

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Пастух Іван Борисович**

**УДК 631.331**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ**  
**РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ**  
**ДОВГОВІЧНОСТІ МЕХАНІЗМУ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Пастух І.Б.

**Керівник роботи**

кандидат технічних наук, доцент

**С. В. Міненко**

**Житомир – 2024**

## АНОТАЦІЯ

**Пастух Іван Борисович. Дослідження та оптимізація конструкції рухомих з'єднань для підвищення довговічності механізму посівних агрегатів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі в процесі аналізу конструкцій та умов експлуатації посівних комплексів було встановлено, що основними факторами, що впливають на ефективність роботи техніки, є надійність рухомих з'єднань та здатність механізмів підтримувати постійну глибину посіву на нерівному рельєфі.

Ключовим елементом є паралелограмний механізм копіювання рельєфу, який забезпечує точність сівби та стабільність роботи висівних органів. Для підвищення довговічності рухомих з'єднань проаналізовано та обґрунтовано використання полімерно-композитних матеріалів у вузлах тертя, що сприяє зменшенню зносу деталей і збільшенню їхнього терміну служби.

Проведені дослідження підтвердили ефективність цих матеріалів у зменшенні абразивного зношування деталей посівних комплексів.

Результати експериментів показали, що термін служби деталей з ПКМ перевищує ресурс серійних деталей у чотири рази, а польові випробування підтвердили надійність цих елементів при експлуатації на площі до 20558 га.

*Ключові слова:* дослідження, рухомі з'єднання, зношування, полімерно-композитні матеріали, посівні комплекси.

## ANNOTATION

**Pastuh Ivan Borisovych. Research and optimization of the design of movable joints to increase the durability of the mechanism of sowing units. - *Qualification work on manuscript rights.***

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 208 Agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

In the master's thesis, in the process of analyzing the constructions and operating conditions of sowing complexes, it was established that the main factors affecting the efficiency of the equipment are the reliability of moving joints and the ability of the mechanisms to maintain a constant sowing depth on uneven terrain.

The key element is the parallelogram mechanism for copying the terrain, which ensures the accuracy of sowing and the stability of the sowing organs. In order to increase the durability of moving joints, the use of polymer composite materials in friction nodes has been analyzed and substantiated, which contributes to reducing the wear of parts and increasing their service life.

The conducted studies confirmed the effectiveness of these materials in reducing the abrasive wear of parts of sowing complexes.

The results of the experiments showed that the service life of PCM parts exceeds the service life of serial parts by four times, and field tests confirmed the reliability of these elements when operating on an area of up to 20,558 hectares.

*Key words:* research, movable connections, wear, polymer-composite materials, seed complexes.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ ТА СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ЗБІЛЬШЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ.....	8
1.1. Аналіз конструктивних рішень і умов використання посівних комплексів.....	8
1.2. Характеристика роботи паралелограмного механізму в складі посівних комплексів.....	16
1.3. Підходи до збільшення строку служби рухомих з'єднань паралелограмного механізму.....	20
Висновки до першого розділу.....	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ.....	25
2.1. Підвищення тривалості служби елементів рухомих з'єднань посівних агрегатів шляхом застосування інноваційних матеріалів.....	25
2.2. Виготовлення зразків і деталей з ПКМ для рухомих з'єднань посівних комплексів.....	29
2.3. Методи дослідження відносної абразивної стійкості зразків і деталей, виготовлених із полімерно-композитних матеріалів.....	32
Висновки до другого розділу.....	36
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ.....	38
3.1. Удосконалення конструкції рухомих з'єднань посівного комплексу John Deere 1780 з метою підвищення довговічності.....	38
Висновки до третього розділу.....	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Дослідження та оптимізація рухомих з'єднань механізмів посівних агрегатів є актуальним завданням у сучасному сільськогосподарському машинобудуванні. Посівні агрегати працюють в умовах високих механічних навантажень, агресивного середовища та значних вібрацій, що призводить до інтенсивного зносу їх рухомих з'єднань. Це, в свою чергу, впливає на довговічність техніки, точність посіву та продуктивність аграрних процесів.

Підвищення довговічності рухомих з'єднань дозволить зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також знизити ризик поломок під час критичних етапів польових робіт. Оптимізація конструкції з'єднань також сприяє підвищенню надійності механізмів і забезпечує стабільну роботу агрегатів при різних польових умовах.

У сучасному контексті важливо також зосередитись на інноваційних підходах до проектування механізмів, використовуючи новітні матеріали та технології для зниження зношуваності елементів, зменшення тертя та підвищення ефективності робочих процесів. Тому дослідження в цьому напрямку сприяють подальшому розвитку аграрного сектору та підвищенню загальної ефективності сільськогосподарського виробництва.

Оптимізація конструкції рухомих з'єднань дозволяє не лише подовжити строк їх служби, але й знизити витрати на технічне обслуговування та ремонт, що є критично важливим для підвищення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва. Зменшення зношування рухомих елементів сприяє покращенню якості посіву та рівномірності розподілу насіння, що безпосередньо впливає на врожайність.

Тому, дослідження в цьому напрямі є важливими для розвитку сучасного аграрного машинобудування та впровадження інноваційних технологій у виробничі процеси.

**Об'єктом дослідження** є процес роботи рухомих з'єднань механізму, що забезпечує копіювання рельєфу в посівному комплексі.

**Предмет дослідження** зосереджується на аналізі закономірностей взаємодії елементів рухомих з'єднань копіювального механізму та пошуку способів підвищення їх довговічності через застосування інноваційних матеріалів.

**Мета дослідження** полягає в підвищенні тривалості експлуатації та ефективності роботи механізмів посівних агрегатів шляхом розробки та визначення оптимальних параметрів елементів рухомих з'єднань.

Для досягнення цієї мети передбачається виконати такі завдання:

- провести аналіз умов експлуатації рухомих з'єднань посівних агрегатів і оцінити підходи до підвищення їх довговічності.
- встановити теоретичні закономірності взаємодії компонентів рухомих з'єднань за умов статичних і динамічних навантажень.
- розробити методику для оцінки довговічності деталей рухомих з'єднань із використанням сучасних матеріалів, запропонованих у дослідженні.
- провести експериментальне дослідження властивостей розроблених деталей рухомих з'єднань посівних машин.
- встановити закономірності зношування деталей рухомих з'єднань в залежності від умов експлуатації.

**Методи дослідження.** Дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів та рівня зносу здійснювались відповідно до стандартних методик (ДСТУ 10073:2021 та ДСТУ EN ISO 527-1:2020), а також за авторськими підходами. Обробка результатів експериментів та їхня інтерпретація виконувалась з використанням програмного забезпечення.

**Практична значущість отриманих результатів.** На основі теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано методику виготовлення деталей рухомих з'єднань сівалок із використанням сучасних полімерно-композитних матеріалів. Це дає змогу суттєво підвищити термін їх експлуатації в різних умовах роботи.

**Структура роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, 3 загальних розділів, висновків по роботі, списку використаних літературних джерел. Основний текст магістерської роботи викладений на 45 сторінках, повний обсяг роботи становить 52 сторінок, включаючи 23 рисунки та 6 таблиць. Список використаних джерел нараховує 17 найменувань і розміщений на 2 сторінках.

# РОЗДІЛ 1

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ ТА СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ЗБІЛЬШЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

### 1.1. Аналіз конструктивних рішень і умов використання посівних комплексів

Після початку реформ аграрної галузі в Україні виникла необхідність у тому, щоб орендарі землі мали власний парк сільськогосподарської техніки для проведення всього комплексу технологічних операцій з вирощування різних культур.

Однією з ключових операцій у процесі вирощування сільськогосподарських культур є посів або садіння. Посівна кампанія здійснюється у визначені агротехнічні терміни, що вимагає від посівних машин відповідності ряду специфічних критеріїв: забезпечення високої якості посіву, надійності, ремонтпридатності в польових умовах, а також тривалих інтервалів між технічним обслуговуванням.

Посівні комплекси є ключовими елементами сучасного агропромислового виробництва, що забезпечують ефективність і точність висіву насіння. Аналіз конструктивних рішень та умов їх використання дозволяє оцінити їхню продуктивність, адаптивність до різних умов та можливості модернізації.

#### 1. Конструктивні рішення посівних комплексів

Посівні комплекси складаються з кількох основних компонентів:

- Сівалки: забезпечують рівномірний розподіл насіння за шириною міжряддя.
  - Типи сівалок: механічні, пневматичні, гідравлічні.
  - Переваги пневматичних: точність висіву, можливість роботи на високих швидкостях.



- Підготовчі вузли: дискові або ротаційні секції для підготовки ґрунту.
  - Впливають на якість загорання насіння та мінімізацію пошкодження ґрунту.
- Системи внесення добрив: дозволяють одночасно із висівом вносити добрива.
- Автоматизація та контроль: використання систем GPS, контролерів висіву для підвищення точності та зменшення втрат насіння.

Інноваційні рішення:

- Використання сенсорів для контролю глибини висіву.
- Енергозберігаючі конструкції: оптимізація ваги комплексу для зменшення енергоспоживання.
- Модульність: дозволяє адаптувати комплекс до різних культур і умов.

## 2. Умови використання посівних комплексів

Посівні комплекси повинні бути адаптовані до таких умов:

1. Тип ґрунту:
  - Легкі ґрунти: використовуються легкі посівні комплекси для зменшення ущільнення.
  - Важкі ґрунти: необхідна попередня підготовка ґрунту та комплекси із потужними дисковими секціями.
2. Кліматичні умови:
  - Посушливі райони: системи точкового внесення води або вологозберігаючі технології.
  - Зволожені райони: спеціальні котки для ущільнення ґрунту.
3. Розмір полів:
  - Великі поля: комплекси з широким захватом (12–24 м).
  - Малі поля: маневрені та компактні конструкції.
4. Культури для посіву:

- Дрібнонасінневі культури (ріпак, льон): вимагають високої точності дозування.
- Зернові культури (пшениця, ячмінь): підходять універсальні комплекси.

### 3. Проблеми та перспективи вдосконалення

#### Проблеми:

- Низька адаптивність до зміни умов роботи без переналаштування.
- Зношуваність рухомих з'єднань.
- Висока вартість обслуговування автоматизованих систем.

#### Перспективи вдосконалення:

1. Розширення функціоналу:
  - Інтеграція систем точного землеробства (Precision Farming).
2. Екологічність:
  - Зниження рівня викидів та витрат на паливо.
3. Розробка нових матеріалів:
  - Використання композитів для зниження ваги та підвищення довговічності.
4. Автономні посівні комплекси:
  - Дрони або роботи, які здійснюють висів без втручання людини.

Ефективність посівних комплексів залежить від їх конструктивних особливостей та умов використання. Модернізація таких агрегатів із врахуванням кліматичних і ґрунтових умов, а також інтеграція інноваційних технологій дозволить підвищити врожайність культур, зменшити витрати та вплив на довкілля.

Аналіз сільськогосподарських підприємств за розмірами посівних площ в Україні станом на 2023 рік [2] наведено у таблиці 1.1. У ній представлено спрощену структуру класифікації підприємств та їх відсотковий внесок у загальну площу посівів.

Таблиця 1.1

Приклад підприємств за розмірами посівних площ в Україні на період 2023 року

Група підприємств за розміром посівних площ (га)	Кількість підприємств (%)	Вклад у загальну посівну площу (%)
До 100 га	25%	5%
100 - 500 га	30%	15%
500 - 1000 га	20%	25%
1000 - 5000 га	15%	35%
Понад 5000 га	10%	20%

Класифікацією посівних машин займалися численні науковці, зокрема В. П. Горячкін, А. Н. Карпенко, А. Н. Семенов, Г. М. Бузенков, І. С. Терещенко та інші. Один із варіантів класифікації представлений на рисунку 1.1.

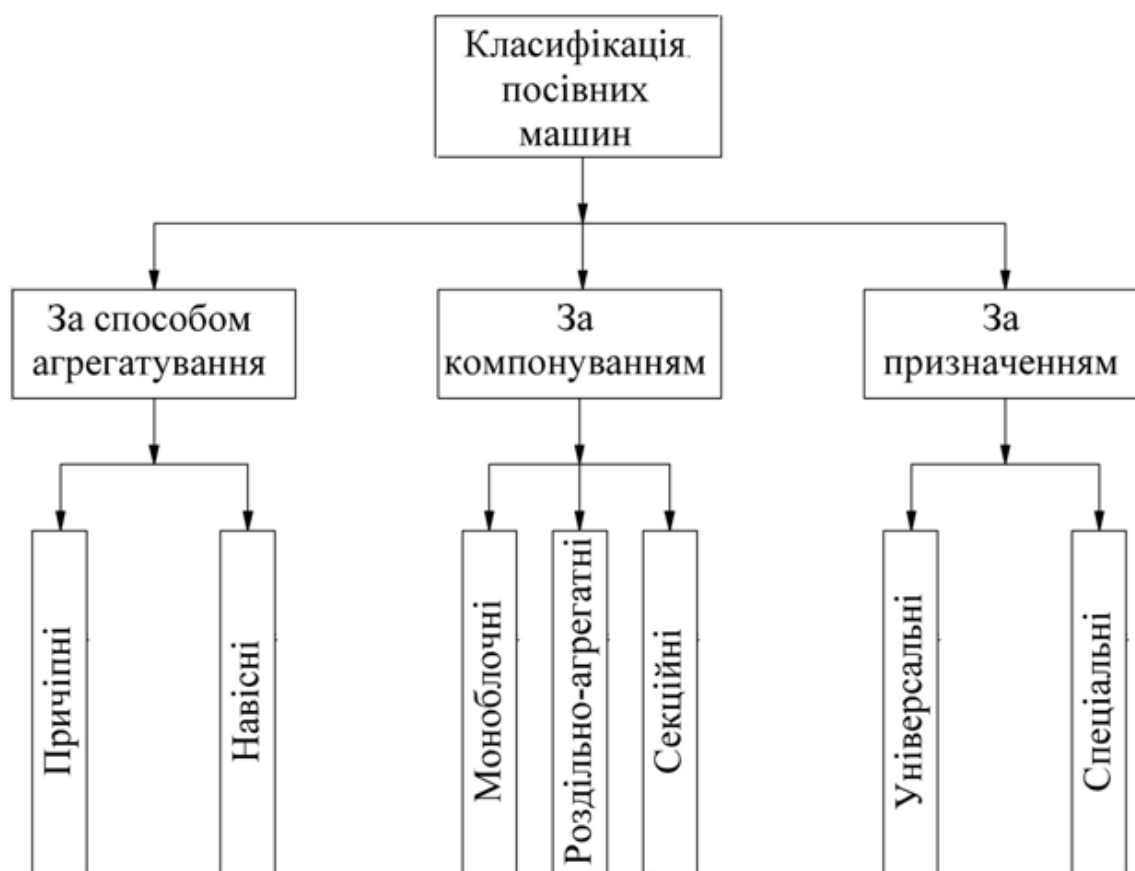


Рис. 1.1. Класифікація посівних машин АПК

Машини для посіву класифікують за типом агрегування на причіпні та навісні.



Рис. 1.2. Загальний вигляд моноблочних сівалок: а) Агро-Союз MD 19-20; б) ASTRA 5,4; в) Great Plains 2000; г) Amazone D9–4000 Super



Рис. 1.3. Загальний вигляд роздільно-агрегатних посівних машин: а) Gaspardo PE 300; б) Amazone Cirrus; в) Great Plains STA-400; г) Агро-Союз Turbosem II 19-32



Сівалки секційного типу складаються з окремих модулів, які кріпляться до загальної рами. До таких моделей належать John Deere DB [7], John Deere 1780 [8], Kinze 3700 [8], Gaspardo Maestra (Metro, SP) [6], Amazone ED [5]. Кожен модуль має власний набір компонентів, зокрема бункер, висівний механізм, привід, сошник, опорні колеса, котки та загортачі (див. рис. 1.4). Конструкція дозволяє змінювати ширину міжрядь шляхом пересування секцій по рамі, що є характерною особливістю таких спеціалізованих сівалок.

За функціональним призначенням посівні машини поділяються на універсальні та спеціалізовані. Універсальні моделі використовуються для висіву різноманітних культур, таких як пшениця, ячмінь, овес, жито, люцерна тощо. Натомість спеціалізовані сівалки, наприклад, просапні, адаптовані для конкретних культур, як-от соняшник, кукурудза, буряк та інші, і мають більш стабільну та вузькоспрямовану конструкцію.



а



б



в



г

Рис. 1.4. Вигляд сівалок

Поява нових моделей сівалок значною мірою зумовлена впровадженням сучасних технологій у вирощування сільськогосподарських культур [9] (наприклад, ґрунтозахисної, мінімальної, нульової обробки тощо), а також прагненням підвищити точність посіву [9], зробити сівалки більш універсальними [10] і, що важливо, використовувати більш потужні трактори [10].

Досліджено, що в науковій літературі недостатньо розглянуті питання щодо покращення якості сівби через розробку та обґрунтування конструкцій елементів рухомих з'єднань паралелограмного механізму копіювання у посівних комплексах. Зокрема, недостатньо обґрунтовано використання полімерно-композитних та інших інноваційних матеріалів, а також їхній вплив на довговічність механізмів паралелограмної системи та відповідність експлуатаційним умовам.

Таблиця 1.2

Кількість рухомих з'єднань у посівних сільськогосподарських машинах, які вимагають технічного обслуговування під час їх використання, а також частота проведення цього обслуговування

<b>Тип посівної машини</b>	<b>Кількість рухомих з'єднань</b>	<b>Частота технічного обслуговування (години роботи)</b>
Сівалка зернова	10-15	Кожні 50-100 годин
Сівалка точного висіву	20-25	Кожні 70-120 годин
Культиватор посівний	8-12	Кожні 50-80 годин
Посівний комплекс з дисковими сошниками	30-40	Кожні 100-150 годин
Механічна сівалка	15-20	Кожні 50-80 годин

Ця таблиця може варіюватися залежно від моделі машини, умов експлуатації та якості використовуваних матеріалів.

Посівні комплекси працюють в середовищі інтенсивного контакту з ґрунтом та підвищеної запиленості, що спричиняє значний абразивний знос деталей рухомих з'єднань. Надійність роботи сучасних сільськогосподарських машин значною мірою залежить від зносостійкості термопар елементів, які піддаються впливу шкідливих факторів, таких як запиленість.

Проте трапляються випадки недотримання вимог планово-запобіжної системи техобслуговування, що призводить до зниження кількості мастильних матеріалів у рухомих з'єднаннях деталей. Це створює умови експлуатації, що значно відрізняються від передбачених виробником. За таких обставин можливе виникнення граничного або сухого тертя, що спричиняє підвищення температури та тиску в окремих зонах, що, в свою чергу, прискорює руйнування поверхневих шарів елементів рухомих з'єднань (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Надмірний знос металевих елементів рухомих з'єднань механізму копіювання рельєфу посівного комплексу Агро-Союз Turbosem II 19-60 після 1500 га експлуатації

## 1.2. Характеристика роботи паралелограмного механізму в складі посівних комплексів

Паралелограмний механізм у посівних комплексах виконує важливу функцію копіювання рельєфу ґрунту, забезпечуючи рівномірний посів незалежно від умов поверхні. Основні особливості роботи цього механізму включають:

1. Копіювання рельєфу: завдяки паралелограмній конструкції, посівна секція рухається вертикально відносно рами, дозволяючи підтримувати постійну глибину загортання насіння навіть на нерівних ділянках поля.

2. Рухливість і гнучкість: паралелограмний механізм дозволяє посівній секції плавно адаптуватися до змін рельєфу, що мінімізує зусилля, необхідні для забезпечення якісного посіву.

3. Стабільність і точність: завдяки чітко визначеній траєкторії руху секцій, механізм забезпечує стабільність розташування висівних органів, що сприяє точному розміщенню насіння в ґрунті на заданій глибині.

4. Зносостійкість: робота паралелограмного механізму в умовах запиленості та контакту з ґрунтом призводить до інтенсивного зносу рухомих з'єднань. Для зменшення цього зносу важливо забезпечувати регулярне технічне обслуговування, мастило та використовувати зносостійкі матеріали, такі як полімерні композити.

5. Довговічність: залежно від матеріалів, використаних у конструкції, та умов експлуатації, довговічність паралелограмного механізму може суттєво варіюватися. Використання сучасних матеріалів допомагає збільшити термін служби деталей і зменшити витрати на ремонт.

6. Залежність від технічного обслуговування: якість і частота обслуговування паралелограмних механізмів безпосередньо впливають на їхню ефективність. Недостатнє змащування або неправильне регулювання можуть призвести до підвищеного зносу та зниження точності роботи.



Ці особливості роблять паралелограмні механізми важливим елементом у конструкції сучасних посівних комплексів, сприяючи ефективності та точності сівби в різних умовах експлуатації.



Рис.1.6. Посівна секція посівного комплексу ORION 9,6 з механізмом копіювання поверхні поля – а, посівна секція сівалки VEGA PROFІ (АТ «Ельворті») – б [10]

Аналіз сучасних посівних комплексів показав, що більшість виробників сільськогосподарської техніки використовують паралелограмні механізми копіювання рельєфу поля для підвищення якості посіву [10].





Рис.1.7. Секції посівних комплексів з паралелограмними механізмами копіювання: 1 – Gaspardo Sp Dorada; 2 – Агро-Союз Turbosem II 19-60; 3 – Great Plains; 4 – John Deere (MaxEmerge XP); 5 – KINZE-3700; 6 – Amazone ED [10]

Секції посівних комплексів, оснащені паралелограмними механізмами копіювання, забезпечують точне слідування рельєфу ґрунту, що дозволяє підтримувати стабільну глибину загортання насіння. Завдяки конструкції паралелограмного механізму, кожна секція незалежно адаптується до нерівностей поля, забезпечуючи рівномірний посів навіть на складних ділянках.

Основні переваги таких секцій:

1. Точність посіву: паралелограмний механізм дозволяє сошнику зберігати постійний кут і глибину проникнення в ґрунт, що покращує рівномірність розподілу насіння.

2. Підвищена стабільність: завдяки цьому механізму, робочі органи краще справляються з нерівностями поля, забезпечуючи більш плавну роботу.

3. Гнучкість у різних умовах: незалежна робота секцій дозволяє посівним комплексам адаптуватися до різних типів ґрунту та умов поля.

Такі секції часто використовуються в сучасних посівних комплексах для забезпечення високої точності і продуктивності сівби [10].

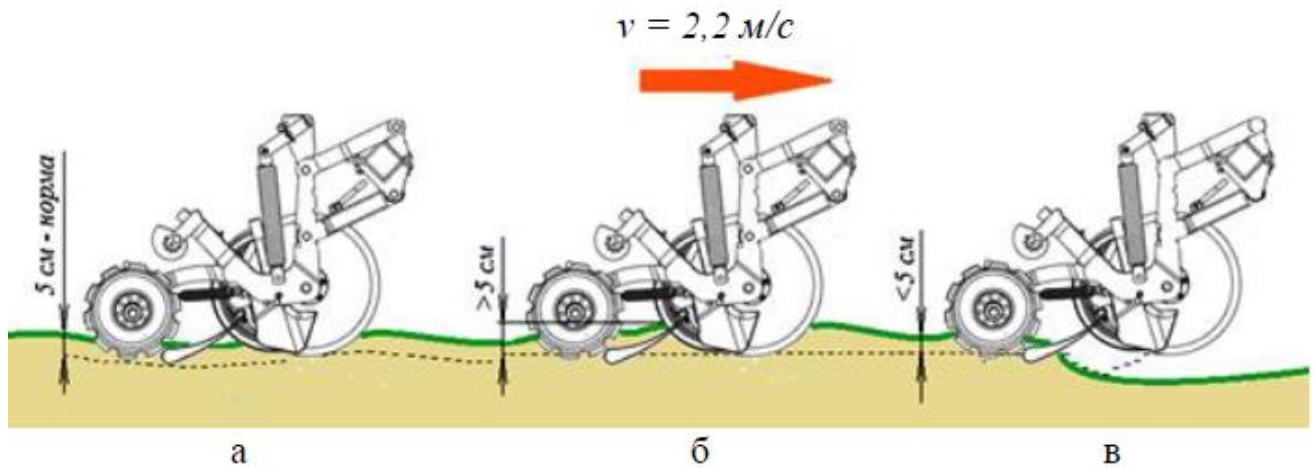


Рис. 1.8. Правильна робота паралелограмного механізму копіювання (а) посівного комплексу Turbosem II 19-60 і неправильна робота (б та в) у випадку виходу з ладу шарнірних з'єднань [10]

Відтак, ключовими способами підвищення довговічності деталей є зниження тиску на поверхні тертя та оптимальний вибір матеріальної структури.

### 1.3. Підходи до збільшення строку служби рухомих з'єднань паралелограмного механізму

Для підвищення ресурсу рухомих з'єднань паралелограмного механізму копіювання посівного комплексу застосовуються наступні методи:

1. Оптимізація матеріалів: використання високоміцних і зносостійких матеріалів, таких як полімерно-композитні або леговані сталі, для зменшення зношування рухомих з'єднань.
2. Поверхнева обробка: нанесення на поверхні тертя спеціальних покриттів (твердих або змащувальних), таких як нітридування, хромування або плазмове напилення, для збільшення зносостійкості.

3. Регулярне технічне обслуговування: своєчасне проведення мастила та заміни зношених деталей, що знижує інтенсивність абразивного зносу та подовжує термін експлуатації механізму.

4. Оптимізація конструкції: зменшення навантажень на вузли тертя через модернізацію конструкції механізму, що дозволяє розподілити навантаження більш рівномірно і зменшити локальний тиск.

5. Поліпшення мастильних систем: використання сучасних мастильних матеріалів і систем автоматичного змашування, що забезпечують постійне надходження мастила в зони тертя.

6. Контроль умов експлуатації: Вибір оптимальних режимів роботи посівної техніки, щоб уникнути перевантажень і запобігти передчасному зносу рухомих з'єднань.

Ці методи дозволяють значно подовжити термін служби паралелограмних механізмів і забезпечити ефективну та надійну роботу посівних комплексів.

Збільшення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки досягається за допомогою конструкторських, технологічних і експлуатаційних методів.

Конструкторські методи спрямовані на використання довговічних матеріалів і оптимальних їх поєднань у з'єднаннях, забезпечення належного мастила поверхонь рухомих елементів, а також вдосконалення конструкції та матеріалів ущільнювачів. Ці методи найбільш ефективні на етапі проектування або вдосконалення рухомих з'єднань паралелограмних механізмів посівних машин.

Технологічні методи передбачають виготовлення деталей з високою точністю та стабільністю розмірів і фізико-механічних властивостей. Це включає зміцнення поверхневих шарів через термічну обробку (гартування, наклеп) або нанесення спеціальних покриттів (наплавлення, напилення). Дослідження з

підвищення довговічності рухомих з'єднань сівалок за допомогою зносостійких покриттів та композиційних матеріалів наведені в роботах [11, 12].

Експлуатаційні методи включають обкатку нових або відремонтованих механізмів, дотримання системи планово-попереджувального обслуговування та зберігання, а також забезпечення умов експлуатації згідно з інструкціями. Недоліком цих методів є значні витрати ресурсів - енергетичних, матеріальних і трудових.

На довговічність рухомих з'єднань паралелограмного механізму копіювання посівних комплексів найбільший вплив мають умови їх експлуатації.

Сівба є однією з ключових операцій у процесі вирощування сільськогосподарських культур. Її своєчасне проведення та висока якість значною мірою визначають рівень врожайності. Останнім часом в Україні та за кордоном спостерігається активний розвиток у створенні та виробництві сучасних моделей посівних машин і комплексів.

Використання інноваційних методів сівби та нових конструкцій посівної техніки дозволяє підвищити ефективність використання насіннєвого матеріалу, скоротити тривалість польових робіт і забезпечити високу якість посіву, що сприяє збільшенню врожайності.

Варто відзначити, що ефективність виконання цих завдань залежить не лише від конструктивних характеристик посівної техніки, але й від умов її експлуатації та дотримання правил технічного обслуговування.

Недотримання планового технічного обслуговування (ТО) призводить до зниження рівня мастила у вузлах тертя, що стає причиною граничного або сухого тертя. Це, у свою чергу, викликає підвищення температури та збільшення тиску на окремі ділянки, що прискорює зношення поверхневих шарів деталей.

У сучасному сільськогосподарському машинобудуванні широко застосовуються різні види композиційних матеріалів (див. рис. 1.9).

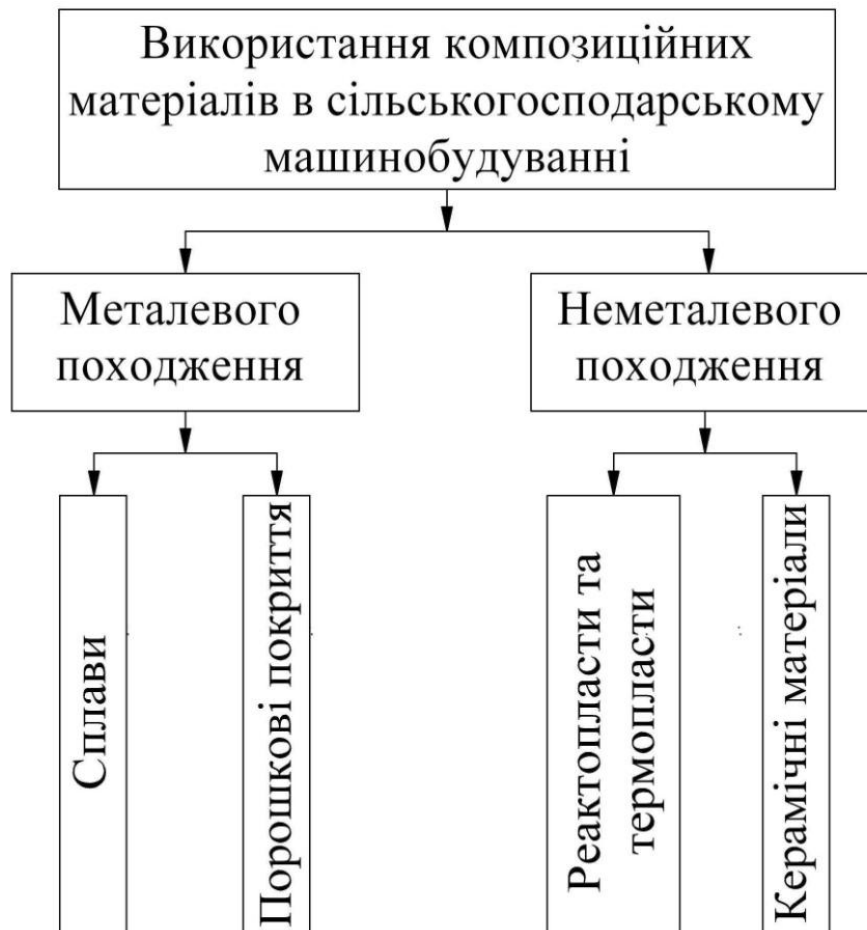


Рис.1.9. Використання композиційних матеріалів у сільськогосподарському машинобудуванні

Затримки в проведенні агротехнічних робіт, таких як сівба, спричинені відмовами техніки або тривалим технічним обслуговуванням, можуть призвести до втрат врожаю на рівні 15–30%.

Дослідження технічного обслуговування (ТО) посівних комплексів різних виробників показало, що ці процеси потребують значних матеріальних і трудових ресурсів [13].

Одним із перспективних рішень цієї проблеми є розробка трибоспряжень, які потребують мінімального обслуговування або взагалі його не потребують, завдяки використанню композиційних матеріалів [14] (див. рис. 1.9). Раніше проведені дослідження навантажень на експериментальні деталі підтвердили

доцільність використання полімерно-композитних матеріалів у таких вузлах [13].

Лабораторні випробування показали низький рівень зносу матеріалів і виявили явище переносу матеріалу зі зразка на контактну поверхню.

Міцнісні випробування показали, що максимальне навантаження до руйнування зразка становить 134,7 МПа, а модуль пружності — 1883,1 МПа. Це підтверджує працездатність деталей із досліджуваних матеріалів.

Отримані результати свідчать про перспективність оптимізації технічного обслуговування посівних комплексів різних виробників за рахунок впровадження полімерно-композитних матеріалів на основі поліаміду з вуглецевим волокном як наповнювачем [13, 14].

### **Висновки до першого розділу**

У процесі аналізу конструкцій та умов експлуатації посівних комплексів було встановлено, що основними факторами, які впливають на ефективність роботи посівної техніки, є надійність рухомих з'єднань та здатність механізмів забезпечувати постійну глибину посіву, особливо в умовах нерівного рельєфу ґрунту. Паралелограмний механізм копіювання рельєфу є ключовим елементом, що забезпечує точність роботи посівних комплексів.

Особливості роботи паралелограмного механізму включають стабільність роботи висівних органів, незалежне копіювання рельєфу секціями та зменшення навантаження на вузли тертя. Ці механізми дозволяють підтримувати однакову глибину загортання насіння, що значно впливає на якість сівби та подальшу врожайність.

Аналіз існуючих методів підвищення довговічності рухомих з'єднань показав, що застосування полімерно-композитних матеріалів у вузлах тертя є перспективним рішенням для зменшення зносу і подовження терміну служби елементів паралелограмного механізму. Також важливими є технологічні

методи, що включають зміцнення поверхонь деталей, і конструкторські рішення, що спрямовані на зменшення навантаження в з'єднаннях.

Використання новітніх матеріалів та технологій дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики посівних комплексів, зменшити витрати на технічне обслуговування та підвищити ефективність роботи в польових умовах.

Отже, для підвищення довговічності посівних комплексів доцільно поєднувати конструкторські, технологічні та експлуатаційні підходи, зокрема через застосування зносостійких матеріалів та покриттів у рухомих з'єднаннях.



## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

#### 2.1. Підвищення тривалості служби елементів рухомих з'єднань посівних агрегатів шляхом застосування інноваційних матеріалів

Перспективним напрямом підвищення довговічності рухомих з'єднань у деталях сільськогосподарської техніки є впровадження інноваційних матеріалів, зокрема полімерно-композитних матеріалів (ПКМ) конструкційного призначення. До таких матеріалів відносяться аліфатичні й ароматичні поліаміди, композити на основі фторопласту, фенілону, поліфенілхлориду, а також поліарилатні матеріали.

Особливості ПКМ на основі фенілону С-2 і С-1 для застосування у вузлах техніки висвітлені в роботі [15]. Проблемою, яка стримує широке використання цих матеріалів у сільськогосподарському машинобудуванні, є висока енерго- та ресурсомісткість процесу їх переробки у готові вироби. Це створює певні труднощі в реалізації подібних розробок і робить їх економічно менш вигідними.

Одним із перспективних підходів до збільшення строку служби елементів рухомих з'єднань посівних комплексів є створення трибоспряжень, які не вимагають частого обслуговування, завдяки використанню конструкційних композиційних пластиків.

Перевірка працездатності деталей із ПКМ проводилась із врахуванням параметра  $p_v$ , де питоме навантаження визначалося за спеціальною формулою:

$$P = R_{max} / l \cdot d, \quad (2.1)$$

де  $p$  – питоме навантаження, Н / м<sup>2</sup>;

$R_{max}$  – навантаження на шарнірне з'єднання, Н;

$d$  – діаметр деталі, м;

$l$  – довжина (висота) деталі, м.

Виконаємо розрахунок питомого навантаження для шарніра В1 (рис. 2.1).

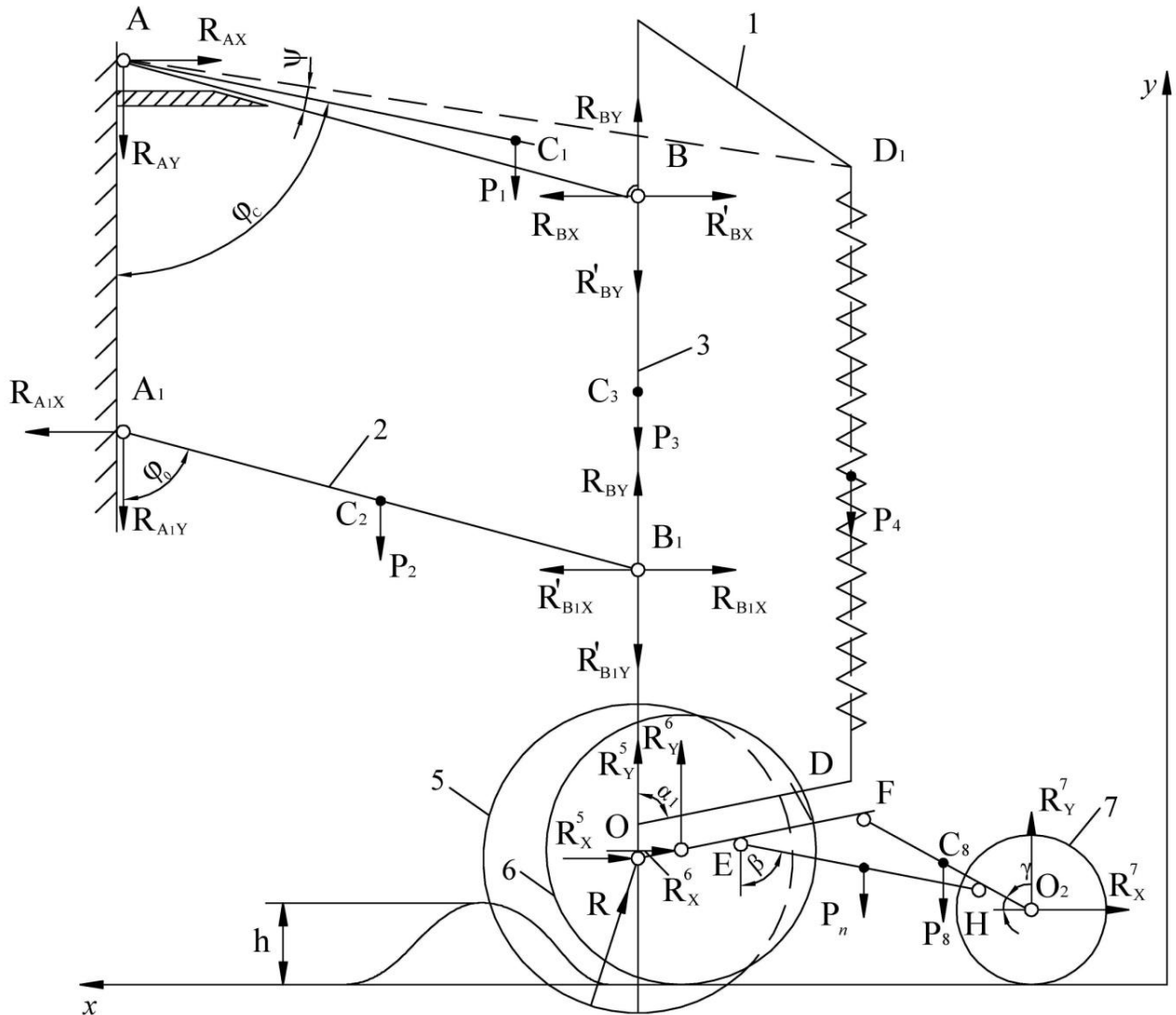


Рис. 2.1. Взаємодія міжелементами паралелограмного механізму посівного агрегату при динамічному навантаженні:

- 1 – верхня тяга, 2 – нижня тяга, 3 – стійка, 4 – пружина, 5 – диск, 6 – опорне колесо, 7 – прикочуюче колесо, 8 – важіль прикочуючого колеса

Для цього беремо наступні параметри деталі з ПКМ для цього рухомого з'єднання:  $d = 0,03$  м,  $l = 0,03$  м,  $R_{B_1}^{\max} = 2700$  Н. Підставляючи ці значення у формулу (2.1), отримуємо:

$$p = 3,0 \text{ МПа.}$$

На основі створеної математичної моделі [15] встановлено, що максимальна кутова швидкість може дорівнювати 7,15 рад/с. Враховуючи геометричні параметри експериментальної деталі з ПКМ (шарнір  $B_1$ ), лінійна швидкість ковзання складає:

$$v = r = 0,107 \text{ м/с.}$$

З отриманих даних фактор  $pv$  для шарніра  $B_1$  становить 0,3 МПа·м/с. Згідно з дослідженнями, наведеними в роботах [16], поліамідний композит УПА-6-30 (поліамід з 30% вмістом вуглецевих волокон) може функціонувати при значенні  $pv$  до 2 МПа·м/с, що значно перевищує отримане теоретичне значення. Отже, можна зробити висновок, що рухоме з'єднання паралелограмного механізму копіювання посівних агрегатів, виготовлене з ПКМ, повністю відповідає вимогам працездатності.

Як видно з табл. 2.1, використання сталі в цих рухомих з'єднаннях є менш ефективним у порівнянні з ПКМ через надмірні міцнісні характеристики і високі коефіцієнти тертя. Це свідчить про неповне використання потенціалу властивостей матеріалу.

Таблиця 2.1

Властивості різноманітних композитів [16] та сталі 20

Параметр	Назва матеріалу і значення		
	СКММ-40Н	СКММ-30М	Сталь 20
1	2	3	4
Щільність, г/см <sup>3</sup>	1,25	1,15	7,82
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	36	40	142
Межа міцності при стисканні, МПа	166	130-150	415

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
Коефіцієнт тертя:			
- тертя без змащування;	0,16...0,24	0,18-0,26	0,75-0,8
-при змащуванні водою;	0,02...0,03	0,06...0,08	-
-при змащуванні оливою	0,01	0,018...0,03	0,03-0,05
Здатність до рециклінгу (повторної переробки)	Здатні		Не здатна

Різне зростання коефіцієнта тертя майже в чотири рази при відсутності змащення у сталевих підшипниках ковзання рухомих з'єднань спричиняє їх інтенсивний знос, що суттєво зменшує строк служби механізму копіювання в сівалках. Додатково, посівні комплекси працюють у середовищі з високим рівнем запиленості, що підсилює абразивний знос, прискорюючи деградацію деталей. У результаті це викликає неконтрольовані коливання в рухомих з'єднаннях механізму копіювання, ускладнюючи точне виконання сівби згідно з агротехнічними нормами.

Теоретичні дослідження вказують, що для підвищення довговічності елементів рухомих з'єднань необхідно розробити систему, яка забезпечить більш точне копіювання рельєфу ґрунту [17]. Одним із ключових рішень є створення конструкційних матеріалів, які здатні значно знижувати сили тертя та підвищувати стійкість до абразивного впливу у деталях рухомих з'єднань паралелограмного механізму.

Зменшення тертя та підвищення стійкості до абразивного зносу можна досягти за рахунок використання полімерно-композитних матеріалів (ПКМ) конструкційного призначення. Завдяки різним формам графіту та його концентрації у складі ПКМ можна адаптувати їх фізико-механічні, триботехнічні та міцнісні характеристики під конкретні умови експлуатації.

Для підтвердження цих теоретичних висновків необхідно провести експериментальні дослідження властивостей і характеристик полімерно-композитних матеріалів конструкційного призначення. Особливу увагу слід приділити триботехнічним, ресурсним і експлуатаційним показникам, а також їх впливу на довговічність рухомих з'єднань паралелограмного механізму копіювання рельєфу ґрунту в посівних комплексах.

## 2.2. Виготовлення зразків і деталей з ПКМ для рухомих з'єднань посівних комплексів

Для дослідження матеріалів деталей, виготовлених з полімерно-композитних матеріалів, було обрано декілька типів високомолекулярних сполук, всі були у формі гранул відповідної форми та розмірів, які використовувалися як вихідна сировина для виготовлення виробів. Зразки створювали з матеріалів у вигляді гранул або кульок (рис. 2.2).

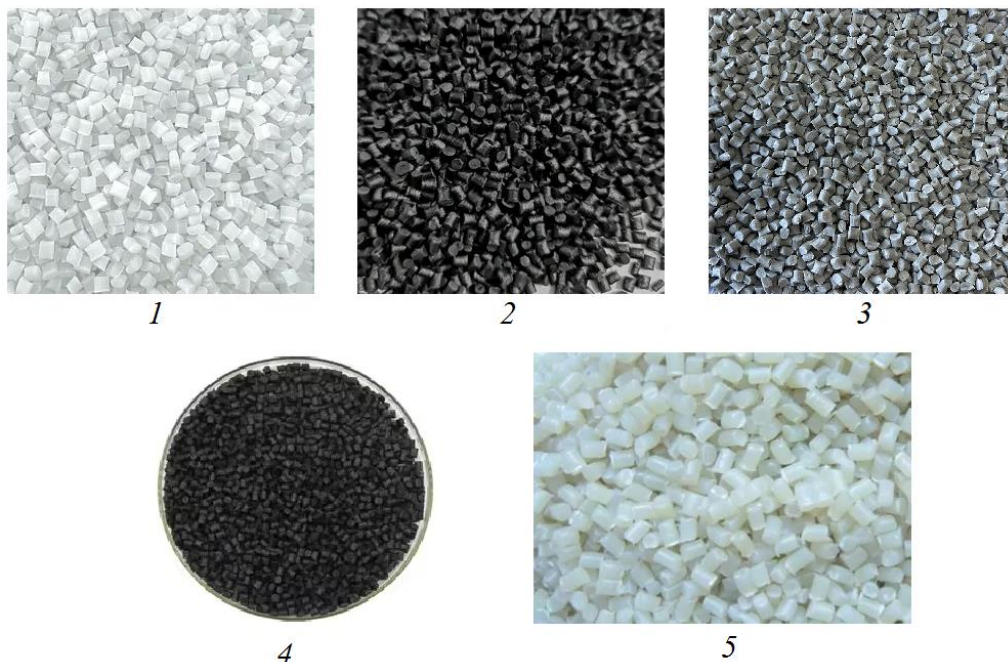


Рис. 2.2. Загальний вигляд полімерно-композитних матеріалів, відібраних для досліджень: 1. Поліамід (Ultramid B3); 2. Фторопласт (Dyneon TFM 1600); 3. Фенілон (Phenilon C-2); 4. Поліефірний композит (Duranex PBT); 5. Поліуретановий композит (Adiprene C930)

Зразки і деталі виготовлятимуться лиття під тиском на спеціальній установці фірми Номтар (рис. 2.3), яка забезпечує виконання необхідних технологічних операцій для отримання готових виробів. Перед завантаженням в машину матеріали мали форму циліндричних гранул (зразок № 5) завдовжки 2–4 мм і діаметром 2 мм. Відповідно до рекомендацій виробників, підготовка та переробка матеріалів здійснювалася за спеціальними режимами (табл. 2.2).



Рис.2.3. Вертикальна ливарна машина під тиском Номтар

Ливарна машина під тиском Номтар - це високоточне обладнання для лиття пластмас, яке відоме своєю надійністю, універсальністю та інноваційними

технологіями. Компанія Nommar є одним із провідних світових виробників термопластавтоматів.

Вертикальна машина для лиття під тиском Nommar є надійним та високоефективним рішенням для виробників, які прагнуть оптимізувати свої виробничі процеси. Завдяки сучасному дизайну, передовим технологіям і можливості налаштування параметрів, ця машина забезпечує високу продуктивність і надійність. Незалежно від того, чи займаєтесь ви дрібносерійним виробництвом або працюєте на великомасштабному підприємстві, вертикальна машина Nommar ідеально підходить для ваших потреб у литті під тиском. Звертайтеся до нас вже сьогодні, щоб дізнатися, як Nommar може допомогти вам підвищити ефективність виробництва та збільшити прибутковість.

Таблиця 2.2

## Режими підготовки матеріалу та виготовлення зразків

№ п/п	Повна назва матеріалу	Підготовка матеріалу (режим сушіння)		Виготовлення	
		T, °C	t, год	T, °C	P, МПа
1	Ultramid B3	80	3	260-265	12
2	Dyneon TFM 1600	80	3	250-260	12
3	Phenilon C-2	80	3	250-260	12
4	Duranex PBT	80	3	240-255	12
5	Adiprene C930	80	3	255-265	12

Технологічний процес виготовлення експериментальних деталей складався з наступних етапів:

1. Вихідний матеріал завантажували в нагрівальну камеру, де підтримувалася необхідна температура для розплавлення матеріалу.
2. Контроль температури здійснювався за допомогою терморпари.
3. Тиск лиття контролювався за допомогою манометра, встановленого в гідроциліндрі.

4. Керування процесом здійснювалося через шафу керування, при цьому температура підтримувалася з точністю  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

5. Розплавлений матеріал впорскувався у прес-форму, розміщену на платформі, через сопло з діаметром отвору  $d=4$  мм.

Зразки виходили у формі циліндра, з однорідною структурою, висотою  $h=15$  мм і діаметром  $d=10$  мм.

### **2.3. Методи дослідження відносної абразивної стійкості зразків і деталей, виготовлених із полімерно-композитних матеріалів**

Спеціальні зразки, виготовлені для подальшого дослідження відносної абразивної стійкості, мали лінійні розміри  $6\times 30\times 7$  мм, відповідно до вимог ДСТУ 7687:2015 (рис. 2.4).



Рис.2.4. Вигляд зразків для визначення відносної абразивної стійкості:

1. Ultramid B3; 2. Dyneon TFM 1600; 3. Phenilon C-2; 4. Duranex PBT;

5. Adiprene C930

Проведення дослідження спеціальних зразків на відносну абразивну стійкість виконували за допомогою спеціально підготовленого сучасного обладнання, встановленого на базі машини тертя 2070 СМТ-1 (рис. 2.5).



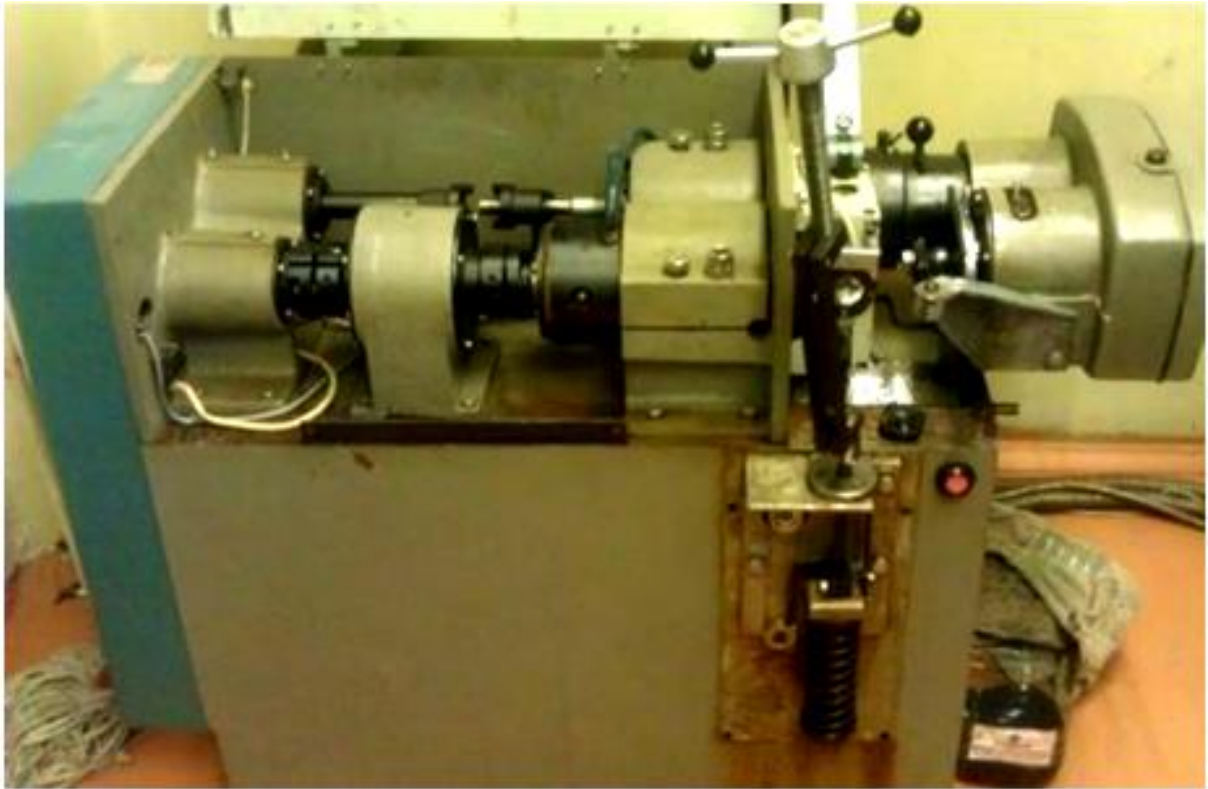


Рис.2.5. Спеціальна установка для проведення тертя мод. 2070 СМТ-1

Суть нашого методу полягала в тому, що в однакових умовах здійснювали примусове зношування як досліджуваного, так і еталонного зразків. Зношування відбувалося за допомогою абразивного матеріалу (електрокорунд №16-Н, ДСТУ 4246:2003), який не жорстко фіксувався і подавався в зону тертя, притискаючись до зразка обертовим гумовим роликком. Перед проведенням випробувань абразивний матеріал сушили до відносної вологості не більше 0,16%. Припрацювання ролика виконували через тертя по поверхні шліфувального паперу типу 2 (ДСТУ 6344-1:2004) з зернистістю №8П (ДСТУ 6344-2:2004), який закріплювався у тримачі зразка на плоскій сталевій пластині. Після припрацювання ролик промивали бензином. Умови проведення випробувань наведені в таблиці 2.3.

Для проведення досліджень також використовували обладнання: сушильна термошафа СНОЛ 465/4 И1, аналітичні терези ВЛР-200 (рис. 2.6) з точністю до 0,2 мг (0,0002 г), штангенциркуль ШЦ-125, клас точності 2, а також інше допоміжне нестандартне обладнання.

Таблиця 2.3

Умови проведення випробувань на зношування при контакті з абразивними частинками

Навантаження, Н	Частота обертання, об/хв.	Характеристика гумового ролика			
		Діаметр, мм	Ширина, мм	Твердість	Відносне остаточне подовження, %
45	60	50	15	78-85	15-20

Масу зносу зразків визначали шляхом зважування до і після проведення випробувань.



Рис. 2.6. Аналітичні терези ВЛР-200

Відносну зносостійкість досліджуваного матеріалу обчислювали за формулою:

$$K_u = U_e \cdot \rho_d \cdot n_d / U_d \cdot \rho_e \cdot n_e, \quad (2.2)$$

де  $\rho_e, \rho_d$  - густина еталонного та досліджуваного матеріалів, кг/м<sup>3</sup>;

$n_e, n_d$  - кількість обертів ролика під час випробувань еталонного та досліджуваного зразків;

$U_e, U_d$  - знос еталонного і досліджуваного зразків, кг.

Густина зразків  $\rho_{\text{гфр}}$  визначали за допомогою методу гідростатичного зважування відповідно до стандарту ДСТУ 8553:2015. Як кінцевий результат брали середнє арифметичне значення густини, отримане на основі не менше трьох вимірювань, розбіжність між якими не перевищувала 1%.

Для оцінки відносної абразивної стійкості досліджуваних полімерно-композитних матеріалів (ПКМ) використовували еталонний зразок — матеріал Adiprene C930, величину зносу якого приймали за базову одиницю для порівняння.

У межах досліджень фізико-механічних характеристик зразків і деталей із ПКМ виконували випробування для визначення міцності матеріалів та їхнього модуля пружності. Вимірювання міцності проводили на випробувальній машині FP-100 (див. рис. 2.7) згідно зі стандартом ДСТУ EN ISO 604:2009.



Рис.2.7. Випробувальна машина FP-100

Для визначення границі міцності при стисканні нами було використано зразки з діаметром  $d=10$  мм і висотою  $h=15$  мм, застосовуючи спеціальне пристосування. Опорні площини зразків мали бути паралельними з точністю до 0,1% у напрямку, перпендикулярному до прикладеного навантаження.

Границю міцності при стисканні ( $\sigma_p$ ) розраховували за формулою:

$$\sigma_p = p / A, \quad (2.3)$$

де  $p$  – тиск, МПа;

$A$  – мінімальна площа поперечного перерізу зразка, мм<sup>2</sup>.

$$A = \pi d^2 / 4, \quad (2.4)$$

де  $d$  – діаметр зразка, мм.

Відносну деформацію при стисканні ( $\varepsilon$ ) розраховували за формулою:

$$\varepsilon = \Delta h_{p.c.} \cdot 100 / h_0, \quad (2.5)$$

де  $\Delta h_{p.c.}$  – величина зменшення висоти зразка при руйнуванні, мм;

$h_0$  – початкова висота зразка, мм.

Ударну в'язкість визначали на маятниковому копрі КМ-0,4 (рис. 2.8) за методом Шарпі відповідно до ДСТУ ISO 179-1:2001 при температурі  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  та відносній вологості повітря  $50 \pm 5\%$  [19].

Ударну в'язкість зразків визначали за формулою, в кДж:

$$a_n = \frac{J_n}{b \cdot s \cdot 1000}, \quad (2.6)$$

де  $J_n$  – енергія удару, затрачена на руйнування зразка, кДж/(кг/см<sup>2</sup>), фіксується на цифровому табло приладу;

$b$  – ширина зразка по його середині, мм;

$s$  – товщина зразка по його середині, мм.

## **Висновки до другого розділу**

Було теоретично обґрунтовано можливості підвищення довговічності рухомих з'єднань посівних агрегатів. Зокрема, розглянуто застосування інноваційних матеріалів, таких як полімерно-композитні, для виготовлення елементів з'єднань, що дозволяє значно продовжити їх термін служби. Проведені дослідження вказують на те, що такі матеріали мають підвищену абразивну стійкість, що сприяє зменшенню зношування деталей у процесі експлуатації.

Окрім цього, було виготовлено зразки та деталі з полімерно-композитних матеріалів, а також застосовано методи дослідження їх відносної абразивної стійкості. Результати цих досліджень підтверджують перспективність використання таких матеріалів у виробництві елементів посівних комплексів.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ПОСІВНИХ АГРЕГАТИВ

#### **3.1. Удосконалення конструкції рухомих з'єднань посівного комплексу John Deere 1780 з метою підвищення довговічності**

На сьогодні в аграрному секторі широко застосовуються високопродуктивні машини з великим захватом. Особливе значення мають посівні агрегати цього типу, які забезпечують якісний посів, виконуючи також додаткові технологічні операції, як-от підготовка ґрунту, внесення добрив, закладення насіння, ущільнення тощо. Це сприяє ефективному використанню технічних і людських ресурсів, а також дозволяє дотримуватися встановлених термінів посівних робіт.

Втім, практичний досвід використання посівних комплексів різних виробників демонструє, що реальна продуктивність часто не відповідає заявленим характеристикам. Це пов'язано з конструктивними недоліками, зокрема низькою надійністю механізмів, які копіюють рельєф ґрунту. Трибосполучення типу «сталь-сталь», що застосовуються в рухомих з'єднаннях, виявляються недостатньо ефективними, адже вони забезпечують належну роботу тільки за умови регулярного технічного обслуговування кожні 45–55 годин експлуатації. Недотримання цих вимог призводить до попадання абразивних часток у шарніри, що викликає їх швидке зношування та порушення агротехнічних норм посіву.

Ефективність закладення насіння, а отже, і врожайність сільськогосподарських культур, значною мірою залежить від роботи механізмів, які копіюють рельєф ґрунту. Такі механізми поділяються на два основні типи: радіальні та паралелограмні. Радіальні механізми з повідками використовуються для класичних технологій і потребують попередньої якісної підготовки ґрунту. Натомість радіальні механізми з натискними штангами є універсальними і підходять для роботи в будь-яких умовах.



Радіальні копіювальні механізми сошників характеризуються низькою металомісткістю, простою конструкцією та високою надійністю. Однак їх головним недоліком є нестабільна глибина занурення сошника в ґрунт і змінний кут його входження, що призводить до нерівномірного розподілу насіння.

Паралелограмні копіювальні механізми широко застосовуються в сучасних сільськогосподарських сівалках, особливо в просапних агрегатах. Їх конструкція забезпечує стабільний кут введення сошника і високу стійкість робочих органів. Аналіз сучасних посівних комплексів показує, що більшість виробників агротехніки надають перевагу саме паралелограмним механізмам для копіювання рельєфу поля.

Серед сучасних посівних машин, що використовуються в агропромисловому комплексі Житомирщини, слід відзначити широкозахватний посівний комплекс John Deere 1780 (див. рис. 3.1).



Рис.3.1. Широкозахватний посівний комплекс John Deere 1780

Експлуатація цих посівних комплексів демонструє, що реальна продуктивність аграрних підприємств України суттєво нижча за теоретично очікувану через складність і значні витрати на технічне обслуговування. При інтенсивному використанні кожна година, витрачена на обслуговування комплексу John Deere 1780, призводить до втрат посівних площ у межах 5–8 гектарів. За результатами досліджень, комплекс має зупинятися для обслуговування кожні 48 годин на період від 3 до 3,5 годин, але фактичний час часто перевищує цей показник через різні причини. У результаті, втрати посівних площ за 528 годин роботи можуть становити 220 гектарів або більше.

Крім того, технічне обслуговування передбачає змащування 240 вузлів кожні 48 годин роботи, а ще 120 вузлів — кожні 72 години. Непослідовність у проведенні обслуговування посівного комплексу та тракторів призводить до асинхронної роботи, що суттєво знижує ефективність виконання операцій.

Дослідження показали, що трибосполучення копіювального механізму мають найменший ресурс до виходу з ладу порівняно з іншими компонентами посівної секції:

- диск сошника – 10-12 тис. га (близько 165–185 га на один сошник);
- трибосполучення копіювального механізму – 2,1–2,7 тис. га (приблизно 38–52 га на один сошник);
- рухомі з'єднання прикочуючих коліс - 2,8–3,2 тис. га (близько 48–56 га на один сошник).

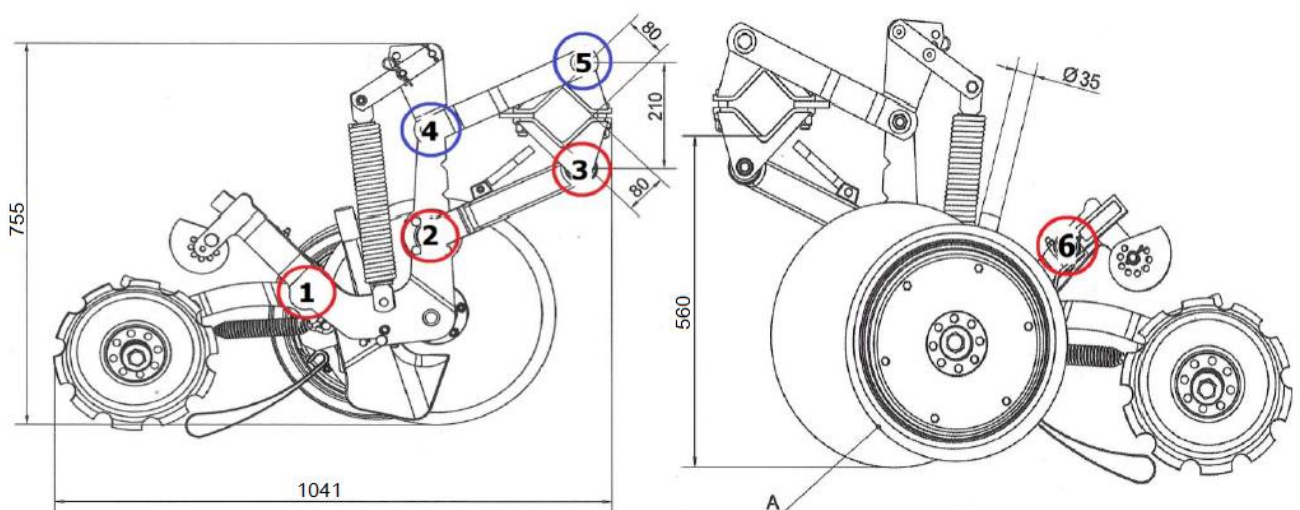


Рис. 3.2. Змащування відповідних точок посівної секції комплексу John Deere



Великі сільськогосподарські підприємства України, які обробляють понад 3000 гектарів землі, мають потребу у високопродуктивних та універсальних посівних машинах. Дослідження свідчать, що високий рівень рівномірності сходів (понад 90%) та, відповідно, якісний урожай залежать від надійної роботи паралелограмного копіювального механізму в посівних агрегатах.

Недостатня стійкість механізмів, що копіюють рельєф ґрунту, призводить до порушення агротехнічних вимог під час посіву, зокрема до неточного заглиблення насіння та його нерівномірного розподілу. Основною причиною недостатньої надійності цих механізмів є використання трибосполучень типу «сталь-сталь» у рухомих з'єднаннях, що вимагає частого технічного обслуговування — змащування кожні 40–50 годин роботи.

У випадку посівного комплексу John Deere 1780 технічне обслуговування рухомих з'єднань паралелограмного механізму, яке виконується кожні 48 годин, спричиняє зниження темпів посівних робіт на 5,9%. Це може негативно вплинути на строки проведення посіву.

Одним із перспективних підходів до покращення експлуатаційних характеристик цього механізму є впровадження полімерно-композитних матеріалів у рухомі з'єднання. Цей напрям досліджено у другому розділі роботи, і його реалізація може суттєво змінити умови експлуатації та збільшити довговічність механізмів.

Для впровадження нових або модифікованих полімерно-композитних матеріалів у конструкцію посівних машин необхідно провести експериментальні дослідження їхньої ефективності.

Після досягнення робочого ресурсу в 1050 гектарів було виконано демонтаж рухомих з'єднань паралелограмного механізму копіювання ґрунту, які працювали у комбінації зі сталевими елементами. Виявлено значний абразивний знос, задири та сліди корозії (див. рис. 3.3). Шорсткість поверхонь деталей становила від 0,23 до 0,93 мкм, що зумовлено пошкодженнями через роботу без належного змащування.

Зношення деталей перевищувало 1,1–1,6 мм, а люфти у поперечній площині посівної секції досягали 7–10 см, що вимагало заміни стандартних компонентів. У процесі ремонтно-відновлювальних робіт були встановлені експериментальні деталі.

У 2023–2024 роках посівний комплекс у поєднанні з трактором Case MX 310 Magnum використовувався для посіву ярого ячменю, сидератів (гірчиця, люцерна, конюшина), соняшнику, озимої пшениці, озимого ячменю та ріпаку з використанням технології прямого посіву в необроблений ґрунт.



Рис. 3.3. Вид серійних деталей рухомих з'єднань посівної секції комплексу John Deere 1780

Відповідно до нової конструкції механізму копіювання, було здійснено модернізацію рухомих з'єднань системи копіювання рельєфу ґрунту в посівному комплексі John Deere 1780 (рис. 3.2).

Протягом сезону роботи посівний комплекс John Deere 1780 обробив 9180 га (рис. 3.4), що на один сошник припадає 153 га. До кінця першого року експлуатації загальний обсяг роботи склав 14 690 га, а за другий рік – 17 252 га, що відповідає 287,6 га на кожен сошник.

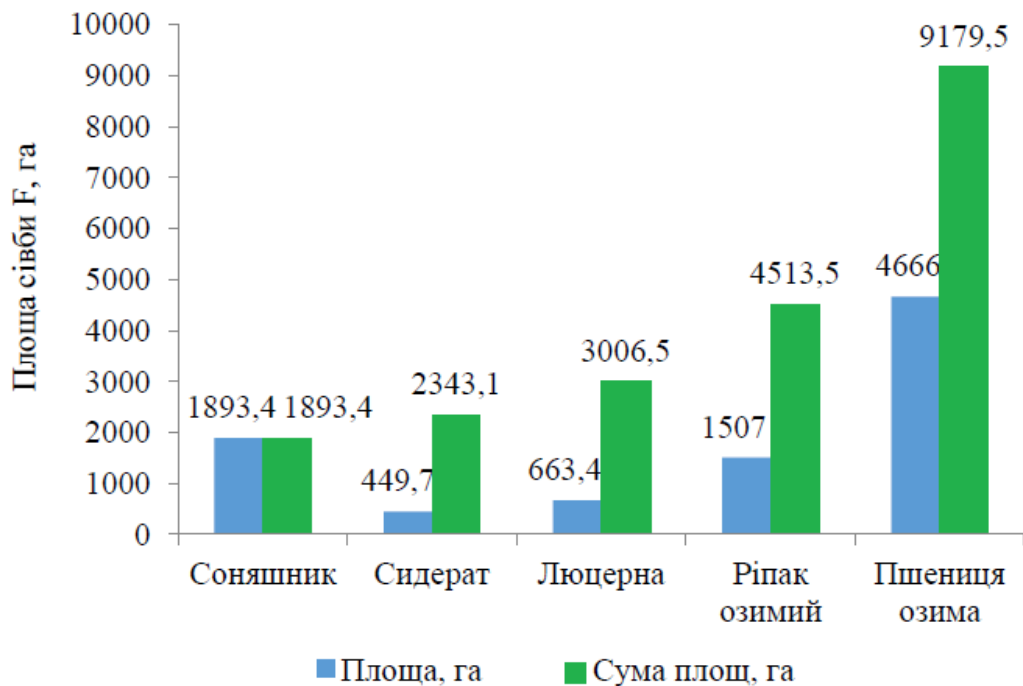


Рис. 3.4. Графік випробування комплексу з механізмом копіювання

У секції для посіву було встановлено 12 спеціальних експериментальних елементів рухомих з'єднань. За проведеними результатами польових випробувань встановлено, що посівний агрегат із вдосконаленим механізмом копіювання, який відпрацював 1750 годин, забезпечив на 380 годин більше роботи порівняно зі стандартною версією, обробивши додатково 1735 гектарів.

Таблиця 3.1

Статистичні дані наробітку технічного обслуговування посівних секцій

<b>Напрацювання, год.</b>	<b>Напрацювання серійного агрегату, га</b>	<b>Реальне напрацювання модернізованого агрегату, га</b>	<b>Різниця, га</b>	<b>Економія трудозатрат, люд.-год.</b>
<b>Перший рік експлуатації</b>				
24	122	120	0	–
48	241	240	0	3
72	346	360	15	–
96	466	480	15	6
120	571	600	30	–
144	692	720	30	9
168	796	840	45	–
...	...	...	...	...
528	2492	2640	150	33
<b>Другий рік експлуатації</b>				
1750	15786	17522	1735	380

Для оцінки ремонтпридатності, яка є ключовим технологічним показником і впливає на оперативність виконання ремонтних робіт, було проведено експеримент із хронометражем процесу заміни композитних деталей у паралелограмному механізмі.

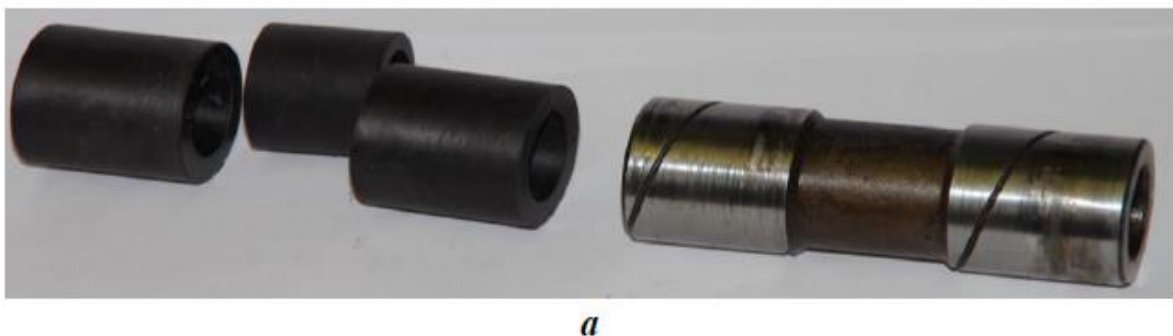
Результати експерименту свідчать, що час заміни композитних деталей у модернізованому механізмі копіювання становить 26 хвилин, тоді як на заміну стандартних деталей потрібно 58 хвилин. Окрім того, для демонтажу стандартних деталей необхідне спеціалізоване обладнання, таке як гідропрес і наставки, тоді як експериментальні деталі можуть бути замінені безпосередньо в польових умовах, що недосяжно для стандартних сталевих компонентів.

Серед переваг удосконаленого механізму копіювання слід виділити мінімальний або відсутній знос сталевих деталей, які працюють у парі з полімерно-композитними елементами, що підтверджується в межах похибки вимірювань (див. рис. 3.4).



Рис. 3.5. З'єднання, що рухаються в посівному комплексі John Deere 1780 (після напрацювання 9180 га): а – деталі нижнього паралелограма; б – деталі шарніра опорного колеса

Як видно з рис. 3.5, внутрішня поверхня важеля рухомого з'єднання має абсолютно гладку структуру (див. рисунок 3.5, б), на якій не було виявлено подряпин або інших видимих пошкоджень. Під час збирання посівного комплексу використовували експериментальні компоненти, розроблені з урахуванням потенційних негативних впливів, таких як вібрація та деформація. Ключові елементи, зокрема конічні втулки, мали різноманітні форми (див. рис. 3.5, б). Загальний вигляд модернізованих деталей показано на рисунку 3.6.



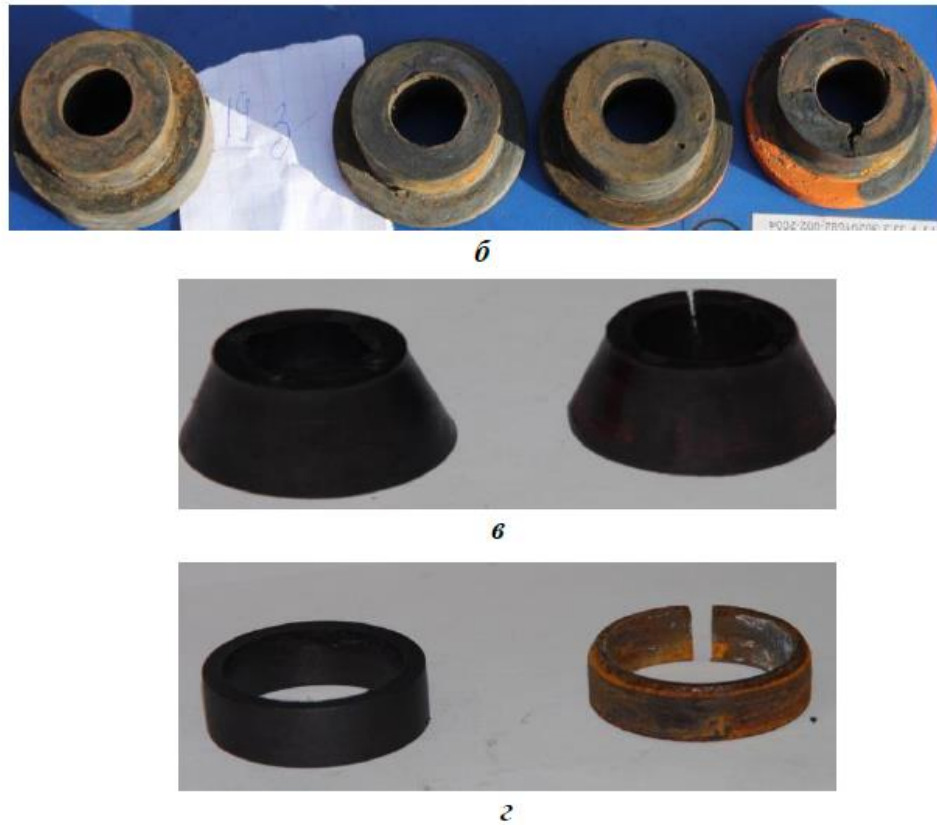


Рис. 3.6. Загальний вигляд деталей, що використовувалися під час випробувань:  
 а – елементи нижнього важеля; б – елементи верхнього важеля;  
 в – конічні втулки нижнього важеля; г – різні втулки

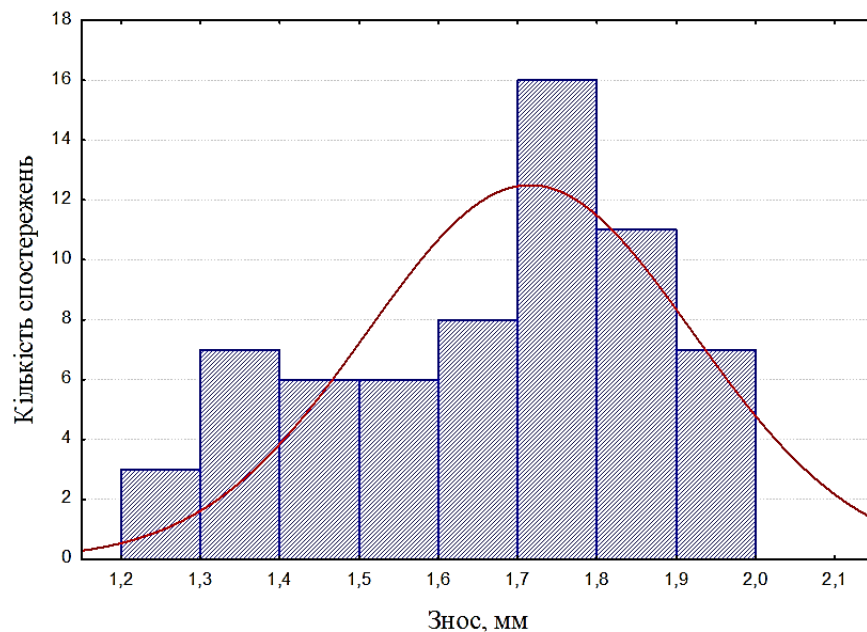


Рис.3.7. Розподіл зношування модернізованих елементів посівної секції,  
 виготовлених із полімерно-композитних матеріалів (ПКМ):  
 1 – гістограма величини зносу деталей; 2 – теоретична крива розподіл

Дослідження підтвердили, що використання деталей із матеріалу Adiprene C930 у рухомих з'єднаннях паралелограмного механізму копіювання ґрунту дозволяє зменшити трудові витрати на технічне обслуговування на 26% та підвищити швидкість виконання робіт на 11%, за умови дотримання встановлених агротехнічних норм і регламентів. Під час експлуатації посівного комплексу з удосконаленим паралелограмним механізмом не було зафіксовано жодних відхилень, і всі агротехнічні вимоги до процесу сівби були виконані повністю.

За результатами мікрометражу деталей рухомих з'єднань, проведеного після обробки площі 17 252 га, середній знос деталей становив 1,78 мм при номінальному розмірі 34,36 мм. Середньоквадратичне відхилення склало 0,193 мм, а коефіцієнт варіації дорівнював 0,108 ( $< 0,3$ ), що відповідає нормальному розподілу зносу (див. рис. 3.7).

### **Висновки до третього розділу**

У середніх сезонних умовах експлуатації посівних комплексів John Deere 1780 на площі 3–4 тис. га, термін служби експериментальних деталей становить не менше 4 років, що у чотири рази перевищує ресурс стандартних компонентів.

Виявлено позитивний вплив, який виражається у відсутності або мінімальному (у межах похибки вимірювань) зносі сталевих елементів рухомих з'єднань, що взаємодіяли з полімерно-композитними матеріалами (ПКМ).

Середній ресурс експериментальних компонентів, встановлених у шарнірах паралелограмного механізму копіювання для посівних комплексів John Deere 1780, склав 20 589 га, при цьому середній знос деталей становив 1,78 мм, а інтенсивність зношування –  $1,02 \times 10^{-4}$  мм/га.

Аналіз показав відповідність теоретичних і експериментальних даних нормальному закону розподілу. Додатково було здійснено оцінку надійності деталей у рамках прискорених випробувань, що дало змогу визначити ймовірність їх безвідмовної роботи.

Польові дослідження компонентів рухомих з'єднань підтвердили, що ресурс експериментальних деталей, який склав 20 558 га, є у 4 рази більшим порівняно зі стандартними деталями.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз конструкцій і умов експлуатації посівних комплексів показав, що ключовими факторами ефективності є надійність рухомих з'єднань і здатність механізмів забезпечувати постійну глибину посіву, особливо на нерівному рельєфі ґрунту. Паралелограмний механізм копіювання рельєфу відіграє важливу роль у забезпеченні стабільної роботи висівних органів та рівномірного загортання насіння.

Застосування полімерно-композитних матеріалів у вузлах тертя є перспективним рішенням для зменшення зносу та подовження терміну служби елементів. Польові випробування підтвердили, що ресурс деталей, виготовлених із ПКМ, значно перевищує ресурс серійних деталей. Середній знос експериментальних деталей склав 1,78 мм, а їх ресурс – 20 589 га, що в 4 рази більше порівняно з серійними деталями.

Встановлено позитивний ефект у вигляді відсутності значного зносу сталевих деталей, які працюють у поєднанні з ПКМ. Аналіз надійності підтвердив відповідність розподілу зносу нормальному закону, що дозволяє точно прогнозувати їхній ресурс.

Отже, для підвищення довговічності посівних комплексів доцільно застосовувати інноваційні матеріали та покриття в рухомих з'єднаннях, що зменшить витрати на технічне обслуговування та підвищить ефективність робіт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Д.Г. Войтюк, Сільськогосподарські машини / Войтюк Д.Г., Гаврилук Г.Р. та ін. – Київ: Каравела, 2004. – 580с.
2. Статистичний щорічник України за 2023 рік. Державний комітет статистики України. – К.: /«Консультант»/, 2023. – 534 с.
3. Зернові сівалки ПАТ «Elvorti». URL: <http://www.elvorti.com/index.php?part=production&lang#tab3>
4. Інструкції з експлуатації посівної техніки Great Plains. URL: <https://www.greatplainsmfg.com.ua/node/2599>
5. Каталог продукції Amazone. GO for Innovation 2018. Agritechnica 2017. URL:<http://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=45644>
6. Maschio Gaspardo product range. URL: <http://www.maschio.com/assets/Download-sito-2014/W00227326RGammaProdottiEN-LR.pdf>
7. Каталог техніки. Сівалки точного висіву John Deere. URL: [http://origin-www.deere.ua/uk\\_UA/docs/product/equipment/seeding/db\\_series/specs/1014608\\_Planters\\_UA.pdf](http://origin-www.deere.ua/uk_UA/docs/product/equipment/seeding/db_series/specs/1014608_Planters_UA.pdf)
8. Пропашні сівалки KINZE. URL: [https://ag-tng.com.ua/pdf/KINZE\\_PlanterBookUkraine.pdf](https://ag-tng.com.ua/pdf/KINZE_PlanterBookUkraine.pdf)
9. Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур : монографія / В. М. Сало, О. Р. Лузан, П. Г. Лузан, Ю. В. Мачок ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. - Кіровоград : СПД ФО Лисенко В. Ф., 2012. – 164 С.
10. Рудь А. В. Огляд і аналіз конструкцій сівалок для сівби зернових культур / А. В. Рудь, Ю. Ф. Павельчук, В. В. Нікітін // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2010. – Вип. 40(2). – С. 42-47. – URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz\\_2010\\_40\(2\)\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2010_40(2)_9)
11. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих наук: 05.02.04 / Аулін Віктор Васильович; Хмельниц. нац. ун-т. –Хмельницький, 2015. – 36 с.

12. Черновіл М.І. Технологічні основи відновлення деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями: Дис... д-ра техн. наук. – Кіровоград, 1992. – 502 с.

13. Derkach O., Makarenko D., Velyka M., Shapoval O. Development of high accuracy of copy soil system. International Scientific Journal. Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. Year LXIII, Issue 5/2017. Sofia. 2017. P. 185–187.

14. Деркач О. Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11. Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2006. 20 с.

15. Наукові основи розробки полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення на основі політетрафторетилену [Текст]: монографія / Х.В. Берладір, О.А. Будник, К.О. Дядюра [та ін.]; За ред. К.О. Дядюри. – Суми: СумДУ, 2017. – 176 с.

16. Деркач О.Д., Буря О.І. Підвищення технічного рівня електро-, автомобільного транспорту та сільськогосподарської техніки за рахунок використання нових матеріалів. Наукові рекомендації: Дніпропетровськ: ДДАУ. – 2011. – 71 с.

17. Деркач О.Д. Теоретичні передумови до обґрунтування режимів роботи паралелограмного копіювального механізму / О.Д. Деркач, Д.О. Макаренко // Молодь і сільськогосподарська техніка в ХХІ столітті: XIII Міжнар. форум молоді. – Х: ХНТУСГ, 2017. – С. 61.