматичних умов і типу висівається культури. Глибина ходу сошника во час проведення експерименту по перевірці роботоздатності дводискових сошників зернової сівалки становила 0,03, 0,06 і 0,09 м.

Вологість ґрунту в експерименті встановлювалася виходячи з відомих даних про фізичну стиглість ґрунту $W_a = 13 \dots 24\%$ для чорноземів, тобто

оптимальних показників абсолютної вологості для її обробки і проведення посівних робіт. При зменшенні вологості нижче цього діапазону спостерігається підвищений знос робочих поверхонь дводискових сошників, а при збільшенні – налипання ґрунту та підвищення коефіцієнта тертя. З урахуванням вищеописаного в рамках багатofакторного експерименту та похибки визначення створювалися умови вологості ґрунту в ґрунтовому каналі при трьох різних значеннях – 5%, 15% і 25%.

У решті експеримент на лабораторній установці «ґрунтовий канал» проходив відповідно до методики. При цьому не регульованими (постійними) факторами прийнято: тип ґрунту (суміш чорноземів); кількість точок кріплення для утримання накладки НВМПЕ - 24 шт. Показники якості процесу посіву контролювалися при польових випробуваннях. Кожен фактор мав три рівня варіювання (Таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Варіювання факторів в експерименті

Показник	Кодоване позначення	Найменування факторів і їх величина		
		v_3 – швидкість, м/с (X_1)	h – глибина ходу, м (X_2)	W_a – вологість ґрунту, % (X_3)
Верхній рівень	+1	3	0,09	25
Основний рівень	0	2,5	0,06	15
Нижній рівень	-1	2	0,03	5
Інтервал варіювання	ΔX	0,5	0,03	10

Використовуючи інтерфейс прикладення STATISTICA, результати випробувань заносилися в відповідні поля таблиці для аналізу за допомогою модуля DOE (рис. 3.9).

Таким чином, будувався план матриці планування експерименту в вигляді таблиці, в рядках якої записувалися дані дослідів, а в стовпцях фактори з реалізацією всіх можливих поєднань у рамках обраного плану.

Відповідно до цих випробувань було використано 4 дослідних варіанти дводискових сошників, а їх критерії оптимізації були зашифровані наступним чином:

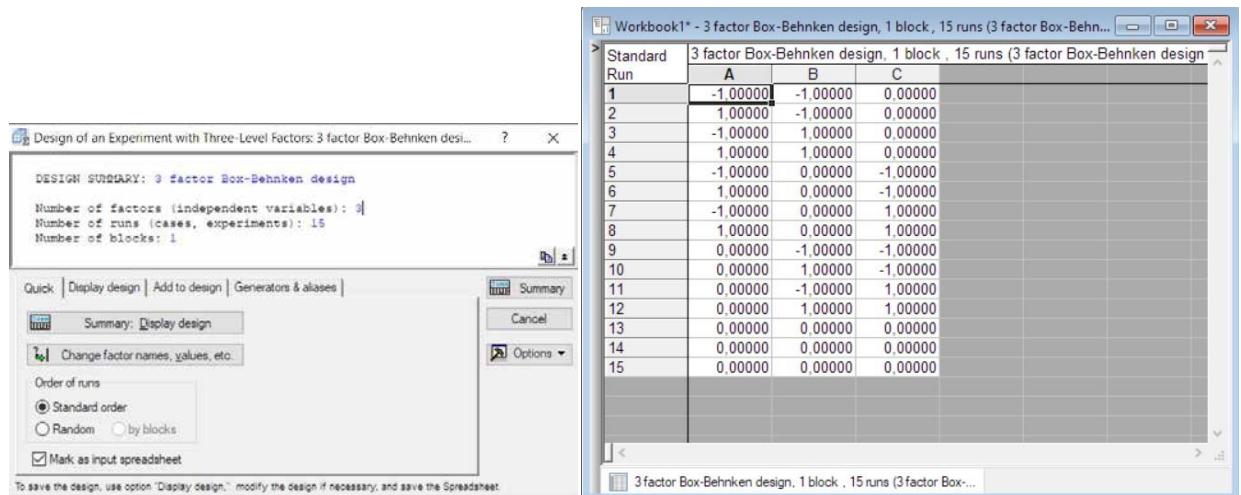


Рис. 3.9. Інтерфейс прикладення STATISTICA під час введення вихідних даних для проведення багатфакторного експерименту

- широкорядний сталевий – $Y_{сш}$;
- широкорядний з накладкою з НВМПЕ – $Y_{смш}$;
- вузькорядний сталевий – $Y_{сву}$;
- вузькорядний з накладкою з НВМПЕ – $Y_{сму}$.

Для розрахунків всіх показників користувалися функціями і можливостями прикладення MsExcel і STATISTICA. Обробку експериментальних даних проводили по стандартним методикам.

Після обробки експериментальних даних були отримані рівняння регресії в розкодованому вигляді для кожного з порівнюваних варіантів дводискових сошників. Інтерфейс прикладення STATISTICA дозволяв отримувати їх різне графічне відображення в вигляді поверхонь відгуку тощо .

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ ДВОХДИСКОВИХ СОШНИКІВ

4.1. Експериментальні дослідження ґрунту і полімерних матеріалів

Вихідні зразки ґрунту, використовувані в ході експериментальних досліджень, були проаналізовані нами шляхом проведення агрохімічного аналізу в спеціалізованій сертифікованій лабораторії. Результати аналізу занесені до таблицю 4.1.

При цьому в ході попереднього експерименту нами відбиралися однакові навішування (100 г) зразків ґрунту і просіювалися через сито з діаметром отворів 0,1 мм для визначення середніх показників змісту в них фізичної глини, результати занесено в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Результати аналізу випробуваних зразків ґрунту

№ зразка ґрунту	P, мг/кг	K, мг/кг	S, мг/кг	pH сол.	pH вод.	Гумус, %	Фізична глина, %
1 – середньосуглинистий чорнозем	10	177	7	5,52	6,58	4,69	31
2 – каштановий середньосуглинистий	18	379	5,8	6,66	7,31	2,41	42
3 – суміш чорноземів	66	849	1,9	7,07	7,23	4,05	24

Для порівняння отриманих нами даних по випробуваним зразкам ґрунту використовували відомі, накопичені за більш ніж 10 літній період, результати досліджень ґрунтового фонду.

Для порівняння даних щодо вмісту фізичної глини у ґрунтових зразки та градації їх за абразивністю, використовували відомі джерела. Зразки відповідають середнім показникам для середніх суглинних 30 ... 45% і легких суглинистих 20 ... 30% ґрунтів степового типу. Зміст фізичної глини у зразку №2 склало 42%, зразку №1 – 31%, і менше її було в зразку №3 – 24%.

за підсумкам порівняння агрохімічних складових випробуваних зразки

відповідають відомим показникам каштанових та чорноземних середньосуглинистих ґрунтів, що знаходяться на території району. Зразок №1 можна, можливо віднести до звичайному підвищеногумусному потужному чорнозему з невеликим просіданням по вмістом калію. Зразок №2 до дуже низько і низькогумусним каштановим - темно- каштановим ґрунтів. А зразок №3 до середньогумусному надпотужному передкавказькому карбонатному чорнозему, де показник калію, ймовірно, підвищений через змішування з іншими типами польових чорноземів.

За результатами досліджень усі зразки ґрунтів відповідають по агрохімічному і гранулометричному складу заявленим з незначними відхиленнями, використовуються для вирощування сільськогосподарських зернових культур Лісостепу України, і обробляються дводисковими сошниками в виробничих умовах рослинницьких господарств, то є підходять для лабораторних випробувань.

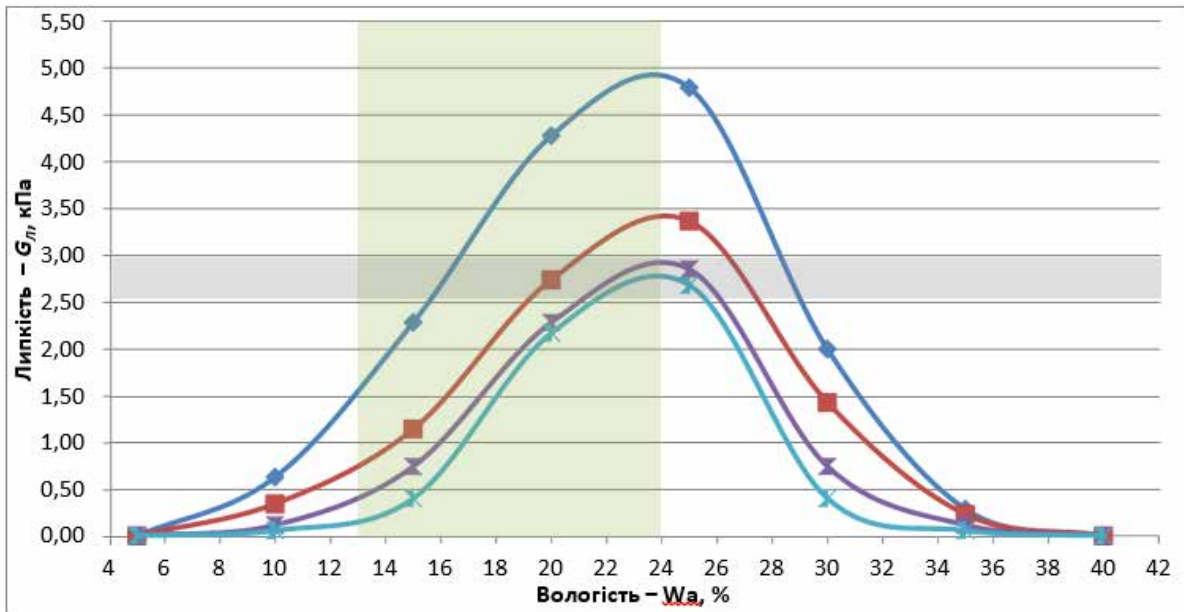
Таблиця 4.2

Дані по липкості ґрунту до різних полімерам і сталі

Вид матеріалу	Липкість G_L , кПа							
	при вологості W_a , %:							
	5	10	15	20	25	30	35	40
Сталь 65Г 54 НРС	0,00	0,63	2,28	4,27	4,79	1,99	0,28	0,00
Фторопласт-4	0,00	0,34	1,14	2,73	3,36	1,42	0,23	0,00
НВМПЕ РЕ-500	0,00	0,11	0,74	2,28	2,85	0,74	0,11	0,00
НВМПЕ РЕ-1000	0,00	0,06	0,40	2,17	2,68	0,40	0,06	0,00

За результатами випробувань на липкість на установці, описаною в главі 3, п. 3.3, були отримані експериментальні дані для полімерів порівнянні зі сталевим зразком (таблиця 4.2).

За даними таблиці 4.2 побудований графік, а також представлені рівняння регресії, отримані на основі експериментальних даних, яким можна, можливо визначити значення липкості G_L при проміжних значеннях вологості в діапазоні $W_a = 8...32\%$ (достовірність апроксимації $R^2 \approx 0,85$) (Рис. 4.1).



$$y = -0,0024x^3 + 0,1162x^2 - 1,4206x + 5,6407 \quad \text{—} \quad \text{65Г 54HRC}$$

$$y = -0,0022x^3 + 0,1161x^2 - 1,6753x + 7,726 \quad \text{—} \quad \text{Фторопласт-4}$$

$$y = -0,0024x^3 + 0,1252x^2 - 1,8652x + 8,6377 \quad \text{—} \quad \text{НВМПЕ РЕ-500}$$

$$y = -0,0028x^3 + 0,1501x^2 - 2,3325x + 11,167 \quad \text{—} \quad \text{НВМПЕ РЕ-1000}$$

Рис. 4.1. Липкість середньосуглинистого чорнозему до різних видів конструкційних матеріалів

На графік нанесена зона фізичної стиглості середньосуглинистого чорнозему, що фактично підтверджується даними експерименту. При цьому видно, що на сталеві диски сошників при роботі в ґрунті вологістю 18% і вище липкість буде збільшуватися понад 3 кПа, у той час як для НВМПЕ вбирається у 2,68...2,85 кПа.

З графіка та аналізу даних, отриманих за рівняннями регресії, видно, що ґрунт починає прилипати до випробуваних матеріалів вже при вологості $W_a = 8...10\%$ при цьому тиск для її відриву (зчищення з поверхні) максимально для сталі 65Г і складає 0,63 кПа, а для полімерів до 1,9...10,5 раз менше – 0,34...0,06 кПа і мінімально для НВМПЕ РЕ-1000. Цей діапазон вологості не є характерним по агротехнічним вимогам до посіву, але при роботі дводискових

сошників в таких умовах налипання ґрунту відсутнє.

Подальший характерний зріст липкості (тиск $G_{Л}$) для всіх матеріалів посідає діапазон вологості $W_a = 10 \dots 18\%$, в якому і проводиться більшість посівних робіт в осінній та весняні періоди. При цьому максимальне значення липкості у сталі – $G_{Л} \approx 4$ кПа, а мінімальне у НВМПЕ – $G_{Л} \approx 1,9$ кПа. Таким чином, можна сказати, що сталь в 2,1 рази гірше очищується від налипла ґрунту, чим НВМПЕ при фізичної стиглості ґрунту. Це опосередковано підтверджується тим, що найкращим діапазоном для якісної роботи сталевих робочих органів рекомендується діапазон вологості $W_a = 15\dots18\%$ (для чорноземів).

Максимальна липкість всіх матеріалів до середньосуглинистому чорнозему спостерігається в діапазоні $W_a = 18\dots28\%$: для сталі 65Г-4,79 кПа, для фторопласту - 4-3,36 кПа, для НВМПЕ РЕ-500 – 2,85 та для НВМПЕ РЕ-1000 - 2,68 кПа. Показник липкості для НВМПЕ при цьому у 1,8...2,2 рази нижче, ніж сталі. Тобто, в той час як модернізовані накладкою із НВМПЕ диски сошника можуть працювати при $W_a = 18 \dots 28\%$ без порушень роботоздатності, пов'язані з налипанням ґрунту, сталевий стандартні диски сошника залипатимуть за рахунок налипання ґрунту на ґрунт вже після $W_a = 18\%$, що при низьких швидкостях посіву призводитиме до відмов у їх роботоздатності.

Після абсолютної вологості ґрунту $W_a = 28\%$ всі зразки починають зчищатися з меншим середнім тиском 2...0,4 кПа, а за 35% вологості ґрунту і вище липкість всіх зразків незначна або відсутня. Це пояснюється тим, що досвідчені зразки середньосуглинистого чорнозему з зростанням вологості набували розчиноподібну консистенцію, яка за рахунок водонасиченості протидіяла налипанню до випробуванім матеріалам.

У реальних умовах експлуатації показник липкості ґрунту до сталевій металевій поверхні може додатково збільшитися при повному руйнуванні лакофарбового покриття. У рамках нашого експерименту лакофарбове покриття зразка із сталі становило порядку 70...80%, тобто. знаходилося на

рівні нового стандартного сошника.

Варто відзначити, що отримані нами дані корелюються з відомими лабораторними випробуваннями. І підтверджуються даними польових експериментів, де напилені на робочі поверхні дисків сошника поліетилен і фторопласт до 5,5 разів краще протидіють налипанню, ніж стандартні сталеві диски.

4.2. Результати польових випробувань модернізованих дводискових сошників

Польові випробування проводилися протягом одного сезону у весняних та осінніх умовах, методика проведення описано в п. 3.6 третьою глави.

У кінці лютого, початку березня 2022 року на полях господарства при вологості ґрунту $W_a = 15 \dots 18\%$ (середньосуглинковий чорнозем), а саме в умовах його фізичної стиглості і найкращою якісною обробки нами проводились такі випробування.

Визначення середнього кількості маси ґрунту, налипаючої на широкорядні дводискові сошники сівалки СЗ-3,6, проводилося при зазначеній вище вологості та швидкості посівного агрегату 10 км/год. В ході польових випробувань до робочих поверхонь дисків стандартного сошника прилипало в середньому 0,29 кг ґрунту, що в 2,6 рази більше, чим на модернізований сошник – 0,11 кг (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Вид модернізованого та стандартних широкорядних (однорядкових) сошників сівалки СЗ-3,6 після польових випробувань

На фото рис. 4.5 видно, що налипла грунт присутній на стандартних сошниках навіть за умов фізичної стиглості ґрунту. У те час як на модернізованому сошнику ґрунт залишається тільки на фаску диска, на кордоні між диском та накладкою НВМПЕ.

Для експериментального обґрунтування оптимального кількості механічних кріплень (заклепок) $n_{\text{Копт}}$ накладки з НВМПЕ в ході польових випробувань нами фіксувалася кількість ґрунту, що потрапляв на кордон між диском і накладкою. Чим менше маса цієї ґрунту, тим надійніше з'єднання і прилягання накладки з НВМПЕ до робочої поверхні диска. на рис. 4.3 показаний графік, складений по результатам отриманих даних.

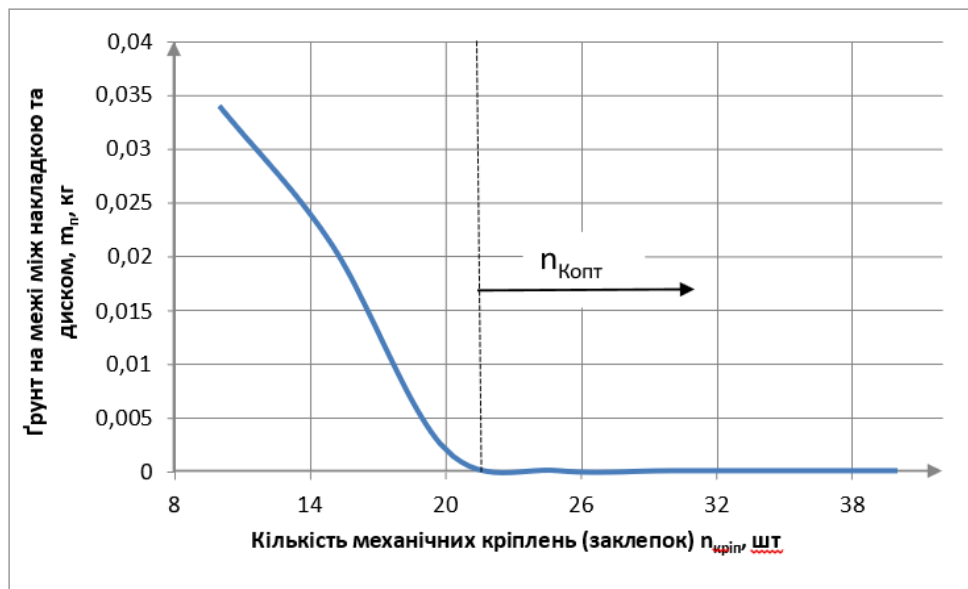


Рис. 4.3. Залежність кількості ґрунту $m_{\text{п}}$, на межі між диском та накладкою із НВМПЕ, від кількості механічних кріплень $n_{\text{кріп}}$ заклепок (без приклеювання накладки)

Як видно з малюнку, отриманий в ході теоретичного аналізу діапазон $l = 0,038 \dots 0,042$ м між кріпленнями діаметру $D_{\text{кріп}}$, що відповідає 23...26 точкам кріплення, підтверджується польовими випробуваннями модернізованих дводискових сошників з різною кількістю механічних кріплень. З результатів польових дослідів видно, що ґрунт на кордоні між накладкою і диском

накопичується при 10...22 шт. заклепок в кількості 0,034...0,003 кг і з подальшим нарощуванням точок кріплення Відсутнє. Таким чином встановлення більше 22 шт. механічних кріплень є необов'язковим та буде порівняно із зайвими витратами та часом робіт при встановленні накладки НВМПЕ.

Тому з обліком наявного обладнання для закріплення накладок на диски і виготовленого розмітного диска, що дозволяє проводити кріплення накладок 12, 24 та 36 шт. заклепками, для подальших випробувань прийняли $n_{\text{Конт}} = 24$ шт.

Додатково в ході польових випробувань модернізованих сошників з накладками із НВМПЕ визначалася порівняльна якість висіву (глибина закладення насіння і форма борозни) їх зі стандартними сошниками при вологості ґрунту $W_a \approx 27\%$.

Фіксувалися відхилення при заданій глибині загортання насіння $h = 0,06$ м (6 см), з обліком допустимих відхилень не більше 0,01 м (рис. 4.4).

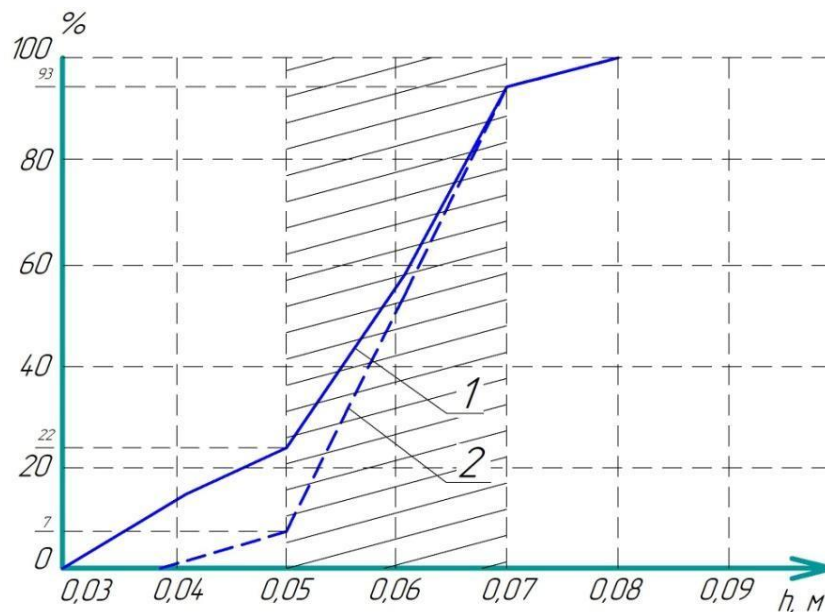


Рис. 4.4. Розподіл по глибині насіння (%) пшениці при висіві їх стандартними 1 та модернізованими 2 дводисковими сошниками сівалки СЗ-3,6 при швидкості руху 2,6 м/с

Як видно з графіка стандартні сошники висівають у середньому до 22% насіння нижче заданою глибини і до 7% вище її. При цьому модернізовані дводискові сошники з полімерним покриттям крупним планом в середньому до

7%, як вище, так і нижче заданої глибини. Таким чином, в умовах підвищеною вологості ґрунту від 24 до 27%, стандартні дводискові сошники укладають на задану глибину тільки до 71% насіння, в то час як модернізовані до 86%, що відповідає агровимог (допустиме відхилення по глибині закладення $\pm 15\%$).

Форма утвореної дводисковими сошниками борозни також дуже впливає на якість закладення насіння зернових культур. Зміни показників глибини h_b та ширини b_b борозни в залежності від швидкості руху порівнюваних сошників v_3 представлені на рис. 4.5.

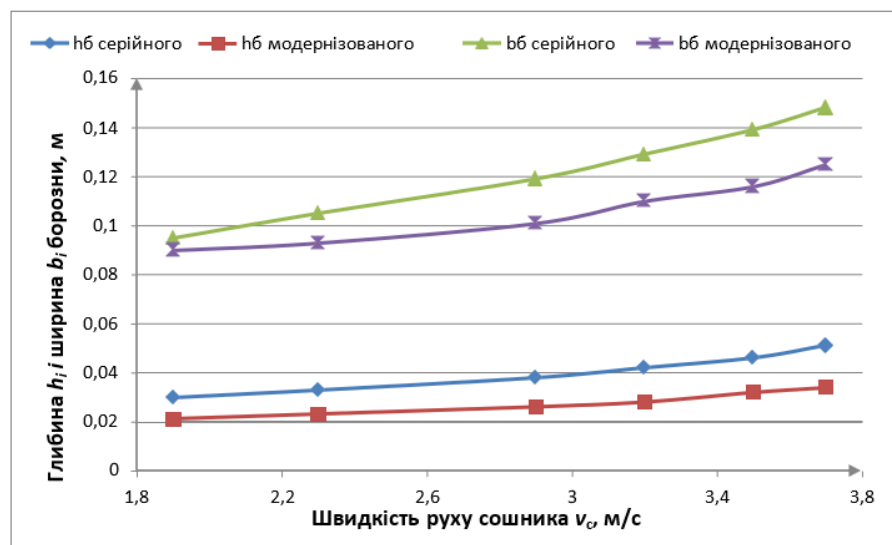


Рис. 4.5. Зміна глибини h_b та ширини b_b борозни, що залишається стандартним та модернізованим дводисковим сошником при збільшенні швидкості руху сошника v_3

Розмір залишкової борозни зростає в обох випадках, але з різною інтенсивністю. Так в відповідно з експериментальними графіками модернізований дводисковий сошник з полімерним покриттям в середньому залишає борозну, до 1,3 разів, з меншою шириною та глибиною ніж стандартний. Це відбувається через налипання на стандартний сошник шару ґрунту, який захоплює додатково налипаючі на нього ґрунтові частинки, що порушує форму борозни і збільшує її розміри.

Аналізуючи ці дані можна, можливо сказати, що модернізовані полімером НВМПЕ дводискові сошники зернової сівалки створюватимуть вирівняну

борозну, що наводить до якісної закладенні насіння на задану глибину при підвищеної вологості ґрунту.

4.3. Результати лабораторних випробувань модернізовані дводискових сошників

У ході експерименту з визначення роботоздатності стандартних та модернізованих дводискових сошників на ґрунтах (суміш чорноземів) різної вологості, що проводяться на лабораторній установці «Ґрунтовий канал» нами фіксувалася маса ґрунту, налипала на диски.

Отримані дані підтверджують достовірність теоретичних передумов щодо зниження налипання ґрунту на модернізовані диски з покриттям з НВМПЕ по порівнянні зі стандартними сошниками. Налипання ґрунту при вологості 5% не було у всіх варіантів сошників, а при $W_a = 15\%$ знижено в 1,6...2,9 разів і за $W_a = 25\%$ знижено до 2,4...2,7 раз для модернізованого вузькорядного і ширококорядного дводискового сошника відповідно до стандартного, що відповідає даним, проведених раніше випробувань (рис. 4.6, 4.7).



а)



б)

Рис. 4.6. Налипання ґрунту на диски ширококорядного (однорядкового) дводискового сошника при випробуваннях у ґрунтовому каналі при вологості ґрунту 15%: а) – модернізований, б) – стандартний

Візуальний аналіз модернізованих дводискових сошників во час

лабораторних випробувань показав, що потрапляння частинок ґрунту (суміш чорноземів) у простір між диском та накладкою НВМПЕ відбувається при будь-якій вологості. Так при вологості ґрунту 5% це дрібні тверді гранули, при 15% вологості в'язкий ґрунтовий шар з дрібними гранулами, а при 25% пастоподібний склад.

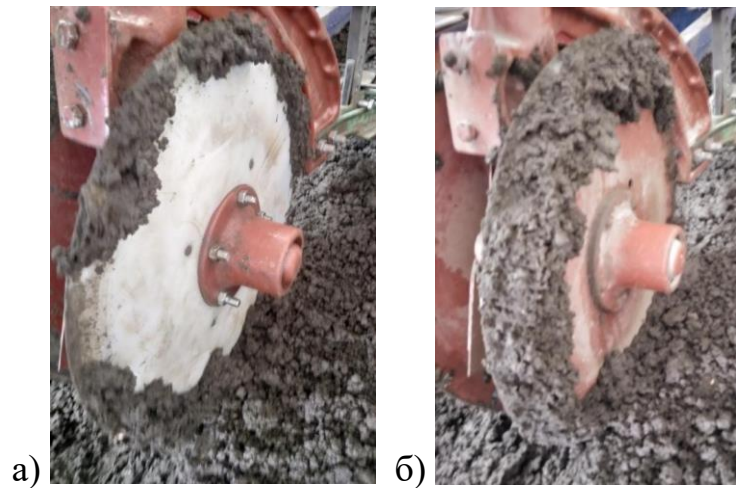


Рис. 4.7 – Налипання ґрунту на диски вузькорядного (дворядкового) дводискового сошника при випробуваннях у ґрунтовому каналі при вологості ґрунту 25%: а) – модернізований, б) – стандартний

За експериментальним даними побудовані графіки залежностей маси налипаючої на стандартні та широкорядні дводискові сошники від абсолютної вологості ґрунту в каналі (рис. 4.8).

Як видно з рис. 4.8 при фізичної стиглості ґрунту $W_a = 13...24\%$ налипання ґрунту на стандартний сталевий дводисковий сошник продовжує стрімко збільшуватися понад 0,4 кг, тоді як на модернізований диск за час випробувань не налипало більше 0,35 кг, що в 2,9 рази менше, ніж на стандартний сталевий за тих же умов експлуатації.

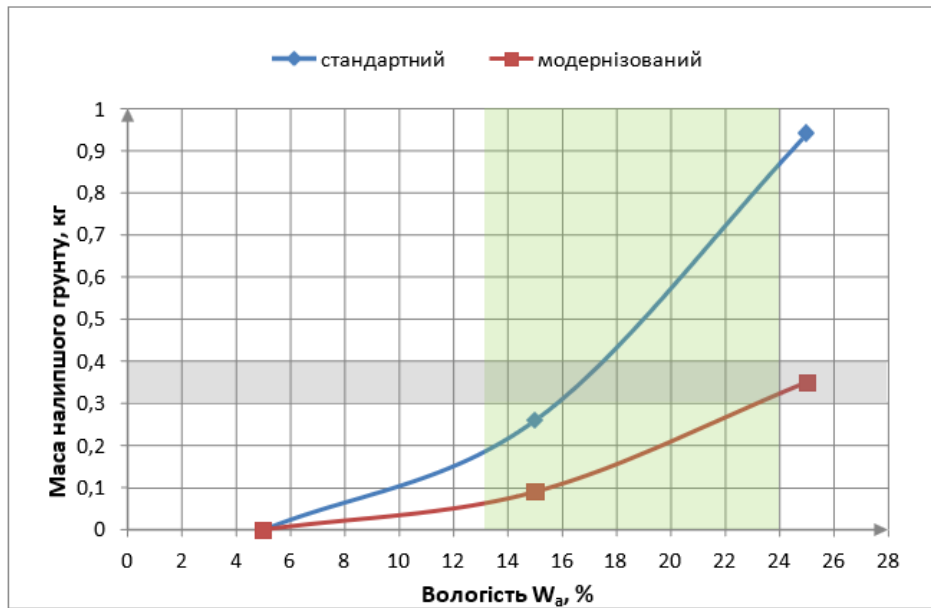


Рис. 4.8. Залежність маси ґрунту, що налипає на диски від його вологості при проведенні експериментів в ґрунтовому каналі

Тобто за абсолютної вологості ґрунту понад 17 % на стандартний сошник ґрунт продовжує налипати все більш інтенсивно, що збільшує коефіцієнт тертя і тягове опір, порушуючи його працездатність, і норми висіву, а модернізований сошник з накладкою з НВМПЕ при цьому знаходиться на рівні найкращою роботоздатності стандартного сошника для якісної обробки ґрунту – $W_a = 15 \dots 18\%$.

4.4. Результати багатофакторного експерименту

При реалізації багатофакторного експерименту в відповідно з методикою п. 3.7 використовувалися вихідні дані результатів перевірки роботоздатності удосконалених дводискових сошників в ґрунтовому каналі, де тензометруванням визначали тяговий опір дослідних зразків сошників. Отримані значення аналізували в матриці планування експерименту в програмі STATISTICA (Таблиця 4.5).

Матриця планування експерименту (STATISTICA)

Standard Run	3 factor Box-Behnken design, 1 block, 15 runs ((No active dataset))						
	Vc, м/с	h,м	Wa,%	Y _{ссш}	Y _{смш}	Y _{ссу}	Y _{сму}
1	2,000000	0,030000	15,00000	81,28	52,78	97,54	64,17
2	3,000000	0,030000	15,00000	98,33	63,85	118,00	77,63
3	2,000000	0,090000	15,00000	136,13	88,40	163,36	107,47
4	3,000000	0,090000	15,00000	163,13	105,93	195,76	128,79
5	2,000000	0,060000	5,00000	103,73	67,36	124,48	81,89
6	3,000000	0,060000	5,00000	119,36	77,51	143,24	94,23
7	2,000000	0,060000	25,00000	132,72	86,18	159,27	104,78
8	3,000000	0,060000	25,00000	148,64	96,52	178,36	117,34
9	2,500000	0,030000	5,00000	62,81	40,78	75,37	49,59
10	2,500000	0,090000	5,00000	103,45	67,17	124,14	81,67
11	2,500000	0,030000	25,00000	109,42	71,05	131,30	86,38
12	2,500000	0,090000	25,00000	180,47	117,19	216,56	142,47
13	2,500000	0,060000	15,00000	112,83	73,26	135,39	89,07
14	2,500000	0,060000	15,00000	111,12	72,16	133,35	87,73
15	2,500000	0,060000	15,00000	115,10	74,74	138,12	90,87

Найбільш значущі фактори для всіх варіантів випробуваних сошників розглядалися з допомогою інструментів прикладення і аналізувалися через наочні графічні інструменти. Градація значимості факторів для функції відгуку $Y_{смш}$ (для модернізованого широкорядного дводискового сошника) на діаграмі ефектів Парето представлена на рис. 4.9.

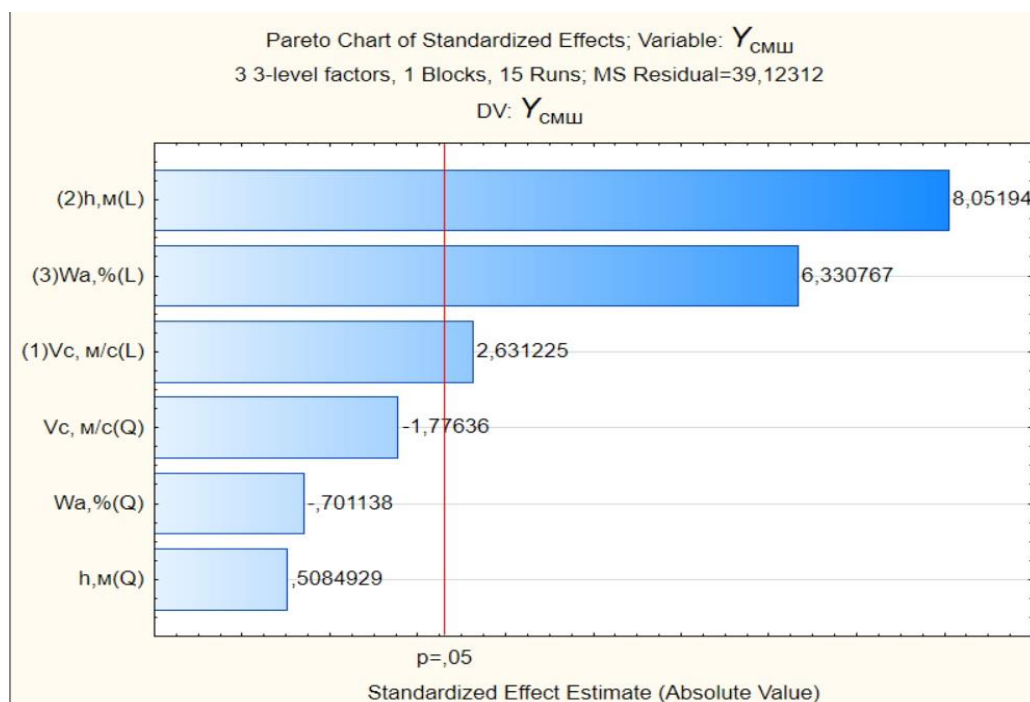


Рис. 4.9. Розподіл значимості факторів від більшого до меншого на діаграмі Парето (STATISTICA)

Як видно з рис. на величину тягового опору дводискового сошника найбільший вплив має глибина його ходу h , другим за значимістю фактором виявилася вологість ґрунту W_a і третім швидкість руху сошника v_c .

Також в ході статистичної перевірки (Критерій Фішера і ін) визначалися значущі та не значущі коефіцієнти регресії, які й використовували для отримання рівнянь регресії. У результаті були побудовані математичні моделі критеріїв оптимізації Y_i (тягових опорів R_{ci} , Н) для 4 варіантів сошників в залежності від прийнятих факторів. У розкодованому відео рівняння регресії для аналізованих критеріїв оптимізації виглядають наступним чином:

$$R_{\text{сш}} = 177,74 - 145,61v_c + 1139,93h + 1W_a + 32,38v_c^2 + 0,03W_a^2;_a \quad (4.1)$$

$$R_{\text{сшш}} = 126,96 - 104,01v_c + 814,24h + 0,72W_a + 23,13v_c^2 + 0,02W_a^2;_a \quad (4.2)$$

$$R_{\text{ссу}} = 213,29 - 174,73v_c + 1367,92h + 1,2W_a + 38,86v_c^2 + 0,04W_a^2;_a \quad (4.3)$$

$$R_{\text{сму}} = 152,35 - 124,81v_c + 977,08h + 0,86W_a + 27,75v_c^2 + 0,03W_a^2;_a \quad (4.4)$$

Порівняємо отримані дані по стандартному (рис. 4.10) і модернізованому (рис. 4.11) широкорядному дводисковому сошнику, проаналізувавши поверхні відгуку отриманих для них рівнянь залежностей при абсолютній вологості ґрунту $W_a = 17\%$.

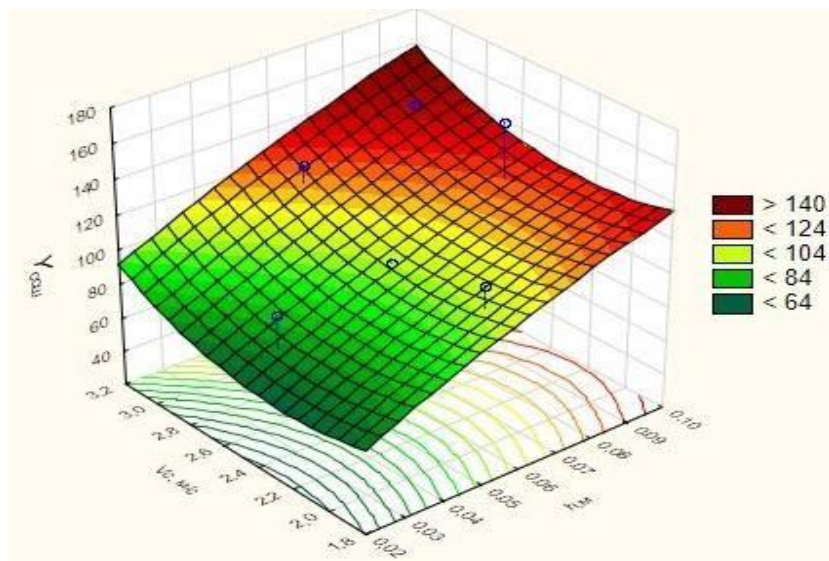


Рис. 4.10. Залежність тягового опору стандартного широкорядного дводискового сошника $R_{\text{сш}}$ ($Y_{\text{сш}}$), Н від швидкості руху v_c , м/с та глибини його ходу h , м при вологості ґрунту $W_a = 17\%$

По поверхнях відгуку рівнянь видно, що при вологості ґрунту $W_a = 17\%$, що відповідає найкращому якості обробки для стандартного сошника, максимальне значення тягового опору досягає порядку 160 Н (стандартний) і 115 Н (модернізований).

Як оптимальний режим роботи стандартного дводискового сошника можна рекомендувати глибину закладення насіння 0,06 м і швидкість його руху $v_c = 2,4$ м/с, коли тяговий опір не перевищує 104 Н. При цьому модернізований сошник може працювати з аналогічними енергетичними витратами при глибині закладення насіння 0,08 м і швидкості $v_3 = 2,6 \dots 3,2$ м/с, а за рахунок зниження тягового опору в 1,4 рази до 76 Н і при глибині закладення 0,06 м зі швидкістю $v_3 = 2,0 \dots 2,6$ м/с.

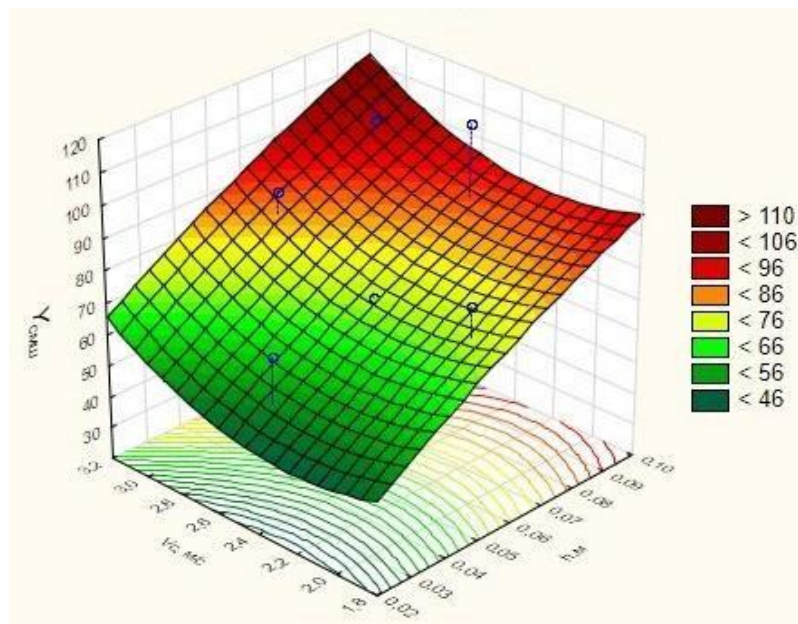


Рис. 4.11. Залежність тягового опору модернізованого широкорядного дводискового сошника R_{cmsh} (Y_{cmsh}), Н від швидкості руху v_c , м/с та глибини його ходу h , м при вологості ґрунту $W_a = 17\%$

При зниженні швидкості руху до 2,3 м/с та глибини ходу сошника до 0,03 м його тяговий опір знижується до 60Н (стандартний) та 40Н (модернізований).

З аналізу отриманих емпіричних залежностей видно, що при збільшенні вологості ґрунту тяговий опір також збільшується. Характер розподілу

поверхонь відгуку для вузькорядного дводискового сошника (стандартного і модернізованого) по рівнянням (4.3) і (4.4).

4.5. Порівняння і аналіз експериментальних даних

Порівняємо тягові опори (теоретичний та експериментальний) для модернізованого широкорядного дводискового сошника.

При цьому поставимо ряд умов: вологість ґрунту знаходиться в межах фізичної стиглості, приймемо $W_a = 18\%$, швидкість руху сошника постійна і дорівнює 2,7 м/с, а глибину закладення насіння варіюватимемо в інтервалі 3...8 см (0,03...0,08 м).

Розрахунки по теоретичному тяговому опору проведемо по формулі. Для розрахунку дослідного тягового опору модернізованого широкорядного дводискового сошника скористаємося рівнянням регресії, отриманим у ході багатофакторного експерименту. Порівняємо графіки теоретичного тягового опору R_{cm} і експериментального $R_{cmш}$ з урахуванням даних та зазначених вище умов.

З графіка на рис. 4.12 видно, що збіжність свідчень знаходиться на хорошому рівні в діапазоні глибини загортання насіння 0,05...0,08 м та відхилення не перевищують 15%, але при глибині 0,03...0,05 м різниця в свідченнях зростає в 1,5 рази. Однак, теоретична залежність достатньо точно відображає зміни в тяговий опорі дводискового сошника після модернізації, а відхилення значень можна пояснити мало точним підбором коефіцієнтів зминання та зсуву ґрунту при розглянутій вологості, а також тим, що при її обчисленні не враховується неодружений хід установки «Ґрунтовий канал», Котрий становив порядку 15,2 ... 17,6 Н.

Далі на основі проведених польових випробувань та методики, наведеною в п. 3.6 третьою глави, проаналізуємо отримані в виробничих умовах досвідчені дані по інтенсивності зношування ріжучих крайок дводискових сошників. Експеримент, проведений в ході випробувань модернізованих і стандартних сошників у різних умовах експлуатації дозволив визначити середні інтенсивності зношування для «нормального» і «зношувального» періоду.

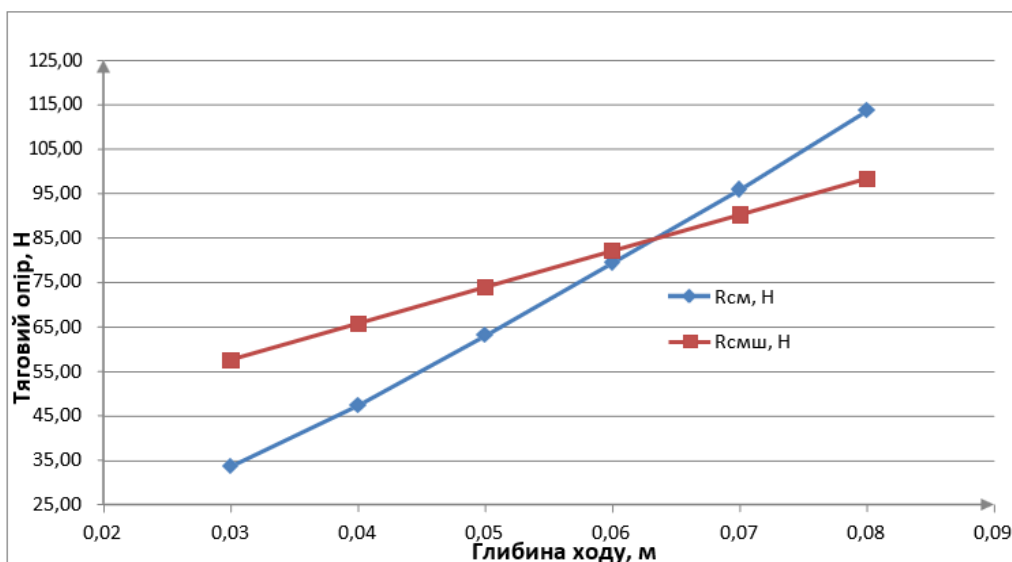


Рис. 4.12. Порівняльний графік теоретичного $R_{см}$ та експериментального $R_{смш}$ показників тягового опору модернізованого дводискового широкорядного сошника зернового сівалки при різній глибині загортання насіння, швидкості 2,7 м/с та вологості ґрунту $W_a = 18\%$

Таблиця вимірювань радіального зношування дисків сошників під час польових випробувань для визначення середньої інтенсивності зношування представлена, а підсумкові результати в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Результати визначення інтенсивності зношування дводискових сошників в польових умовах (на один сошник)

Вид сошника	Інтенсивність зношування на Об`єм робіт $W - J_W$, мм/га		Інтенсивність зношування в перерахунку на шлях тертя $L - J_L$, мм/м		Напрацювання до вибракування сошника $W_{сош}$, га	
	«нормальний» період, Jн	«зносний» період, Jі	«нормальний» період, Jн	«зносний» період, Jі	«нормальний» період	«зносний» період
Стандартний	0,41	1,92	$6 \cdot 10^{-7}$	$29 \cdot 10^{-7}$	30,12	6,25
Модернізований	0,25	1,62	$4 \cdot 10^{-7}$	$24 \cdot 10^{-7}$	48,56	7,54

Виходячи з отриманих в ході польових випробувань даних, при перерахунку на шлях тертя L сошників по полю визначили інтенсивність зношування J_L сошника в мм/м та розмір фактичного обсягу робіт на один сошник $W_{сош}$ у га. Дані таблиці 4.7 дозволяють спрогнозувати ресурс сошників

зернових сівалок на основі різних значень коефіцієнта роботоздатності k_{pc} дводискового сошника введеного нами у 2 главі п. 2.5, формула (2.13). Даний коефіцієнт може приймати різні значення для співвідношення $T_H : T_I$ в залежності від напрацювання в відповідний період. Наприклад, якщо $k_{pc} = 0,25$, то $T_H : T_I = 1 : 3$, при $k_{pc} = 0,5$ – $T_H : T_I = 1 : 1$, і якщо $k_{pc} = 0,75$, то $T_H : T_I = 3 : 1$.

З обліком вищевикладеного нами розроблено номограма прогнозування ресурсу дводискових сошників, яка представлена на рис. 4.13.

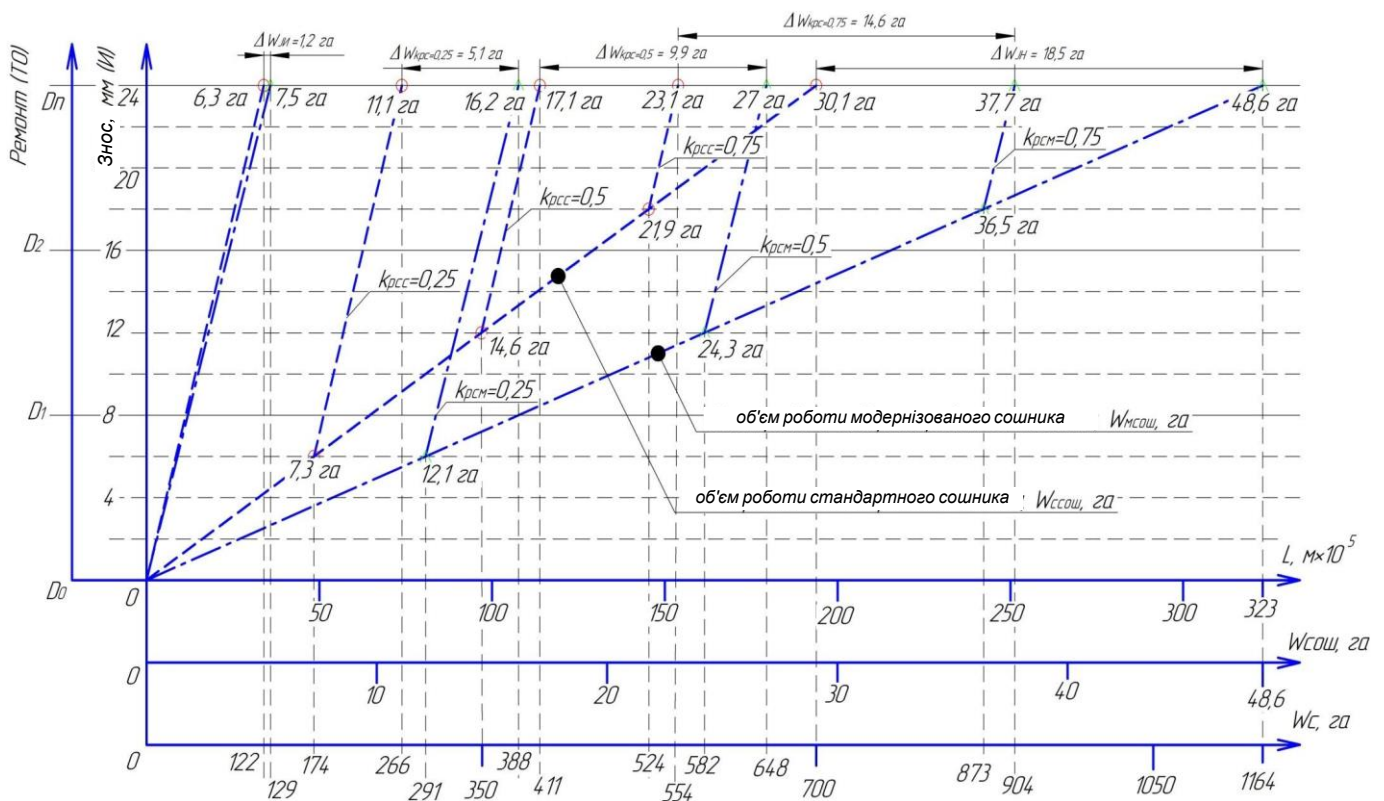


Рис. 4.13 – Номограма прогнозування ресурсу дводискових сошників

На номограмі представлений обсяг роботи W_c (га) зернової сівалки СЗ-3,6, до напрацювання її дводискових сошників, тобто. до зменшення радіального розміру дисків до 12 мм із вихідного $D_0 = 350$ мм до останнього ремонтного діаметра $D_n = 326 \pm 0,5$ мм на ґрунтах різної вологості та с різної зношує здатністю.

При цьому, використовуючи цю номограму, виробничники можуть підлаштовувати наявну у них посівну техніку під проведення ТО в відповідно до встановлених ремонтних розмірів D_1 , D_2 і т.д. для відновлення дводискових

сошників зернових сівалок або у зручне для них час. Виходячи з конкретних умов експлуатації в тому чи іншому регіоні, типу ґрунту та його вологості, як у весняний, так і в осінній періоди роботи напрацювання з різної інтенсивністю зумовлює підсумковий ресурс сошника. Як видно, прогноз напрацювання: для стандартного комплексу сошників складає $W_c = 122...700$ га та для модернізованих сошників $W_c = 129...1164$ га.

При цьому, як показано на рис. 4.13, ресурс модернізованого сошника при постійній роботі в «умовах підвищеного зношування», або період T_I не перевищуватиме 7,5 га, а різниця у напрацюванні між ним і стандартним сошником, пропрацював в тих ж умовах, складе всього $\Delta W_{II} = 1,2$ га. У разі значення коефіцієнта роботоздатності сошника k_{pc} буде прагнути до мінімального свого значення.

У ідеальному варіанті, коли сошник працює весь період в «нормальних умовах» експлуатації T_H , або в агротехнічні терміни, є коефіцієнт роботоздатності сошника k_{pc} прагнути до 1 до вибракування модернізованого сошника складе 48,6 га, а стандартного в 1,6 рази менше – 30,1 га для, при різниці $\Delta W_{JH} = 18,5$ га.

Різниця в обсягах робіт $\Delta W k_{pc}$, виконуваних стандартними і модернізованими сошниками для трьох різних значень коефіцієнта роботоздатності сошника k_{pc} , також показано в верхній частині номограми рис. 4.13.

Так в випадку коли $k_{pc} = 0,25$, стандартний сошник пропрацює 3,8 га в «умови підвищеного зношування» T_I при інтенсивності зношування J_I та 7,3 га в «нормальних умовах» T_H при J_H за весь період його служби. Модернізований в тих ж умовах буде працювати 4,1 га і 12,1 га відповідно по періодам T_I і T_H . Різниця в обсязі робіт сошників складе $\Delta W k_{pc=0,25} = 5,1$ га, то є модернізований дводисковий сошник зерновий сівалки буде мати ресурс в 1,46 рази більше, чим стандартний.

При $k_{pc} = 0,5$ об'єм роботи до вибракування модернізованого дводискового сошника в 1,58 рази вище, чим у стандартного і складає $\Delta W k_{pc=0,5} = 9,9$ га. При цьому напрацювання модернізованого сошника буде дорівнює

24,3 га та 2,7 га, а стандартний 14,6 га, та 1,6 га в періоди T_I , та T_H відповідно.

Для останнього представленого варіанта співвідношення періодів $T_H : T_I = 3 : 1$, або коли $k_{pc} = 0,75$ різниця в ресурсі аналізованих варіантів дводискових сошників складе $\Delta W_{k_{pc}=0,75} = 14,6$ га, то є в 1,6 рази більше для модернізованого (37,7 га) порівняно зі стандартним (23,1 га). За весь термін служби, модернізований сошник пропрацює 36,5 га період T_H і 1,2 га в T_I , а стандартний 21,9 га, і 1,2 га в період T_H , і T_I відповідно.

Таким, чином, використовуючи представлену на рис. 4.13 номограму прогнозування ресурсу дводискових сошників зернової сівалки, засновану на експериментально певних значеннях інтенсивності зношування робочих поверхонь модернізованого та стандартного сошників можна визначити ресурс у будь-який з періодів їх напрацювання протягом усього терміну служби до вибракування або капітального ремонту.

1. Експериментальні випробування застосовуваних полімерних матеріалів в лабораторних та польових умовах показали:

- максимальна липкість при $W_a = 18...28\%$ і складає для сталі 65Г - 4,79 кПа, для фторопласту-4 – 3,36 кПа, а для НВМПЕ РЕ-1000 та РЕ-500 – 2,68...2,85 кПа відповідно. Маса ґрунту, налипала на модернізований дводисковий сошник, в порівнянні зі стандартним, знижена до 2,9 разів при $W_a = 18...25\%$ з 0,94 кг до 0,35 кг. В той час як стандартний сошник буде працювати з порушенням норм висіву вже при $W_a = 18\%$ і вище, модернізований може працювати без них і при $W_a = 28\%$.

- коефіцієнти тертя f при $W_a = 5...25\%$ відповідно склали для сталі 65Г - 0,43...0,79, для фторопласту-4 - 0,24...0,46, а для НВМПЕ РЕ-500 4 - 0,18...0,42 і для НВМПЕ РЕ-1000 в 2,5 рази менше ніж у сталі 65Г 54 НРС– 0,17...0,34.

- інтенсивність зношування в середньосуглинистому каштановому ґрунті щодо сталі 65Г 54 НРС для фторопласту-4 склала 4,5, для НВМПЕ РЕ-500 – 0,31 і 0,26 для РЕ-1000. Відносний знос о нежорстко і жорстко закріплений абразив в порівнянні зі сталлю 65Г 54 НРС для НВМПЕ РЕ-500

становив 1,68...0,75 і для НВМПЕ РЕ-1000 – 1,47...0,38 відповідно.

2. При дослідженні модернізованих дводискових сошників на ґрунтах різної вологості встановлено:

- оптимальне кількість механічних кріплень накладки з НВМПЕ не менше 22 шт. для надійного її кріплення по діаметру $D_{\text{кріп}}$.

- в ході багатofакторного експерименту, що тяговий опір модернізованих широкорядних сошників становить 40...115 Н, що у 1,3...1,5 рази нижче, чим у стандартних.

- інтенсивність зношування в періоди T_H і T_I склала відповідно для стандартного і модернізованого дводискового сошника 0,41...1,92 мм/га, і 0,25...1,62 мм/га. на основі цих даних складено номограма, яка дозволяє спрогнозувати програму проведення чергового ремонту в залежності від обсягів запланованих робіт і зношує здібності ґрунту. Максимальний ресурс при коефіцієнті роботоздатності $k_{pc} \approx 0...1$ для модернізованого сошника склав 7,5...48,5 га, що в 1,2...1,6 рази вище, чим для стандартного.

3. Польовими випробуваннями встановлено, що модернізовані дводискові сошники, на відміну від стандартних, укладають насіння на задану глибину до 86% і залишають більше вирівняну борозенку, забезпечуючи виконання заданих агрономог в умовах підвищеної вологості ґрунту.

4. Аналіз експериментальних даних показав хорошу збіжність теоретичних і експериментальних показників тягового опору модернізованого сошника, при глибині закладення насіння 0,05 ... 0,08 м відхилення значень не перевищують 15%.

Порівняльна оцінка різних варіантів сошників пропонованим техніко-економічним показником показала, що модернізований дводисковий сошник знижує витрати до 1,4 рази по порівнянні зі стандартним і до 2,2 раз по порівнянні з сошником з фторопластовим покриттям.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОПОЗИЦІЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ СОШНИКІВ

Для проведення техніко-економічної оцінки керувалися запропонованою нами во 2 главі, методикою порівняльною оцінкою дводискових сошників зернових сівалок:

Експлуатаційні витрати грошових коштів $Z_{\text{заг}}^i$ (грн.), що припадають на виконання посівних робіт (га) дводисковим сошником зерновий сівалки (СЗ-3,6 (JD 730)) розглянемо стосовно до всіх аналізованих в розділі 2 варіантів формула прийме вигляд:

- дводисковий сошник у стандартному виконанні

$$Z_{\text{заг}}^c = K_{\text{ТО}} \cdot (Z_{\text{оп}} + Z_{\text{тн}} + Z_{\text{тз}} + Z_{\text{то}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{вгк}}), \quad (5.1)$$

де $Z_{\text{заг}}^c$ – загальні витрати на експлуатацію стандартного серійного дводискового сошника, грн./га;

$K_{\text{ТО}}$ – кратністю проведення чергового ремонту (ТО), розраховується по формулі, в подальших розрахунках приймали кратність рівну 3;

$Z_{\text{оп}}$ – витрати на оплату праці робітником при організації посівних робіт зернових культур, грн./га;

$Z_{\text{тн}}^i$ і $Z_{\text{тз}}^i$ – витрати на паливно-мастильні, паливні матеріали «нормальний» і «зношування» період роботи відповідно, грн./га:

$$Z_{\text{тн}}^i = g_{\text{тн}} \cdot \text{Ц}_{\text{т}} \cdot k_{\text{см}}, \quad (5.2)$$

$g_{\text{тн}}^i$, питома витрата моторного палива в i -ий період роботи, л/га;

$\text{Ц}_{\text{т}}$ – ціна моторного палива, грн./л;

$k_{\text{см}}$ – коефіцієнт обліку ціни мастильних матеріалів, що приймали рівним 1.

$Z_{\text{то}}$ – витрати на проведення ТО та ремонту дводискових сошників зернових сівалки, грн./га:

$$Z_{\text{то}} = \frac{B_{\text{сс}} k_p}{W_c} 10^{-4}, \quad (5.3)$$

де $B_{\text{сс}}$ – ціна стандартною зерновий сівалки СЗ-3,6 (без ПДВ), грн.;

K_p – значення відрахувань на ремонт та технічне обслуговування від ціни техніки на 100 год її роботи, прийнятий у конкретній державі, % (для зернових та трав'яних сівалок – 7,78%);

W_c – продуктивність сівалки за 1 рік експлуатації, га;

Z_A – амортизаційні відрахування, грн./га:

$$Z_A = \frac{1}{W_c} \cdot \frac{B_{cc}}{R_m}, \quad (5.4)$$

де R_m – значення амортизаційного ресурсу сівалки, год. (для зернових і трав'яних сівалок – 819 год.);

$Z_{ВГК}$ – витрати грошових коштів, грн./га, для подальших розрахунків приймали в розмірі 5% від загальної вартості робіт за один період експлуатації сошника до ремонту.

- дводисковий сошник, покритий полімерним матеріалом, наприклад, фторопластом:

$$Z_{ЗАГ}^{III} = K_{ТО} \cdot (Z_{ОТ} + Z_{ТН}^{III} + Z_{ТИ}^{III} + Z_{ПП} + Z_{ВП} + Z_{ТО} + Z_A + Z_{ВГК}) + Z_{ЗАГ}, \quad (5.5)$$

де $Z_{ЗАГ}^{III}$ – загальні витрати на експлуатацію стандартного серійного дводискового сошника, грн./га;

$Z_{ПП}$ – витрати, які включають закупівлю матеріалів і оплату праці робітником при нанесення полімерного покриття, грн./га, розраховували по формулі:

$$Z_{ПП} = \frac{n_c g_\phi}{W_p} \cdot C_\phi + \frac{Z_{ТО}}{2}, \quad (5.6)$$

де n_c – кількість сошників на сівалці, шт., 24 шт. для СЗ-3,6;

g_ϕ , питома витрата фторопласту на один сошник, кг, за даними 5 кг;

W_p – обсяг роботи дводискового сошника за аналізований період, га; C_ϕ – ціна фторопласту, грн./кг.

$Z_{ВП}$ – витрати на додаткове відновлення полімерного покриття для продовження експлуатації на том ж рівні, що і модернізовані, розраховується по формулою, для подальших розрахунків прийняли $Z_{ВП} = Z_{ПП}$.

$Z_{ЗАГ}$ – витрати пов'язані з закупівлею обладнання для нанесення полімерного покриття, грн./га. Вартість обладнання для нанесення полімерного покриття (без ПДВ), грн., по даними в перерахунку на 2023 рік – 80 тис. грн. При розрахунках для даного варіанти включали в вартість сівалки B_{cc} .

модернізований дводисковий сошник:

$$Z_{ЗАГ}^M = K_{ТО} \cdot (Z_{ОТ} + Z_{ТН}^M + Z_{ТІ}^M + Z_{ТО} + Z_A + Z_{ВГК}) + Z_{МОД}, \quad (5.7)$$

де $Z_{МОД}$ – витрати на проведення модернізації, грн./га:

$$Z_{МОД} = \frac{n_c g_{CBMPE}}{W_P} \cdot C_{CBMPE} + \frac{Z_{ТО}}{2}, \quad (5.8)$$

де g_{CBMPE} , – питома витрата НВМПЕ на один сошник, m^2 ;

C_{CBMPE} – середня ціна листа НВМПЕ завтовшки 3 мм на початок 2023 року, грн./ m^2 .

Сукупні витрати грошових коштів за річний умовний об'єм роботи обчислювали за формулі:

$$Z_{COB}^i = Z_{ЗАГ}^i W_P \quad (5.9)$$

Порівняльна економічна ефективність визначалася річний економією сукупних витрат грошових коштів від експлуатації модернізованих дводискових сошників у порівнянні зі стандартним або відомим E_p , грн./рік:

$$E_p = Z_{COB}^i - Z_{COB}^M, \quad (5.10)$$

де Z_{COB}^i , Z_{COB}^M - сукупні витрати грошових коштів по порівнюваної і модернізованою моделі сошника, грн.

Термін окупності додаткових капітальних вкладень $C_{ок}$, років:

$$C_{ок} = \frac{K_B}{E_p}, \quad (5.11)$$

де K_B – капітальні вкладення, грн.

Чистий дисконтований дохід (NPV/ЧДД), використовуючи функціонал MSExcel, визначали за формулі:

$$NPV(ЧДД) = -IC + \sum_{t=1}^{t=8} CF(1+r_d)^t, \quad (5.12)$$

де IC – початкові інвестиції (капітальні вкладення), тис. грн.;

CF_t – потоки коштів у конкретний період терміну окупності проекту, які являють собою суми надходжень та відтоків грошових коштів в кожному конкретному періоді t ($t = 1...n$);

r_d – ставка дисконтування.

Результати розрахунку загальних витрат від експлуатації стандартного, покритого полімерами і модернізованого сошника представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Порівняльна економічна оцінка дводискових сошників

Показник	стандартний	покритий полімерним складом (фторопласт)	модернізований НВМІПЕ РЕ-500
Оплата праці робітникам, грн./га	104,0	104,0	104,0
Витрати на ПММ в «нормальний» період роботи, грн./га	150,4	131,6	131,6
Витрати на ПММ в «зносний» період роботи, грн./га	173,9	155,1	155,1
Витрати на проведення ТО і ремонту, грн./га	155,6	176,8	148,5
Амортизаційні відрахування, грн./га	244,2	277,5	233,1
Витрати на нанесення полімерного покриття, грн./га		320,4	
Відновлення зносився покриття, грн./га		320,4	
Витрати на проведення модернізації, грн./га			102,1
Витрати грошових коштів, грн./га	41,4	74,3	43,7
Загальні витрати на експлуатацію, грн./га	707,4	1416,7	774,8
Кратність ремонтів за аналізований період експлуатації, у	3,4	2,3	2,3
Сукупні витрати грошових коштів за аналізований період, грн.	111967,2	198240,9	59573,2
Річна економія загальних витрат коштів при експлуатації модернізованих сошників по порівнянні з..., грн.	52394,0	138667,6	
Термін окупності вкладень при експлуатації модернізованих сошників порівняно з..., років	0,8	0,3	

Техніко-економічна порівняльна оцінка показала, що експлуатація

модернізованих дводискових сошників з обліком середнього обсягу роботи 300 га/рік дозволяє:

- отримати по порівнянні зі стандартними сошниками річну економію загальних витрат грошових коштів 52,4 тис. грн. при терміні окупності 0,8 року;

- отримати по порівнянні з сошниками, покритими полімерним складом (Фторопластом) річну економію загальних витрат грошових коштів 138,7 тис. грн. при терміні окупності 0,3 роки.

Використовуючи отримані дані техніко-економічних розрахунків у 4 та 5 розділах можна, можливо розрахувати чистий дисконтований дохід ЧДД від впровадження модернізованого дводискового сошника зернової сівалки з накладками з НВМПЕ на дисках (Таблиця 5.2).

Таблиця 5.2

Розрахунок ЧДД при впровадженні модернізованих дводискових сошників

Період, рік	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Грошовий потік - CF_t , тис. грн.	-39,6	52,4	52,4	-39,6	52,4	52,4	-39,6	52,4	52,4
Ставка дисконту, %	13								
ЧДД, тис.грн.	91,95								
Прибутковість від модернізації, %	99%								

Як видно з таблиці, ЧДД від модернізації за 8 літній період становитиме 91,95 тис. грн. з урахуванням ставки дисконту 13% та необхідністю повторної модернізації дисків сошників кожних два роки. Прибутковість від впровадження даної технології складе 99%.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень дозволив встановити, що в справжнє час зміни умов вирощування зернових культур пред'являють особливі вимоги до властивостям робочих поверхонь дискових сошників посівних машин. Ефективність використання сівалок знижується як через підвищений знос дисків при роботі сошників у посушливих умовах, так і через налипання ґрунту при підвищеній її вологості. Для забезпечення роботоздатності зернових сівалок на ґрунтах різної вологості запропоновано модернізувати властивості робочої поверхні дисків сошників гідрофобним і зносостійким пластиком НВМПЕ.

2. Теоретичні дослідження взаємодії модернізованих дисків сошника з ґрунтом різної вологості дозволили:

- встановити залежність коефіцієнта роботоздатності дводискового сошника k_{pc} , яка враховує інтенсивність зношування робочих поверхонь дисків в «нормальний» T_H і в «зносний» T_I періоди експлуатації, а також дозволяє виявити резерви підвищення ресурсу дисків сошника і розробити програму відновлення їх роботоздатності на ґрунтах різної вологості;

3. Експериментальні дослідження властивостей полімерних матеріалів, застосовуваних для модернізації дисків сошників, показали, що:

- у НВМПЕ РЕ-1000 і РЕ-500 липкість ґрунту при $W_a = 18...28\%$ становить 2,68...2,85 кПа, це в 1,25 і 1,79 разів менше, ніж у фторопласту-4 і стали 65Г, відповідно;

- коефіцієнти тертя f при $W_a = 5...25\%$ склали для сталі 65Г - 0,43...0,79, для фторопласту-4 – 0,24...0,46, НВМПЕ РЕ-500 – 0,18...0,42 та для НВМПЕ РЕ-1000 – 0,17...0,34, відповідно;

- інтенсивність зношування в середньосуглинковому каштановому ґрунті щодо сталі 65Г (HRC 54) для фторопласту-4 склала 4,5, для НВМПЕ РЕ-500 – 0,31 і 0,26 для РЕ-1000, а відносний знос о не закріплений абразив для НВМПЕ РЕ-500 склав 0,75 і 0,38 для РЕ-1000.

4. Виконаними дослідженнями підтверджено ефективність модернізації

дисків сошників на ґрунтах різної вологості, при цьому:

- експериментально підтверджено зниження тягового опору модернізованих сошників в 1,3...1,5 раз в порівнянні зі стандартними;

- отримані значення інтенсивності зношування (для стандартного і модернізованого сошника 0,41...1,92 мм/га, і 0,25...1,62 мм/га) дозволили розробити номограму прогнозування ресурсу дисків сошників і програму відновлювальних ремонтів в залежності від обсягів посівних робіт та коефіцієнта роботоздатності сошника $k_{рс}$, а ресурс для модернізованого сошника складе 7,5.. 48,5 га, що в 1,2...1,6 рази вище, ніж для стандартного;

5. Модернізовані сошники забезпечують потрібне якість робіт при формуванні борозенки та заданої глибини посіву до 86%, відмінність від стандартних сошників, на ґрунтах підвищеною вологості.

Техніко-економічна оцінка порівнюваних варіантів сошників запропонованим критерієм показало, що модернізований дводисковий сошник знижує витрати до 1,4 раз по порівнянні з стандартним;

6. Впровадження результатів досліджень по забезпечення роботоздатності дводискових сошників на ґрунтах різної вологості за рахунок модернізації дисків сошників зернової сівалки при середньому обсязі робіт 300 га/рік, що дозволяє знизити річні експлуатаційні витрати на 52394 грн., при терміні окупності 0,8 року, чистий дисконтований дохід – 91950 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, М.Я.Дмитришак, Р.В.Шатров та ін.. За ред. В.Д.Гречкосія, М.Я.Дмитришака. – Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – 288 с.
2. Адамчук В. В. Стан наукового забезпечення механізації сільського господарства в Україні. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. Вип. 13., кн. 1. С. 21–29.
3. Гуков Я. С. Наукове забезпечення формування державної політики стосовно відтворення та оновлення матеріально-технічної бази агропромислових підприємств. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2008. Вип. 92. С. 13–25.
4. Агеєва І. В. Розвиток системи інженерно-технічного обслуговування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2007. Вип. 54. С. 160–168.
5. Демко О. А. Вплив кваліфікації операторів на ефективність використання машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2009. Вип. 134, Ч.2. С. 159–169.
6. Васильєва Н. К. Економіко-математичне моделювання системного інноваційного оновлення аграрного виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра екон. наук : 08.00.11 Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці. Київ. 2007. 36 с.
7. Атнагулів Д.Т. Сошники сівалок для посіву зернових культур / Матеріали XLVII міжнародної науково-практичної конференції «Досягнення науки - агропромислового виробництва». - К, 2008. - ч. 3. - с. 39-41.
8. Аніскевич Л. В. Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Київ. 2005. 36 с.
9. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування

автомобільних транспортних систем: монографія. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.

10. Аулін В. В., Гриньків А. В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану 248 транспортних засобів на основі теорії сенситивів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2016. №5. С. 109–116.

11. Аулін В. В., Гриньків А. В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С. 36–41.

12. Аулін В. В., Гриньків А. В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С. 36–41.

13. Агротехнічна ефективність суміщення операцій посів внесенням добрив / SciCenter.online // URL: <https://scicenter.online/sredstva-mexanizacii-tehnologii-scicenter/agrotehnicheskaya-effektivnost-sovmescheniya-50289.html> .

14. Астахов В.С. Посівна техніка: аналіз і перспективи розвитку[Текст] // Трактори і сільськогосподарські машини. - 2010. - №1. – с.6-8 .

15. Роговський І. Л. Аналітичне визначення факторів впливу на коефіцієнт готовності сільськогосподарських машин в системі їх технічного обслуговування. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. Вип. 35. С. 224–228.

16. Альбом довідник по виробничій експлуатації машино - тракторного парку [Текст]/Упоряд. С.В. Старцев, А.С. Старцев, Д.Г. Горбань; - К, 2011 року. - 322 с.

17. Біловод О. І. Підвищення надійності і обґрунтування параметрів процесу виробництва і відновлення розроблених дискових копачів бурякозбиральних машин : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Харків. 2008. 20 с.

18. Бірюков Д. С. Аналіз та оптимізація надійності складних систем з багатьма станами : автореф. дис... канд. техн. наук: 01.05.04. Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка. Київ. 2009. 20 с.
19. Апажєв А.К., Шекіхачов Ю.А. , Хажметов Л.М. / Модернізація зернової сівалки для роботи в умовах підвищеною вологості ґрунтів: Наука та вищапрофесійне освіта. - 2016. № 3 (43). - с. 238-245 .
20. Белік, Г.С. До питання о впливі електроосмосу на зниження тягового опору ґрунтообробних машин. / Ін-т механіз . і електр . сіль. госп-ва. - 2009, вип . 47. - с. 110-114 .
21. Бурченко П.М., Хумаров Р.Т. / Адгезійні властивості ґрунту при взаємодії з різними матеріалами. // Механізація і електр . соц. сіль. госп-ва. - 1971, № 5, - с. 34 -38.
22. Безпам'ятнова Н.М. Науково-методичні основи адаптації ґрунтообробних і посівних машин. - 2002. - 176 с.
23. Василенка П.М., Василенка І.І. Автоматизація процесів сільськогосподарського виробництва [Текст] / 2-ге вид., перероб . і дод. - Москва: Колос, 1972. - 574 с.
24. Верещагін І.П., Котлярський Л.Б., Морозов В.С. та ін. Технологія та обладнання для нанесення полімерних покриттів в електростатичному поле. - К.: Енергоатоміздат, 1990. - 237 с.
25. Гура, Г.С. Електроосмотичне змочування металевої поверхні тертя при ковзанні по ґрунту / Вісник державного університету шляхів повідомлення. - 2002. № 3. - с. 13-19 .
26. Габаєв, А.Х. Конструктивно-технічні рішення підвищення ефективності роботи сівалки в умовах підвищеною вологості ґрунтів: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / Габаєв Алій Халісович. 2017. - 19 с.
27. Гадалів В.М., Савельєв В.І. / Застосування електроісковоголегування для зміцнення дисків робочих органів сільськогосподарських машин // Вісник державної сільськогосподарської академія. -2016. - № 9. - с. 175-178 .
28. Дисківі сошники. Ремонт ґрунтообробних, посівних, посадкових

машин / // URL: <https://xn-itbachmidudk6msa.xn--plai/remont-pochvoobrabatyvayushhix-posevnyx-posadochnyx-mashin.html>

29. Єроков М.Б. Дослідження і обґрунтування режимів роботи сошника зерновий сівалки в умовах підвищеною вологості ґрунту: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Єроков Мурат Борисович. 2000. - 153с.

30. Желіговський В.А. Елементи теорії ґрунтообробних машин і механічною технології сільськогосподарських матеріалів. - Тбілісі, 1960. - 124 с.

31. Зазуля О.М., Балашов А.В., Стригін С.П., Синельників А.А., Хайрулліна С.Г. / Теоретичне обґрунтування параметрів диска висівного апарату сівалки для гніздового посіву насіння сої // Українська сільськогосподарська наука. 2019. - № 2. - с. 69-71 .

32. Класифікація посівних машин та їх основних робочих органів / Сівалки. // URL: <http://sejalki.ua/articles/obzor-i-otsenka-konstruksiy-ovochevix/klassifikatsiya-posivnyx-mashin-i-ix-osnovnyx.html>. (дата звернення 25.09.23).

33. Качаліна А.В., Калугіна Є.В., Коврига В.В. / До оцінки зносостійкості трубних марок поліетилену // Полімерні труби 2007. № 1 (15). - с. 42-43 .

34. Лебедев А.Т. Ресурсозберігаючі напрямки підвищення надійності і ефективності технологічних процесів в АПК: монографія.- С. - 2012 року. - 376 с.

35. Ларюшин Н.П. , Шуков А.В. / Актуальність ресурсозберігаючої технології посіву зернових культур // Сучасні наукомісткі технології. -2009. - № 6. - с. 18-20 .

36. Московський М.М. Синтез системних рішень технологічного процесу отримання насіння на основі структурно-функціонального моделювання: дис. ... докт . техн. наук: 05.20.01 / Московський Максим Миколайович. К.; 2016. - 389с.

37. Несміян А.Ю., Ценч Ю.С. /Тенденції і перспективи розвитку вітчизняної техніки для посіву зернових культур // Сільськогосподарські машини і технології. - 2018 року. - Т. 12. - № 3. - с. 45-52 .

38. Нагірський І.С., Янушкевич Б.М., Ламан Н.А. / Нові робочі органи для посіву зернових культур. // Техніка в сільському господарстві. - 2006, № 2, - с.

30-31.

39. Нотів Р.А., Лебедєв А.Т. / Теоретичні передумови забезпечення роботоздатності дводискових сошників у ґрунтах різної вологості // Знання молодих: наука, практика і інновації. Зб. наук. тр. ХІХ Міжнарод. наук.- практ. конф. аспірантів і мол. вчених. – К., 2020. - с. 157-161.

40. Пархоменко Г.Г., Божко І.В., Громаків А.В., Пахомов В.І. / Використання пластика в конструкціях ґрунтообробних робітників органів // Трактори і сільгоспмашини. - 2017. № 8. - с. 8-15 .

41. Пахомов В.І., Брагинець С.В., Бур'янов А.І., Московський М.М. / Перспективи застосування пластиків в конструкціях сучасних сільськогосподарських машин // Збірник наукових доповідей Міжнародної науково-технічної конференції. - Науково-дослідний інститут механізації с. г., 2015 року. -С. 26-29 .

42. Пуцинська О.В. Обґрунтування параметрів дводискового сошника зернової сівалки для рівномірною закладення насіння по глибині: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.06.01 / Пуцинська Ольга Володимирівна. - К., 2014. - 20 с.

43. Пастухов А.Г., Кравченко І.М., Волков М.І. / Дослідження зношування дискових сошників сівалки СЗТ-3,6А // Інновації в АПК: проблеми і перспективи. - 2019. - № 3 (23). - с. 55-68.

44. Пильщиків Л.М., Березовський В.Л. Практикум по експлуатації машинно-тракторного парку. - К.: Колос, 2012. - 255 с.

45. Сарсенов, А.Є. Підвищення ефективності зернової сівалки шляхом вдосконалення конструкції сошника для покращення розподілу насіння в ґрунті: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01. –С., 2017. - 210с.

46. Сівалки та посівні комплекси. Зернова сівалка. / Promplace. - техніка та обладнання. // URL: <https://promplace.ua/zernovaya-seyalka-725.htm> (дата звернення 10.10.22).

47. Сівалка зернотукова СЗ-3,6. ПАТ «Червона зірка» <https://elvorti.com/catalog/seyalka/>.

48. Порівняння типів сошників. Диск, лапа чи долото / URL:

<http://www.kaicc./otrasli/mehanizacija/selhoztehnika/sravnenie-tipov-soshnikov-disk-lapa-ili-doloto> (дата звернення 23.01.22).

49. Властивості фторопласту-4 / URL: <https://ftoroplast.com.ua/f4-features/> (дата звернення 9.10.2022).

50. Надвисоко-молекулярні/високомолекулярні полімери // URL: <https://www.plastmass-group.net/plastmass-uhmwpe-hmwpe?lang=ua> (дата звернення 26.02.2022).

51. Властивості НВМПЕ / URL: <https://ftoroplast.com./uhmwpe/> (дата звернення 9.10.2022).

52. Технологічні властивості ґрунту. Механізми та технології. / URL: <https://mehanic-ua./leksii-po-tekhnicheskim-temam/182-tekhnologicheskie-svoystva-pochvy.html> (дата звернення 22.11.2022).

53. Шовкопляс А.В. Аналіз причин зношування дискових робітників органів і моделей зміни властивостей ґрунту під їх дією // Вісник науки освіти. - 2015 року. №3. - с. 1-8.

54. Agricultural machinery journal , 2013 року. - № 4.

55. Banhazi J., Lehoczky EHL. Untersuchungen an Pflügen mit Kunststoffstreichblechen . Agrartechnik , 1985, 35, # 3, - P. 125-128.

56. Schafer Robert, Gill Wiliam R., Reaves Carl A. Lubricatid Plows vs. Sticky Soils. Agr . Eng . - 2010, 58, #10, - P. 34-38 .

57. Pelletier, L. Semoirs pneumatiques in progression / Франція agricole. - 2010, № 4. - P. 55.

58. Trans. ASAE # 61-649 , 1965.

59. United States Patent № 4736803 - A 01 з 7/16, A 01 в 15/16. Self - adjusting scrapers for double disk openers. Roush Daniel E.

60. United States Patent № 4603746, A 01 в 23/06, 172/559. Disk bladescraper. Swales Barton L.

61. Vamerali T., Bertocco M., Sartori L. / Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (Zea mays, L.): A comparison with double-disk opener // Soil and Tillage Research Volume 89, 2006. - P. 196-209.

ДОДАТОК