

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування параметрів деталей трибоспряжень  
сільськогосподарської техніки**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-2-20  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Апанович Андрій Ігоревич

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Деркач Олексій Дмитрович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

ДНІПРО – 2021



## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

Мета і задачі досліджень. Аналіз. Обґрунтування проблеми (5 аркушів, А4).  
2. Обладнання для експериментальних досліджень (1 аркуш, А4) 3. Зразки для проведення досліджень (1 аркуш, А4). 4. Результати досліджень (1 аркуш, А4)  
 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуші, А4).

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Деркач О.Д., доцент		
2	Деркач О.Д., доцент		
3	Деркач О.Д., доцент		
4	Кравець В.В, доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
6			
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 06.09.2021

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 06.10.2021 р.	
2	Теоретичний	до 15.10.2021 р.	
3	Програма та методика досліджень	до 22.10.2021 р.	
3	Експериментальний	до 05.11.2021 р.	
4	Охорона праці	до 11.11.2021 р.	
5	Економічний	до 19.11.2021 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2021 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ Апанович А.І.  
 ( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Деркач О.Д.  
 ( підпис ) (прізвище та ініціали)



УДК 631

### АНОТАЦІЯ

Апанович А.І. Обґрунтування параметрів деталей трибоспряжень сільськогосподарської техніки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація рослинництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

В дипломній роботі проаналізовано умови роботи трибоспряжень сільськогосподарської техніки. Визначено навантаження в рухомих з'єднаннях посівної машини. Розроблено програму та наведено методики експериментальних досліджень. Встановлено залежність величини зносу експериментальних деталей від параметрів трибоспряження. Розглянуто основні положення з безпеки праці при виконанні робіт в науково-дослідній лабораторії. Виконано техніко-економічну оцінку дипломної роботи.

*Ключові слова:* навантаження, рухомі з'єднання, параметри трибоспряжень, полімерно-композитний матеріал, величина зносу, сільськогосподарські машини.

Список публікацій здобувача (за наявності):

Деркач А.Д., Макаренко Д.А., Кабат О.С., Качанов В.С., Апанович А.И., Деркач П.А. Применение рециклинга пластиков в трибосистемах посевной техники. Conserving soil and water 2020. V International scientific conference. Year IV, ISSUE 1(4). – 2020. – С. 22-25.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ</b> .....	10
1.1 Умови роботи трибоспряжень сільськогосподарських машин .....	10
1.2 Шляхи підвищення довговічності трибоспряжень сільськогосподарської техніки.....	12
1.3 Обґрунтування теми дипломної роботи .....	21
<b>2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ</b> .....	22
2.1 Визначення навантажень в трибоспряженнях.....	22
2.2 Визначення деформацій підшипника ковзання при встановленні його з натягом.....	26
<b>3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	29
3.1 Програма та завдання досліджень .....	29
3.2 Виготовлення зразків та деталей для експериментальних досліджень .....	30
3.3 Методика дослідження фізико-механічних характеристик експериментальних зразків .....	33
3.4 Методики визначення триботехнічних властивостей матеріалу та величини зносу експериментальних деталей .....	35
<b>4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	38
4.1 Результати дослідження фізико-механічних характеристик експериментальних зразків .....	38
4.2 Дослідження триботехнічних характеристик матеріалу та величини зносу експериментальних деталей .....	39
<b>5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	43
5.1 Основні поняття охорони праці .....	43
5.2 Вимоги безпеки праці при виконанні робіт з полімерно-композитними матеріалами .....	43

5.3 Вимоги до засобів індивідуального захисту при роботі з полімерними матеріалами .....	45
5.4 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні робіт з ПКМ .....	46
5.5 Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників від шкідливих та небезпечних факторів.....	48
5.6 Вимоги безпеки праці при роботі з обладнанням та машинами для проведення досліджень .....	49
5.7 Дії у разі виникнення надзвичайної ситуації (ураження електричним струмом) .....	51
<b>6. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ .....</b>	<b>53</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>61</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>63</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>66</b>

## ВСТУП

Удосконалення існуючих конструкцій сільськогосподарських машин дозволяє підвищити якість виконання технологічних операцій. Це сприяє покращенню умов розвитку культурних рослин, і як результат, призводить до збільшення врожайності. Основним напрямком розвитку конструкцій с.-г. машин є збільшення їх ширини захвату та створення комбінованих машин. Тому, кількість машин необхідних для забезпечення своєчасного проведення технологічних операцій постійно зменшується. Це обумовлює необхідність забезпечення високої надійності вказаної техніки. Одними з основних елементів конструкцій машин, які впливають на надійність, є рухомі з'єднання.

Проведення технічного обслуговування трибоспряжень є одним із напрямків підвищення їх довговічності. При цьому, необхідність обслуговування потребує додаткових витрат часу, що для деяких машин може сягати декількох годин. Відомі позитивний ефект від впровадження в конструкцію трибоспряжень самозмащувальних полімерно-композитних матеріалів. Але існує необхідність в детальному визначенні режимів роботи та параметрів деталей трибоспряжень для кожної окремої сільськогосподарської машини.

Тому метою дипломної роботи є обґрунтування параметрів деталей трибоспряжень сільськогосподарської техніки.

Поставлена мета буде досягнута вирішенням таких задач:

1. Проаналізувати умови роботи трибоспряжень сільськогосподарської техніки.
2. Визначити навантаження в рухомих спряженнях та режими їх роботи.
3. Розробити програму та навести методики експериментальних досліджень.
4. Встановити залежність величини зносу експериментальних деталей від параметрів трибоспряження.



5. Розглянути основні положення з безпеки праці при виконанні експериментальних робіт.

6. Навести техніко-економічну оцінку роботи.

Об'єкт дослідження. Процес зміни інтенсивності зношування в залежності від режиму роботи та параметрів трибоспряження.

Предмет дослідження. Закономірності зміни величини зносу експериментальних деталей, виготовлених із полімерно-композитного матеріалу, від параметрів трибоспряження.

Методи досліджень. Експериментальні дослідження фізико-механічних характеристик матеріалу та величини зносу виконували за стандартними та власними методиками дослідження (ГОСТ 4651-82 та ГОСТ 4647-80). Обробка та інтерпретація результатів експериментальних досліджень виконана за допомогою пакетів прикладних програм на ПК.

Практичне значення роботи полягає у в тому, що отримані результати дозволяють обґрунтувати рекомендації щодо параметрів трибоспряжень, елементи яких виготовлені з полімерно-композитного матеріалу. Отримані результати можна використати на стадії проектування нових або модернізації існуючих сільськогосподарських машин.

# 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

## 1.1 Умови роботи трибоспряжень сільськогосподарських машин

Сільськогосподарська техніка працює в складних умовах, що пов'язані з наявністю в робочій зоні різноманітних шкідливих, агресивних та абразивних частинок (речовин). Під час виконання більшості технологічних операцій відбувається активна взаємодія робочих органів с.-г. машин із ґрунтом (при виконанні ґрунтообробних операцій чи сівбі) або із культурною рослиною. В результаті такої взаємодії в зоні роботи машин підвищується вміст пиловидних частинок – ґрунту чи частинок рослин.

В конструкціях сільськогосподарської техніки застосовуються такі трибоспряження:

- підшипникові вузли (опорних коліс, дисків ґрунтообробних машин та сошників, механізмів прикочування, опор приводу робочих органів);
- рухомі з'єднання механізми копіювання поверхні ґрунту;
- механізмів переведення машин з транспортного положення в робоче, і навпаки;
- рухомі з'єднання механізмів напрямних маркерів;
- механізми безпеки посівних секцій чи робочих органів ґрунтообробних машин;
- рухомі з'єднання механізми дозування насінневого матеріалу чи добрив (разом з їх приводами).

Більшість вказаних рухомих з'єднань працюють саме в середовищі з підвищеним вмістом абразивних частинок. Запиленість повітря, при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту, в робочій зоні може сягати  $5 \text{ г/м}^3$ . Ці частинки в залежності від їх розміру та структури, а також від матеріалу

трибоспряжень, при потраплянні в зону тертя будуть по різному впливати на величину зносу (рис. 1.1).

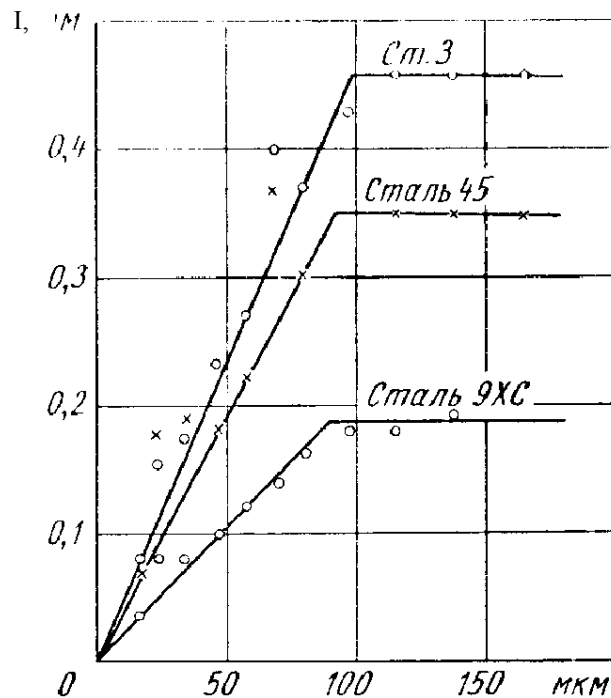


Рисунок 1.1 – Залежність зносу сталей від середнього розміру зерна абразиву крупної фракції [1]

З рис. 1.1 стає зрозумілим, що незалежно від марки сталі, величина зносу деталей підвищується до досягнення певного розміру частинок абразиву. Після чого спостерігається стабілізація величини зносу не залежно від подальшого збільшення абразивних частинок.

Відомо, що у випадку коли розмір абразивних частинок не перевищує 5 мкм, то вони при потраплянні в зону тертя, за наявності абразивного середовища, абсорбують на своїй поверхні продукти окислення мастила [2]. Такі процеси можуть знизити інтенсивність зношування деталей трибоспряжень. Середній розмір пиловидних частинок ґрунту (0,06 мм і менше) може сягати, в залежності від типу ґрунту, від 10 % до 25...30 %.

На виникнення зношування та на підвищення його інтенсивності впливають:

- властивості мастильних матеріалів;

- способи подачі мастильних матеріалів до поверхонь тертя;
- властивості матеріалів з яких виготовлені пари тертя;
- шорсткість та форма пар тертя;
- величина та динаміка прикладеного навантаження;
- лінійна швидкість переміщення та її напрямок пара тертя;
- температурний режим експлуатації трибоспряження;
- наявність механічних та хімічних елементів в зоні тертя.

Вказані фактори, що впливають на виникнення зношування та його інтенсивність також можна умовно поділити на три групи. Перша група факторів пов'язана з режимами роботи: навантаження, швидкість ковзання, температурний режим. Друга пов'язана з конструкцією рухомих спряжень: спосіб подачі мастильних матеріалів, властивості матеріалів трибоспряжень, шорсткість та форма пар тертя. До третьої групи можна віднести властивості мастильних матеріалів, наявність механічних та хімічних частинок (речовин) в зоні тертя. Серед основних факторів, що впливають на інтенсивність зношування деталей можна розділити на три основні групи: конструктивні, технологічні і експлуатаційні. Кожна з цих груп потребує окремого розгляду шляхів щодо зменшення інтенсивності зношування трибоспряжень.

## **1.2 Шляхи підвищення довговічності трибоспряжень сільськогосподарської техніки**

Все різноманіття напрямків підвищення довговічності рухомих з'єднань можна розділити на три групи: конструкторські, технологічні та експлуатаційні.

Конструкторські методи підвищення довговічності засновані на використанні матеріалів, що мають значну довговічність та раціональне їх поєднання у трибоспряженнях; забезпечення необхідних умов мащення поверхонь спряжень, що взаємодіють; розробка та удосконалення конструкцій та матеріалів різноманітних ущільнювачів трибоспряжень. Крім цього, необхідно забезпечити високу технологічність виготовлення машин в цілому.

Вказані методи використовують на стадії проектування (розробка) конструкції рухомих спряжень або при їх вдосконаленню.

Технологічні методи підвищення довговічності засновані на: виготовлення деталей або елементів трибоспряжень з дотриманням високої точності розмірів виробів; підвищенні міцнісних характеристик та властивостей поверхневих шарів їх зміцненням чи за рахунок нанесення спеціальних зносостійких покриттів. Вказаний метод широко використовувався для відновлення зношених деталей трибоспряжень різноманітної сільськогосподарської техніки [3-6].

Забезпечення високих показників довговічності за рахунок удосконалення технологічних та конструкторських методів не дають гарантії значної довговічності машини чи агрегату. Крім вище згаданих умов необхідно забезпечити високий рівень технічної експлуатації з дотриманням всіх вимог щодо технічного обслуговування та ремонту. Крім обов'язкового виконання вимог планово-запобіжної системи ТО та зберігання необхідно виконувати якісно обкатування нових або відремонтованих (відновлених) вузлів та механізмів. Основний недолік експлуатаційних методів є високі енергозатрати на їх реалізацію та виконання.

До експлуатаційних методів підвищення довговічності відносять: обкатка нових або відремонтованих механізмів; виконання вимог планово-запобіжної системи ТО та зберігання; забезпечення відповідних до інструкції умов експлуатації. Відомі методи поліпшення якості поверхонь тертя безпосередньо під час експлуатації або в міжзмінний час (обробка на спеціальних стендах. Недоліком експлуатаційних методів є високі затрати ресурсів (енергетичних, матеріальних, трудових).

Умови експлуатації трибоспряжень машин і механізмів мають вирішальний вплив на довговічність (у випадку достатніх показників щодо міцності та якості рухомих спряжень). Тому, одними із ефективних шляхів підвищення довговічності трибоспряжень є захист зон тертя від зовнішнього

середовища (абразивних частинок та хімічних речовин) та розробка нових конструкцій рухомих з'єднань.

Для захисту трибоспряжень, від шкідливої дії на них зовнішнього середовища, в конструкціях рухомих з'єднань машин і механізмів, застосовують або різноманітні ущільнюючі елементи, або використовують мастильні матеріали для постійного мащення.

Всі типи ущільнювачів можна умовно розділити на 3 групи:

- безконтактні ущільнювачі;
- контактні ущільнювачі;
- статичні ущільнювачі.

Безконтактні ущільнювачі – манжети, забезпечують незначний зазор між нерухомою деталлю та деталлю, що рухається (зазвичай обертається). Вони можуть мати як просту конструкцію так і багатоступеневі лабіринти, для кращого захисту у випадку експлуатації в зоні з підвищеною запиленістю (забрудненістю). Контактні ущільнювачі зазвичай використовують для трибоспряжень, що мають лінійний рух одного елемента відносно іншого, в деяких випадках це можуть бути й ущільнювачі для валів. Статичні ущільнювачі застосовують при необхідності забезпечення герметичності між деталями чи гасіння вібрацій. Одним із найбільш розповсюдженими серед них можна назвати ущільнюючі прокладки. В трибоспряженнях сільськогосподарських машин найбільшого вжитку отримали підшипники кочення та ковзання. Для підвищення довговічності їх роботи застосовують різноманітні конструкції, що забезпечують високий захист від зовнішнього середовища та створення оптимального режиму експлуатації.

Ущільнюючі елементи для підшипників кочення, в залежності від типу машин та необхідного ступеня захисту, мають різноманітну конструкцію (рис. 1.1).

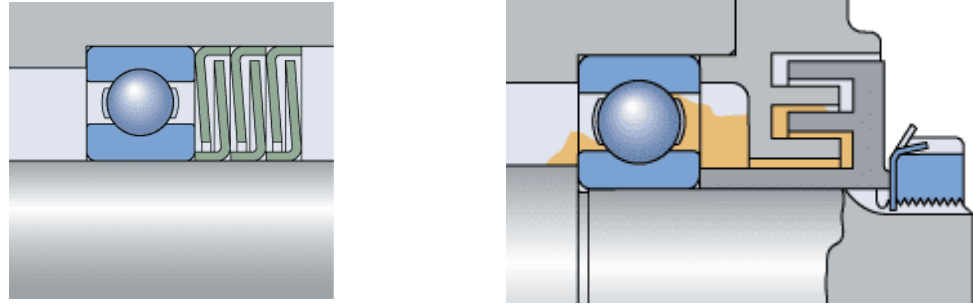


Рисунок 1.1 – Конструкції лабіринтів-ущільнювачів для підшипників кочення

Для захисту підшипникових вузлів тертя (підшипникових опор) робочих органів ґрунтообробних машин виробник SKF використовує підшипники зі спеціально розробленою конструкцією (рис 1.2) [7]. Підшипники SKF типу Y не потребують обслуговування протягом всього терміну експлуатації та захищені від зовнішнього середовища спеціальними ущільнювачами.

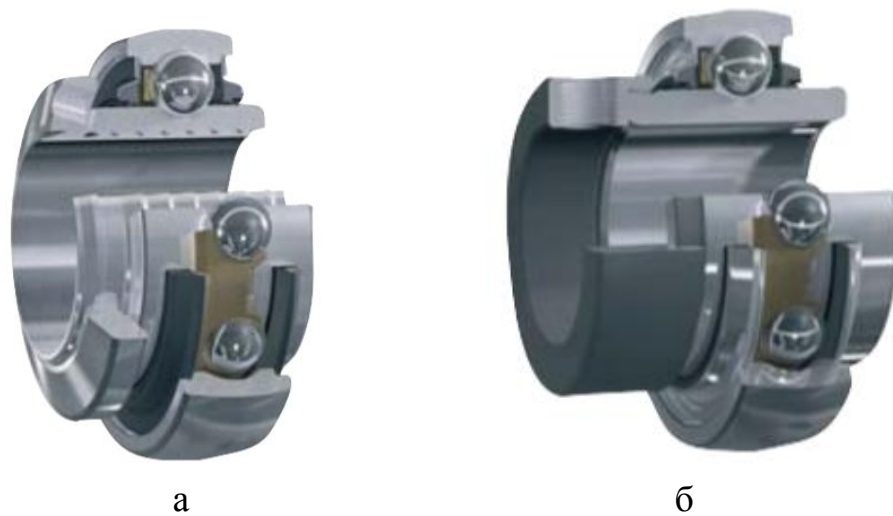


Рисунок 1.2 – Підшипники виробництва SKF тип Y: а – YSPAG; б – YELAG

Наведені підшипники розраховані на роботу за різних режимів експлуатації. Так, підшипники SKF YELAG обладнані ексцентриковим стопорним кільцем і призначені для звичайних умов експлуатації. В той час, як SKF YSPAG, використовують концентричний метод кріплення, та призначені для роботи за великих навантажень та лінійних швидкостей.

За стандартних умов роботи підшипників кочення додатковий захист не обов'язковий, тому виробник SKF пропонує використовувати простішу й

дешевшу конструкцію захисту (рис 1.2). Ця конструкція складається із сталевій шайби та ущільнюючого гумового елемента.

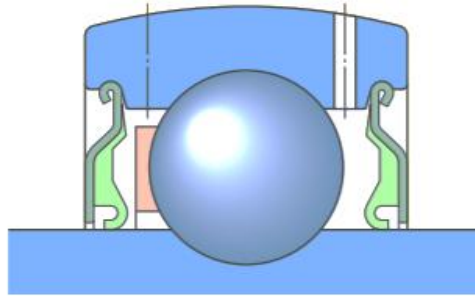


Рисунок 1.3 – Підшипник кочення виробництва SKF з ущільнювачами для звичайних умов роботи

Виробник SKF рекомендує для сільськогосподарської техніки використовувати саме підшипники типу Y, що дозволяють забезпечити високу ступінь захисту навіть за умови значного запилення середовища. Ця технологія передбачає використання п'яти точкових ущільнювачів для підшипників (рис 1.4).

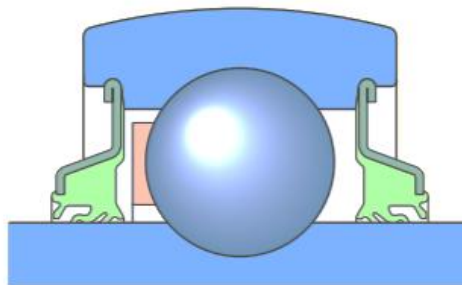
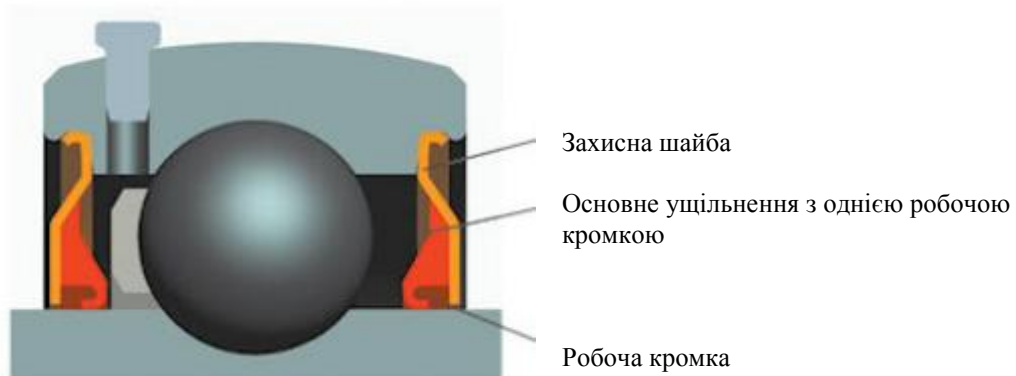


Рисунок 1.4 – Підшипник кочення виробництва SKF типу Y з п'яти точковими ущільнювачами

Вітчизняний виробник підшипників кочення – Харківський підшипниковий завод (HARP) також пропонує різноманітні рішення конструкцій для захисту від зовнішнього середовища. Для підшипникових опор



техніки сільськогосподарського призначення розроблена спеціально серія HARP AGRO [8] з новими системами ущільнювачів X-SHIELD (рис. 1.5).



Рисун

ок 1.5 – Конструкція системи ущільнювача X-SHIELD підшипника HARP AGRO

В залежності від режимів роботи та агресивності середовища експлуатації виробник пропонує широкий вибір підшипників. Найбільш захищеним підшипником HARP AGRO є система ущільнювача X-SHIELD-6 (рис. 1.6), яка за даними виробника має ресурс в 4 рази більший, ніж звичайні ущільнювачі.

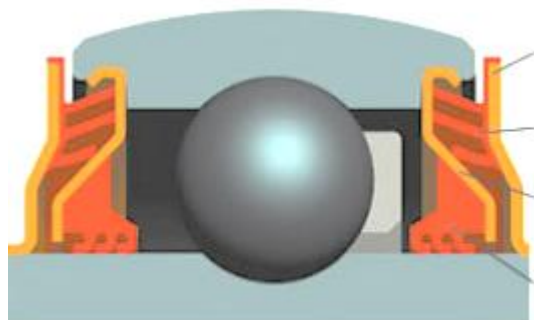


Рисунок 1.6 – Конструкція системи ущільнювача X-SHIELD-6 підшипника HARP AGRO

При цьому виникає питання, чи потрібно такі високі значення довговічності для підшипникових вузлів. Розробка та виготовлення таких конструкцій (рис. 1.6) потребує значні затрати енергоресурсів, що суттєво збільшує їх собівартість.

Як видно з приведених результатів, виробництво розробило якісні підшипники та системи їх захисту від зовнішнього середовища. Це дозволяє відмовитися від їх технічного обслуговування (мащення) протягом всього періоду експлуатації. При цьому, в напрямку підвищення довговічності підшипників ковзання, такого ефекту за незначних додаткових затрат, досягти складно.

Одними із основних напрямків вирішення вказаної проблеми є введення мастильних матеріалів, в тому числі й спеціально оброблених, в зону тертя або використання самозмащувальних конструкційних матеріалів. Для цього в конструкціях трибоспряжень, в яких застосовуються підшипники ковзання, передбачені точки обслуговування (мащення) (рис 1.7).



Рисунок 1.7 – Точки мащення трибоспряження з підшипником ковзання (стрілкою вказана точка обслуговування рухомого з'єднання опорного колеса посівної секції)

Деякі рухомі спряження сільськогосподарської техніки працюють в режимі сухого тертя, і їх конструкції не передбачає проведення мащення (рис. 1.8).

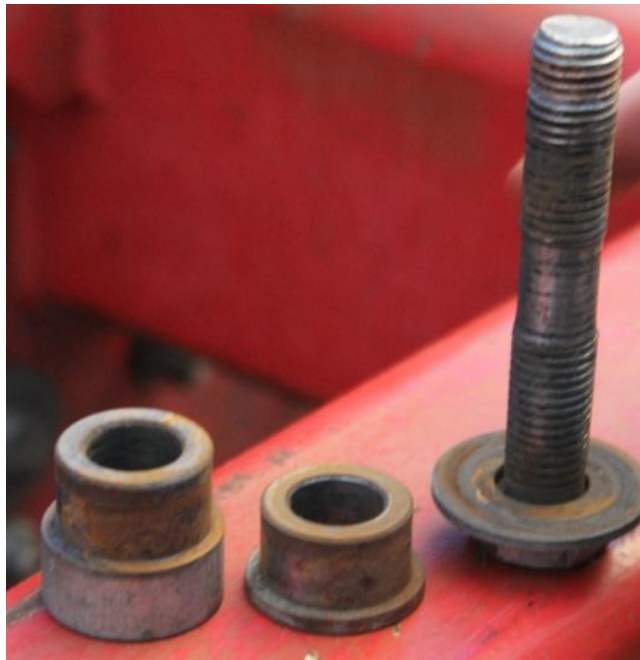


Рисунок 1.8 – Трибоспряження, що працюють в режимі сухого тертя

Відсутність мащення призводить до надмірного зносу всіх елементів трибоспряження (рис. 1.8). Відновлення корпусних деталей конструкції рухомих з'єднань потребує значних енергозатрат, і інколи з економічної точки зору не доцільне.

Введення мастильних матеріалів, зазвичай консистентних мастил, в зону тертя підшипників ковзання дозволяє вирішити декілька завдань:

- зменшити інтенсивність зношування;
- краще відводити температуру з зони трибоспряження;
- захистити рухомі спряження від абразивних частинок чи агресивних речовин.

При цьому введення консистентних мастил в трибоспряження має й ряд недоліків, серед основних слід назвати такі:

- підвищена сила внутрішнього тертя;
- обмежений діапазон температур експлуатації;
- значна зміна властивостей при зміні температури зовнішнього середовища.

Введення мастильних матеріалів, в зону тертя, крім зменшення опору тертя та зменшення зносу трибоспряжень також виконує такі функції: запобігання утворенню локальних пошкоджень, відведення тепла, захищає від потрапляння в зону тертя агресивних рідин та абразивних частинок, запобігають (пригнічують корозійні процеси). При цьому, це відбувається тільки за умови повного заповнення простору між елементами трибоспряжень, що потребує періодичного технічного обслуговування або використання спеціальних конструкцій ущільнюючих елементів.

Крім цього, використання мастильних матеріалів, як для підшипників кочення, так і для підшипників ковзання призводить до виникнення явища водневого зношування [9]. В процесі водневого зношування, яке виникає під дією високих температур, значних навантажень та магнітних полів, що є результатом процесу тертя декількох з'єднань трибоспряження. При цьому у спряженні відбувається інтенсивне виділення водню, з компонентів, що перебувають в зоні тертя (мастило, паливо, вода та ін.). Вивільнений водень починає накопичуватися в між зерновому просторі металів, провокуючи підвищення напружень в ньому та зародження мікротріщин. Вирішити вказану проблему використанням різноманітних сплавів та композитів металевих походження бажаного ефекту не дало. Одним із перспективним напрямком вирішення проблеми підвищення довговічності підшипників ковзання є використання у їх трибоспряженнях самозмащувальних полімерно-композитних матеріалів неметалевого походження – пластиків. Деякі матеріалу такого типу здатні працювати при значних навантаженнях та в широкому діапазоні робочих температур [10-12].

Відомі позитивні результати щодо використання полімерно-композитних матеріалів (ПКМ) в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки, промислових установках та обладнанні [10-12].

У вказаних роботах використовуються матеріали на основі поліаміду та вуглецевих волокон, як наповнювача. Перевагами таких матеріалів є здатність працювати в трибоспряження за відсутності мастильного середовища,

відсутність заклинювання вузлів навіть у випадку часткового руйнування деталей з ПКМ, відсутність зносу сталевих спряжених деталей.

Тому, одним із перспективних шляхів підвищення довговічності трибоспряжень сільськогосподарської техніки є створення рухомих спряжень з використанням самозмащувальних матеріалів неметалевого походження.

### **1.3 Обґрунтування теми дипломної роботи**

Впровадження полімерно-композитних матеріалів неметалевого походження в трибоспряження сільськогосподарської техніки крім значної кількості переваг має й ряд недоліків. До них можна віднести високу вартість готових виробів, обмежені режими експлуатації (навантаження та лінійна швидкість ковзання), необхідність зміни конструкції рухомих спряжень.

Для вирішення двох останніх наведених недоліків необхідно обґрунтовувати параметри трибоспряжень з врахуванням особливостей конструкції вузлів тертя та режимів їх роботи.

Саме тому, метою дипломної роботи є обґрунтування параметрів деталей трибоспряжень сільськогосподарської техніки.

Поставлена мета буде досягнута вирішенням таких задач:

7. Проаналізувати умови роботи трибоспряжень сільськогосподарської техніки.

8. Визначити навантаження в рухомих спряженнях та режими їх роботи.

9. Розробити програму та навести методики експериментальних досліджень.

10. Встановити залежність величини зносу експериментальних деталей від параметрів трибоспряження.

11. Розглянути основні положення з безпеки праці при виконанні експериментальних робіт.

12. Навести техніко-економічну оцінку роботи.

## 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ

### 2.1. Визначення навантажень в трибоспряженнях

Високу ефективність копіювання поверхні поля мають механізми типу «паралелограм». Такий тип копіювальних механізмів широко застосовується в конструкціях культиваторів та посівних машин. Паралелограмні механізми копіювання мають декілька основних недоліків, а саме: значну масу, у порівнянні з іншими типами копіювальних механізмів; погіршення якості копіювання у випадку граничного зносу у вузлах тертя; застосування значної кількості трибоспряжень, більшість з яких потребує частого технічного обслуговування.

Для розрахунку обрано вітчизняний посівний комплекс Агро-Союз Turbosem II 19-48 в якого механізм копіювання поверхні ґрунту виконаний у вигляді паралелограму. Вказаний посівний комплекс при виконанні всіх регламентних робіт з ТО вчасно забезпечує високу якість сівби. Проте, у випадку відхилень від періодичності ТО (машини) трибоспряжень механізму копіювання, якість виконання сівби стає незадовільною вже через 600...700 га напрацювання.

Для визначення навантажень в трибоспряженнях механізму копіювання необхідно розглянути зміну геометричних розмірів вказаного механізму при взаємодії з ґрунтом. Спочатку необхідно, прийнявши деякі спрощення, скласти умовну схему копіювального механізму та провести дослідження реакції, що виникають у рухомих з'єднаннях.

Силову картину, що виникає в паралелограмному механізмі раціонально оцінювати в режимі максимального навантаження задля забезпечення мінісних характеристик елементів трибоспряжень. Тому, необхідно розглянути детальну картину навантажень внутрішніми та зовнішніми силами, що діють на рухомі

спряження копіювального механізму. Вказана схема силової картини представлена на рис. 2.1.

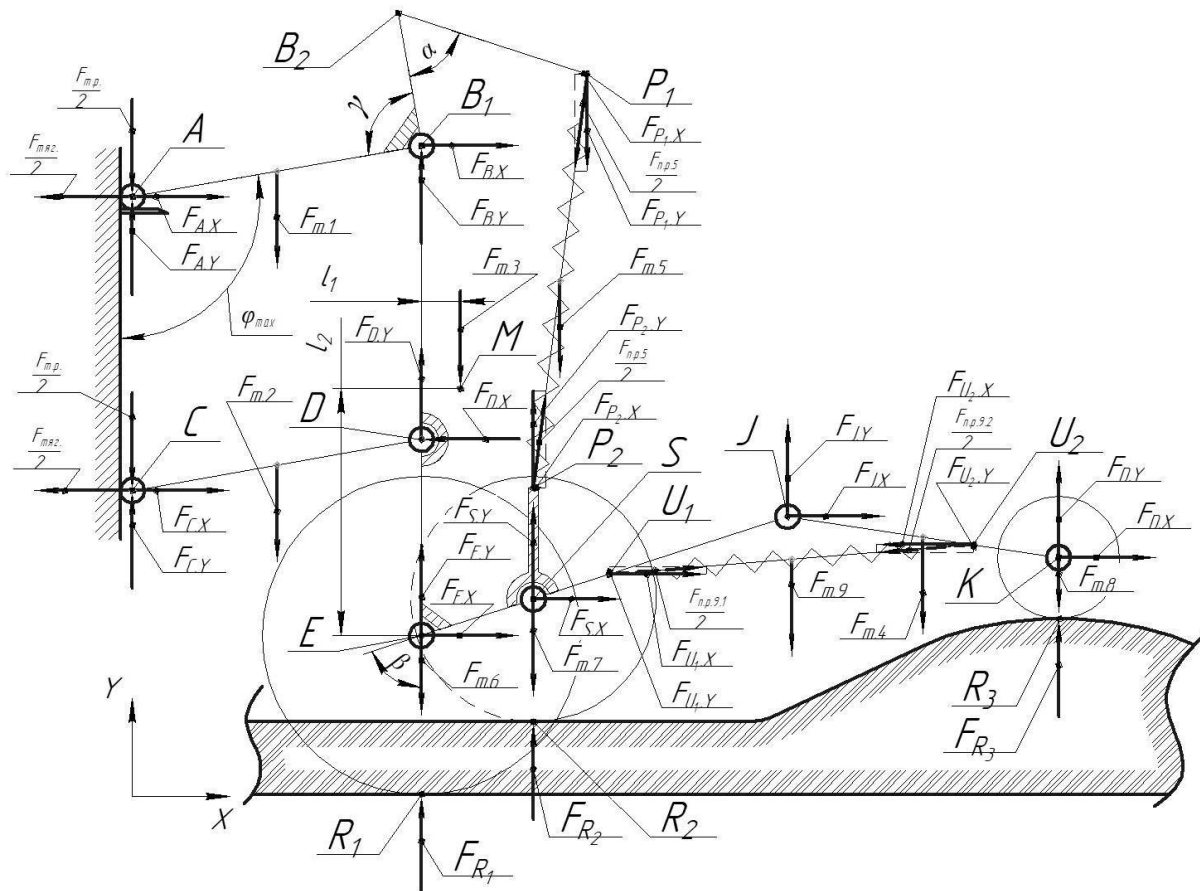


Рисунок 2.1 – Силова картина у трибоспряженнях механізму копіювання за максимального режиму

Наведена схема дозволяє описати стан рівноваги механізму копіювання. Спочатку необхідно обрати першу точку (вузол), відносно якої потрібно сформулювати рівняння моментів сил. При цьому рівняння сил необхідно сформулювати відносно осей X та Y. Сили, які знаходяться під кутом до вказаних осей розбиваємо на сили спираючись на принцип суперпозиції. У такому випадку рівняння рівноваги паралелограмного копіювального механізму відносно осі Y можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} \Sigma Y = 0; & -\frac{F_{m.p}}{2} - \frac{F_{m.p}}{2} + F_{A.Y} + F_{B.Y} - F_{m.1} - F_{P_1.Y} - F_{m.3} + F_{E.Y} + \\ & + F_{D.Y} - F_{m.2} + F_{C.Y} + F_{P_2.Y} + F_{S.Y} - F_{m.7} + F_{U_1.Y} + F_{J.Y} - F_{m.4} - \\ & - F_{m.9} - F_{m.5} - F_{m.6} - F_{U_2.Y} + F_{K.Y} - F_{m.8} + R_1 + R_2 + R_3 = 0. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Відносно осі Х рівняння рівноваги має вигляд:

$$\begin{aligned} \Sigma X = 0; & -\frac{F_{мяг}}{2} - \frac{F_{мяг}}{2} + F_{A.X} + F_{B.X} - F_{P_1.X} + F_{D.X} + F_{C.X} + \\ & + F_{P_2.X} + \frac{F_{E.X}}{2} + \frac{F_{S.X}}{2} + F_{U_1.X} + F_{J.X} - F_{U_2.X} + F_{K.X} = 0. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Рівняння рівноваги моментів відносно точки А паралелограмного механізму копіювання має вигляд:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{m.A} = 0; & -F_{m.5} \cdot \left[ \frac{P_1 P_2}{2} \cdot \sin(\angle \theta) \right] - F_{m.1} \cdot \left[ \frac{AB_1}{2} \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] + \\ & + F_{B.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] - F_{B.X} \cdot \left[ AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] + \\ & + F_{P_1.X} \cdot \left[ AP_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max} - \angle(P_1 AB_1)) \right] - \\ & - F_{P_1.Y} \cdot \left[ AP_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max} - \angle(P_1 AB_1)) \right] - \\ & - F_{m.3} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + l_1 \right] - F_{m.2} \cdot \left[ \frac{CD}{2} \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] + \\ + F_{D.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] & - F_{D.X} \cdot \left[ B_1 D - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] - \\ & - \frac{F_{мяг}}{2} \cdot [AC] + F_{C.X} \cdot [AC] + F_{E.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] - \\ & - F_{m.6} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] + F_{E.X} \cdot \left[ AE \cdot \cos(\angle(AEB_1)) \right] + \\ & + F_{P_2.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta) \right] - \\ & - F_{P_2.X} \cdot \left[ B_1 E - EP_2 \cdot \cos(\angle(B_1 EP_2)) - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] + \\ & + F_{S.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta) \right] + \\ & + F_{S.X} \cdot \left[ B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - ES \cdot \cos(\beta) \right] - \\ & - F_{m.7} \cdot \left[ AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta) \right] + \\ & + F_{U_1.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) + (EJ - U_1 J) \cdot \sin(\beta) \right] + \\ & + F_{U_1.X} \cdot \left[ B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - (EJ - U_1 J) \cdot \cos(\beta) \right] + \\ & + F_{J.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) \right] + \\ & + F_{J.X} \cdot \left[ B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - EJ \cdot \cos(\beta) \right] - \\ - F_{m.9} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + (EJ - U_1 J) \cdot \sin(\beta) + \frac{U_1 U_2}{2} \cdot \cos(\angle \varepsilon) \right] & - \\ - F_{m.4} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + \frac{JK}{2} \cdot \sin(\angle J'_1 JK') \right] & - \\ - F_{U_2.X} \cdot \left[ B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - EJ \cdot \sin(\beta) + JU_2 \cdot \cos(\angle(J'_1 JK)) \right] & - \\ - F_{U_2.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JU_2 \cdot \sin(\angle(J'_1 JK)) \right] & + \\ + F_{K.Y} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JK \cdot \sin(\angle(J'_1 JK)) \right] & + \\ + F_{K.X} \cdot \left[ B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \varphi_{\max}) - EJ \cdot \cos(\beta) + JK \cdot \cos(\angle J'_1 JK) \right] & - \\ - F_{m.8} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JK \cdot \sin(\angle J'_1 JK) \right] & + \\ + F_{R_1} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max}) \right] + F_{R_2} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta) \right] & + \\ + F_{R_3} \cdot \left[ AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JK \cdot \sin(\angle J'_1 JK) \right] & = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$



Рівняння рівноваги моментів відносно інших точок отримуємо аналогічно. Створену систему рівнянь розв'язуємо за допомогою прикладної програми MathCad. Для визначення реакцій, що виникають у трибоспряженнях посівної секції Turbosem II 19-48 необхідно знати параметри вихідних ланок механізму копіювання:  $AB_1 = CD = 600$  мм;  $B_1B_2 = 85$  мм;  $B_2P_1 = 75$  мм;  $AC = B_1D = 215$  мм;  $DE = 160$  мм;  $ES = 100$  мм;  $SP_1 = 80$  мм;  $SJ = 200$  мм;  $JD = 200$  мм;  $U_1J = 130$  мм;  $U_2J = 140$  мм;  $U_1U_2 = 130$  мм; діаметр диску 400 мм, діаметр опорного колеса 400 мм; діаметр прикочуючого колеса 305 мм;  $\angle \varphi_{\max} = 65^\circ$ ;  $\angle \alpha = 45^\circ$ ;  $\angle \beta = 72^\circ$ ;  $\angle \gamma = 80^\circ$ ,  $l_1 = 100$  мм. Також необхідно знати масові характеристики окремих деталей:  $m_1 = 15$  кг;  $m_2 = 7$  кг;  $m_3 = 9$  кг;  $m_4 = 4$  кг;  $m_5 = 4$  кг;  $m_6 = 8$  кг;  $m_7 = 10$  кг;  $m_8 = 7$  кг;  $m_9 = 1,5$  кг. Коефіцієнти жорсткості пружини паралелограмного механізму та прикочуючого колеса приймаємо  $P_1P_2 = 162$  Н/см та  $U_1U_2 = 95$  Н/см відповідно.

Підставивши зазначені числові значення в систему рівнянь, отримуємо такі результати силової картини посівної секції комплекс Turbosem II 19-48:  $F_{R1} = 3022,5$ ,  $F_{R2} = 2817,8$  Н;  $F_{R3} = 941,2$  Н;  $R_A = 1663$  Н;  $R_{B1} = 2377,3$  Н;  $R_C = 1285,9$  Н;  $R_D = 1674,5$  Н;  $R_E = 2876$  Н;  $R_S = 2677,3$  Н;  $R_J = 921,1$  Н;  $R_D = 893,7$  Н.

Впровадження полімерно-композитних матеріалів потребує обґрунтування їх працездатності за основними показниками роботи, а саме за режимом тертя: швидкістю ковзання та навантаженням. Тому, для перевірки необхідно спочатку визначити питомих навантаження, що діє на деталь з ПКМ у трибоспряженні в залежності від її геометричних розмірів рухомих з'єднань та реакції, що виникає у шарнірному з'єднанні.

Працездатність деталей, виготовлених із ПКМ, доцільно здійснювати за фактором  $p_v$ .

Питомих навантаження розраховуємо за формулою:

$$p = \frac{R_{max}}{l \cdot d}, \quad (2.4)$$

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

$R_{max}$  – навантаження (реакція) у трибоспряженні, Н

$d$  – діаметр деталі з ПКМ, м;

$l$  – довжина експериментальної деталі, виготовленої з ПКМ, м.

Для прикладу виконаємо оцінку питомого навантаження для трибоспряження т. D (рис. 2.1).

Приймаємо такі значення розмірів деталі з ПКМ та величину навантаження, що діє на трибоспряження:  $d = 0,032$  м,  $l = 0,025$  м,  $R^{\max}_D = 1898$  Н. Підставивши вказані значення у формулу (2.4), маємо:

$$p = 2,37 \text{ МПа}$$

Відомо, що лінійна швидкість ковзання у трибоспряженні посівного комплексу типу Turbosem II становить 0,10...0,11 м/с [11]. Тому, для попередніх розрахунків приймаємо значення швидкості ковзання – 0,1 м/с. Виходячи з цього, значення фактору  $pv$  для рухомого з'єднання т. D (рис. 2.1) становить 0,23 МПа · м / с. В наступних розділах роботи необхідно провести дослідження властивостей ПКМ та обрати матеріал, що задовольняє вказані вимоги.

## **2.2 Визначення величини деформацій при установці підшипника ковзання з натягом**

Встановлення деяких підшипників ковзання, виготовлених з ПКМ, у трибоспряження механізму копіювання, потребує визначення величини деформації при їх установці з натягом. Забезпечення необхідного кінцевого зазору між внутрішньою поверхнею запресованого (зовнішнім діаметром) підшипника та віссю повертання (обертання) дозволяє підвищити довговічність та якість роботи механізму копіювання, і як результат призводить до підвищення рівномірності сівби.

Враховавши дані щодо термопластичних ПКМ наведені в [13, 14] для підшипникових вузлів можна визначити значення необхідної максимальної  $\Delta_{y_{\max}}$  та мінімальної  $\Delta_{y_{\min}}$  компенсації при встановленні підшипників ковзання

з натягом за формулами:

$$\Delta_{y \max} = \Delta_{H \max} \frac{2 \cdot (1 - \nu) \cdot k_0}{(1 - 2 \cdot \nu) + k_0^2} \quad (2.4)$$

$$\Delta_{y \min} = \Delta_{H \min} \frac{2 \cdot (1 - \nu) \cdot k_0}{(1 - 2 \cdot \nu) + k_0^2} \quad (2.5)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона, для термопластів  $\nu = 0,5$ .

$k_0$  – коефіцієнт, що характеризує співвідношення розмірів підшипника ковзання.

Коефіцієнт  $k_0$  характеризує співвідношення внутрішнього та зовнішнього діаметрів підшипника ковзання, і розраховується за формулою:

$$k_0 = D_0 / D \quad (2.6)$$

де  $D_0$  – внутрішній діаметр підшипника;

$D$  – зовнішній діаметр підшипника.

Значення параметрів  $\Delta_{H \max}$  та  $\Delta_{H \min}$  визначаємо з врахуванням геометричних розмірів підшипників ковзання та характеристик матеріалу з яких вони виготовлені за формулами:

$$\Delta_{H \max} = D \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sigma_T}{E} \cdot (1 + \nu) \cdot [(1 - \nu) - (1 - 2 \cdot \nu) \ln k_0]; \quad (2.7)$$

$$\Delta_{H \min} = D \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_T}{E} (1 + \nu) \left[ (1 - \nu) \left[ \left( 1 + \frac{1 - 2 \cdot \nu}{2 - \nu} \cdot \ln \frac{1}{k_0} \right) \cdot \left( \frac{3}{1 - 2 \cdot \nu} \right) \right]^{-1} + \frac{1 - 2 \cdot \nu}{2 - \nu} \ln \frac{1}{k_0} \right]_{H \min}; \quad (2.8)$$

де  $\Delta_{H \max}$  – найбільший допустимий натяг;

$\Delta_{H \min}$  – найменший допустимий натяг;

$\sigma_T$  – границя текучості матеріалу;

$E$  – модуль пружності полімеру.

### Висновки до розділу

Представлено теоретичне обґрунтування реакцій, що виникають в трибоспряженнях паралелограмного механізму копіювання за максимально можливого режиму навантаження. Виконано розрахунок силової картини

посівної секції та визначено реакції опор в їх рухомих спряженнях. Визначено режими роботи трибоспряження, що дозволить в подальшому обрати полімерно-композитні матеріали, характеристики та властивості яких забезпечують працездатність за цих умов. Обґрунтовано величини максимальної та мінімальної деформації підшипника ковзання при установці його зовнішнього діаметру з натягом. Приведені дані бажано використовувати на етапі проектування нових конструкцій трибоспряжень машин і механізмів.

### 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Програма та завдання досліджень

На основі визначених навантажень, що діють на трибоспряження механізму копіювання необхідно підібрати ПКМ, які можуть забезпечити необхідні міцнісні характеристики. Для конструкційних пластиків найбільший вплив на їх довговічність має навантаження (тиск) та лінійна швидкість ковзання. Крім того, на інтенсивність зношування, мають вагомий вплив допуски та посадки деталей з ПКМ. Саме зміною геометричних розмірів та використанням конструкційних пластиків, що мають різні властивості можна забезпечити безперебійну роботу трибоспряжень. Використання самозмащувальних ПКМ у рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки дозволяє відмовитись від виконання їх ТО. Це призводить до підвищення темпу робіт та зменшення строків виконання комплексу польових робіт.

Програма робіт включала такі етапи:

- підготовка полімерно-композитних матеріалів;
- виготовлення зразків та деталей методом литтям під тиском та їх підготовка до досліджень;
- дослідження фізико-механічних характеристик зразків з полімерно-композитного матеріалу;
- дослідження величини зносу експериментальних деталей з полімерно-композитних матеріалів;
- обробка результатів та формування висновків.

Завданням досліджень є перевірка фізико-механічних та триботехнічних характеристик і властивостей ПКМ, обґрунтування їх параметрів та надання рекомендацій щодо їх використання.

### 3.2 Виготовлення зразків та деталей для експериментальних досліджень

В якості матеріалу для досліджень характеристик та властивостей обрано ПКМ УПА-6-30. Вказаний матеріал відноситься до поліамідної групи, яка є однією із найбільш розповсюдженими для елементів та деталей сільськогосподарської техніки. Вихідний матеріал мав вигляд гранул діаметром 2...3 мм та довжиною 4...5 мм, зовнішній вигляд яких представлено на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд ПКМ УПА-6-30

ПКМ на основі поліамідів здатні накопичувати вологу з повітря [10, 11], тому перед литтям з вихідного матеріалу видаляли вологу шляхом нагрівання до температури 80...90 °С та витримки протягом 3 годин при вказаній температурі у спеціальній термошафі СНОЛ 67/350 (рис. 3.2).

Наявність вологи у вихідному матеріалі призводить до погіршення якості одержаних деталей з ПКМ, що обумовлено утворенням значної кількості порожнин. Порожнини в деталях виникають за рахунок випаровування вологи, яка не встигає швидко вийти з розплаву ПКМ. Як відомо, при випаровуванні вода значно збільшується в об'ємі, за рахунок чого й виникають порожнини (раковини). В свою чергу порожнини призводять до утворення неоднорідної структури в деталях, що може призвести до їх руйнування.



Рисунок 3.2 – Термошафа СНОЛ 67/350

Виготовлення зразків і деталей для проведення експериментальних досліджень виконували методом лиття під тиском на машині ПЛ-32 (рис. 3.3).

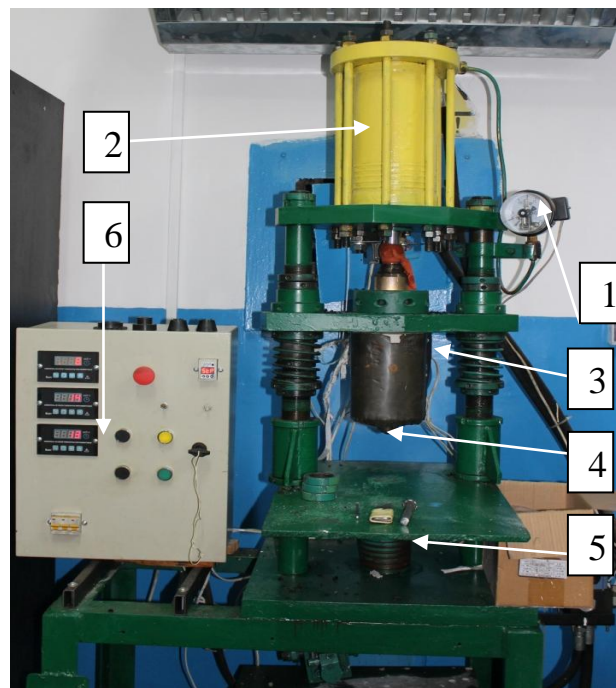


Рисунок 3.3 – Машина ПЛ-32:

1 – манометр; 2 – гідроциліндр; 3 – нагрівальна камера; 4 – сопло; 5 – робоча платформа; 6 – пульт керування

Технологія виготовлення експериментальних деталей полягала в наступному [10, 11]. Вихідний матеріал засипали в нагрівальну камеру 4, що мала температуру розплаву матеріалу. Температуру в нагрівальній камері контролювали за допомогою термопари. Контроль тиску лиття здійснювали за допомогою манометра 1, який встановлено в гідроциліндрі 2. Управління виконували з шафи керування 6. Задана температура підтримувалася в межах  $\pm 5^\circ \text{C}$ . Відливання розплаву матеріалу у прес-форму, що розміщується на платформі 5 здійснювали через яблуко 4, у якого є отвір діаметром 4 мм. Зразки мали однорідну структуру циліндричної форми висотою 15 мм і діаметром 10 мм. Зразки для досліджень величини зносу мали такі розміри: зовнішній діаметр – 32 мм, внутрішній діаметр – 25 мм, висота – 25 мм.

Зразки для дослідження характеристик, властивостей та величини зносу мали вигляд наведений на рис. 3.4.



А



Б

Рисунок 3.4 – Зразки для експериментальних дослідження:

А) міцнісних та триботехнічних характеристик та властивостей;

Б) величини зносу (з внутрішньою вставкою)



### 3.3 Методика дослідження фізико-механічних характеристик експериментальних зразків

Дослідження міцнісних властивостей виконували на випробувальній машині FP-100 (рис. 3.5), згідно ГОСТ 4651-82.

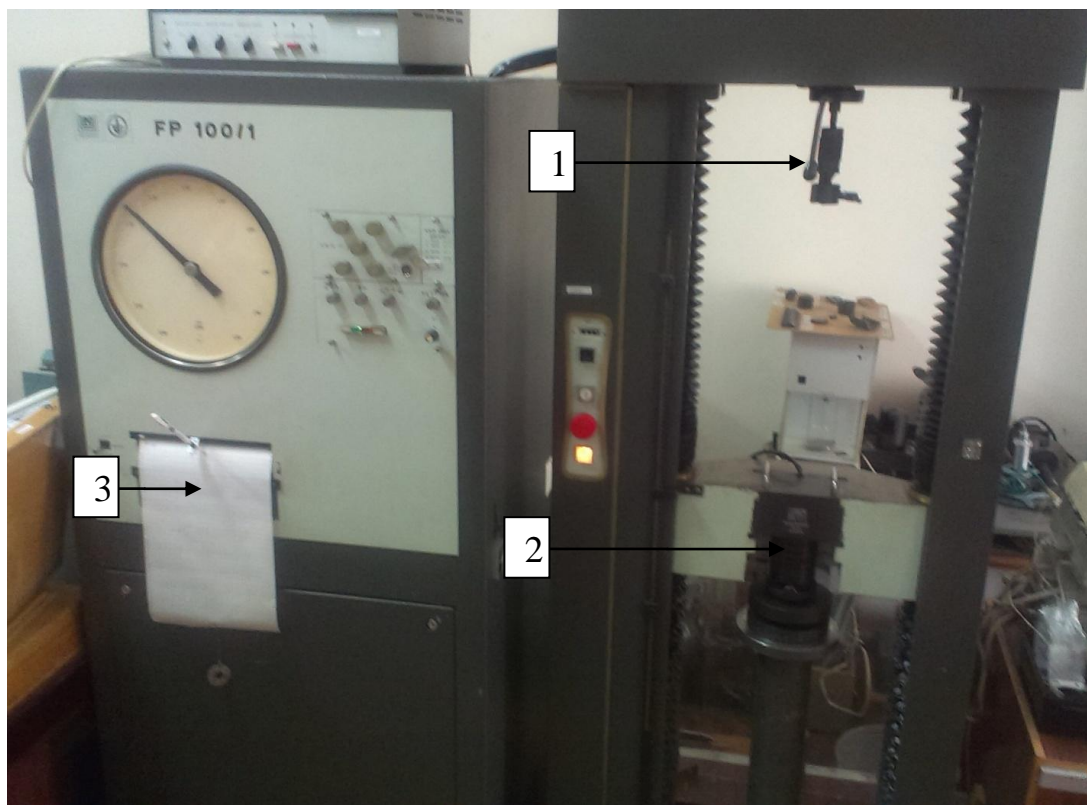


Рисунок 3.5 – Випробувальна машина FP-100

1 – пристосування для випробування на розтяг; 2 – пристосування для випробування на стискання; 3 – бланк реєстрації результатів.

Для дослідження границі міцності при стисканні використовували зразки діаметром 10 і висотою 15 мм і застосовували відповідне приладдя 2. При цьому опорні площини зразків повинні бути паралельні в межах 0,1% у напрямку, перпендикулярному прикладанні навантаження.

Границю текучості при стисканні ( $\sigma_p$ ) розраховували за формулою [10, 15]:

$$\sigma = P / F, \quad (3.1)$$

де  $P$  – навантаження, МПа

$F$  – мінімальна площа поперечного перерізу зразка,  $\text{мм}^2$ ;

$$F = \pi d^2 / 4, \quad (3.2)$$

де  $d$  – діаметр зразка,  $\text{мм}$ .

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

$$\varepsilon = \Delta h_{p.c.} \cdot 100 / h_0, \quad (3.3)$$

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

$h_0$  – початкова висота зразка,  $\text{мм}$ .

Ударну в'язкість визначали на маятниковому копрі КМ-0,4 (рис. 2.6) за методом Шарпі згідно ГОСТ 4647-80 при температурі  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  і відносній вологості повітря  $50 \pm 5\%$  [10, 11].

Суть методу полягала у випробуванні, при якому зразок, лежачи на двох опорах, відстань між якими 40  $\text{мм}$ , руйнується при ударі маятника, причому лінія удару знаходиться посередині між опорами.

Перед випробуванням зразки кондиціонують в стандартній атмосфері по ГОСТ 12423, якщо в нормативно-технічній документації на матеріал немає інших вказівок.

Перед випробуванням вимірюють ширину і товщину зразка по середині приладом з похибкою вимірювання не більше 0,02  $\text{мм}$ .

При випробуванні зразків, виготовлених литтям під тиском, допускається вимірювати розміри одного зразка з тих, що підлягають випробуванню. При відповідності розмірів зразків розмірами, наведеними в табл.1 ГОСТ 4647-80, за результат приймають номінальні значення їх ширини і товщини.

У зразків з надрізом вимірюють товщину в місці надрізу, використовуючи мікрометри з наконечником профілю, відповідного профілю надрізу у кожного зразка. Для контролю якості надрізу вимірюють товщину зразка на обох кінцях надрізу і обчислюють середнє арифметичне.

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

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

де  $A_n$  – 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.

### **3.4 Методики визначення триботехнічних властивостей матеріалу та величини зносу експериментальних деталей**

Дослідження зносу в залежності від величини зазору в спряженнях та властивостей експериментальних зразків ПКМ здійснювали на основі розроблених та стандартних методик. Триботехнічні властивості експериментальних зразків з ПКМ при терті без мащення визначались на машині для тертя та зношування СМЦ-2 (рис. 3.6) за методикою [10]. Випробування виконували за схемою «Диск – колодка». Радіус зразка становив  $R = 0,025$  м.



Рисунок 3.6 – Машина для дослідження тертя та зношування СМЦ-2

Перед початком кожного з випробувань обов'язково виконували притирання експериментального зразку до контр-тіла. Це необхідно для створення сферичної поверхні експериментального зразка, тобто вона повинна

прилягати до робочої поверхні диска всією своєю площею (площа контакту повинна становити не менше 85 %).

Коефіцієнт тертя визначали за формулою:

$$f = \frac{M_{кр}}{N \cdot \Delta}, \quad (3.5)$$

де  $M_{кр}$  – крутний момент, що виникає на окружності диска, Н·м;

$N$  – навантаження на зразок, Н;

$\Delta$  – крок паперу, м. Для всіх дослідів однаковий,  $\Delta = 0,0025$  м.

Для визначення залежності зносу від величини зазору в трибоспряженні ПКМ зі сталлю використовували спеціально виготовлені деталі-калібри зі сталі (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Кільце-калібр для дослідження зносу деталей з композитних матеріалів

Зазор в трибоспряженні змінювали шляхом зміни геометричних розмірів (механічної обробки) експериментальних деталей виготовлених з ПКМ.

Розмір кільця-калібрів після виготовлення складав 32,010...32,028 мм. Матеріал з яких виготовлені кільця-калібри – Ст. 45 ГОСТ 2590-88 оброблений до твердості 45...50 HRC.

Температуру в зоні тертя визначали за допомогою електронної термопари.

Відповідно приведених вище методики та програми виконані дослідження триботехнічних характеристик, фізико-механічних властивостей, а також дослідження поверхонь тертя отриманих матеріалів.

Результати досліджень наведені у наступному розділі дипломної роботи.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Результати дослідження фізико-механічних характеристик експериментальних зразків

Характеристики та властивості ПКМ УПА-6-30 широко досліджені багатьма вченими. Проте, при використанні різних партій матеріалу необхідно проводити перевірку відповідності заявлених показників в технічній документації. Тому, в роботі першочерговим завданням було виконати перевірку відповідності характеристик ПКМ (вказаних в технічній документації), який в подальшому буде використаний для виготовлення експериментальних деталей.

Результати дослідження границі текучості та модулю пружності наведено на рис. 4.1.

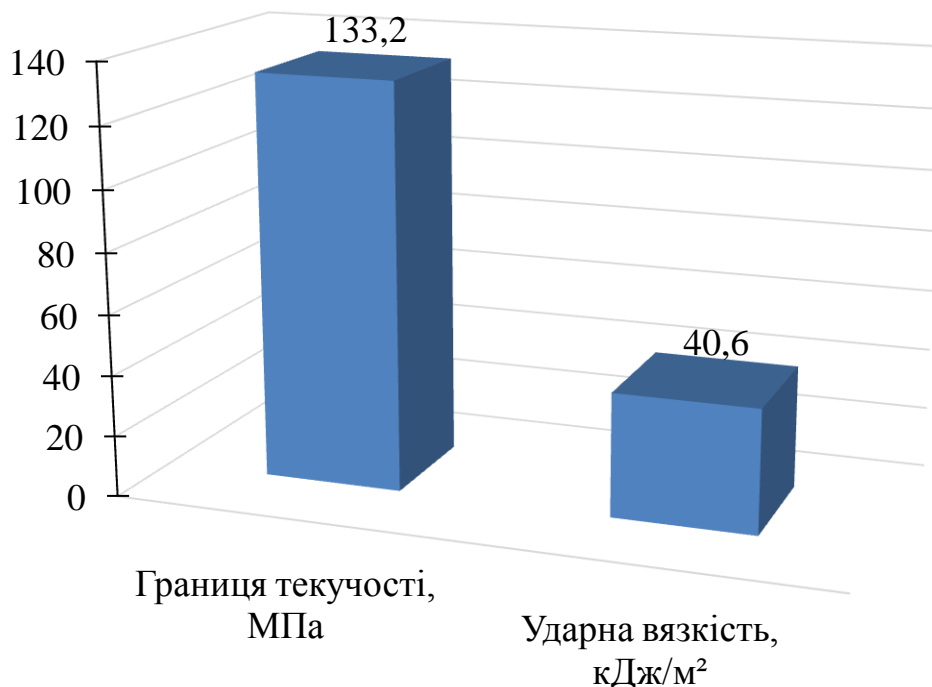


Рисунок 4.1 – Фізико-механічні характеристики ПКМ УПА-6-30

Одержані результати щодо визначення фізико-механічних характеристик ПКМ обраного для використання в якості конструкційного матеріалу в трибоспряженнях підтвердили відповідність цих показників технічній документації. Тому, можна стверджувати, що з обраної партії матеріалу доцільно виготовляти експериментальні деталі для подальшого дослідження величини зносу в залежності від режимів експлуатації.

Відомо, що для ПКМ УПА-6-30 допустиме значення фактору  $pv$  становить до 3 МПа · м / с. Одержані результати в другому розділі дипломної роботи дозволили визначити навантаження в трибоспряженнях, що в сукупності з даними щодо швидкості ковзання дозволили визначити режим їх роботи – 0,23 МПа · м / с. Таким чином, можемо констатувати, що обраний матеріал задовольняє міцнісні та триботехнічні умови роботи рухомих з'єднань.

#### **4.2 Дослідження триботехнічних характеристик матеріалу та величини зносу експериментальних деталей**

На довговічність трибоспряжень значно впливає величина зазору, після їх складання. Як збільшення величини зазору, так і його зменшення призводить до підвищення інтенсивності зношування, і як результат до зменшення ресурсу шарнірних з'єднань.

Величина навантаження має вагомий вплив на інтенсивність зношування для деталей виготовлених з ПКМ. Так як, навантаження в трибоспряженні залежить від режиму експлуатації (реакції ґрунту для механізму копіювання), і постійно змінюється пропонуємо прийняти декілька значень навантаження. Швидкість ковзання також відома і становить 0,1 м/с. При цьому, для оптимізації параметрів рухомих спряжень пропонуємо в дослідженні змінювати величину зазору трибоспряження.

Виходячи з вказаного приймаємо значення параметрів при проведенні досліджень величини зносу експериментальної деталі виготовленої з ПКМ УПА-6-30(40) наведені в таблиці 4.1.

Значення навантаження та зазору в спряженні прийнято в діапазоні від 200...350 Н та 200...350 мкм відповідно (табл. 4.1). Крок зміни показників – 50 одиниць, як для величини навантаження, так і для величини зазору в рухомому спряженні.

Таблиця 4.1 – Значення параметрів при дослідженні величини зносу та одержані результати

№ з/п	Значення параметрів		$I_T, \times 10^{-3} \Gamma$
	N, Н	S, мкм	
1	200	200	12,49
2	200	250	8,67
3	200	300	6,83
4	200	350	7,42
5	250	200	15,04
6	250	250	10,09
7	250	300	7,34
8	250	350	8,25
9	300	200	22,92
10	300	250	16,84
11	300	300	12,75
12	300	350	10,64
13	350	200	36,13
14	350	250	28,93
15	350	300	23,71
16	350	350	20,48

Для кращого сприйняття та аналізу одержаних експериментальних даних результати досліджень представлено у вигляді залежності величини вагового зносу від величини зазору при сталому значенні зазору в спряженні (рис. 4.2). Спираючись на отримані результати (табл. 4.1, рис. 4.2), можна стверджувати, що збільшення навантаження більше 250 Н призводить до різкого підвищення величини зносу.



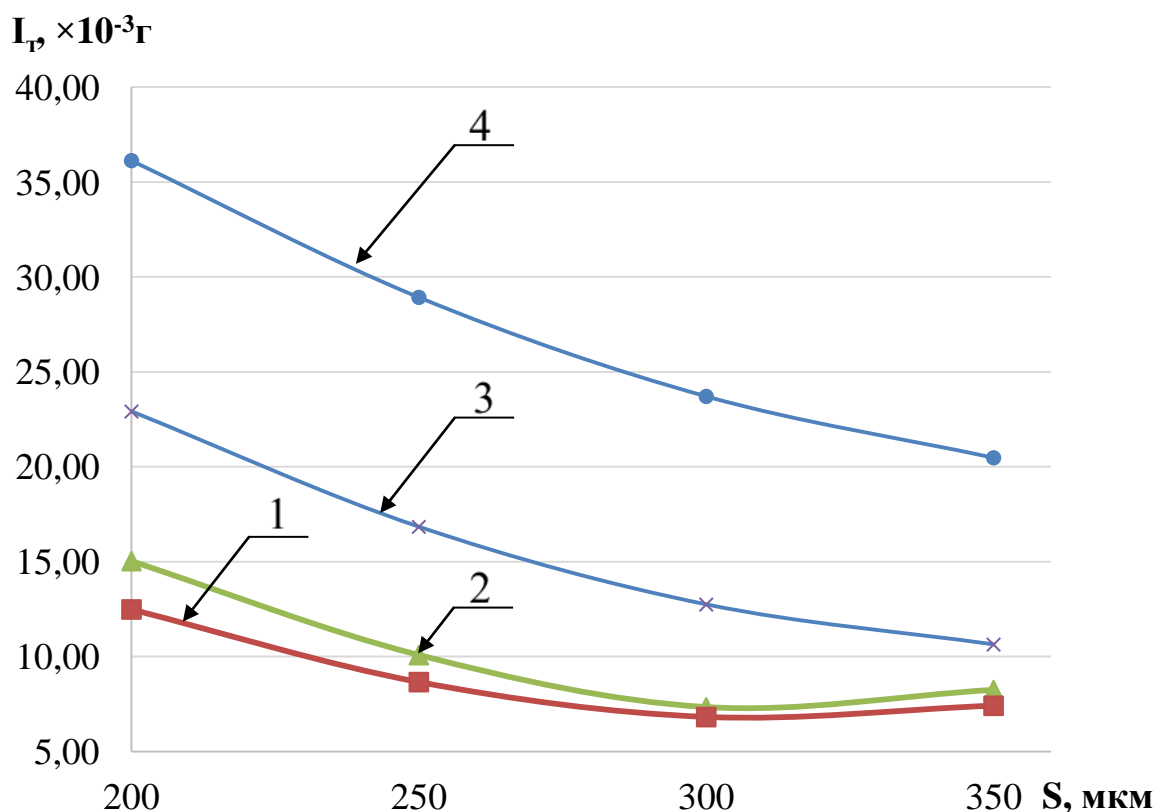


Рисунок 4.2 – Залежність величини вагового зносу від зазору в трибоспряженні за навантаження: 1 – 200 Н; 2 – 250 Н; 3 – 300 Н; 4 – 350 Н.

Для зменшення величини зносу та підвищення ресурсу роботи трибоспряжень необхідно щоб величина зазору в рухомих з'єднаннях, елементи яких виготовлені з ПКМ, не перевищувала 300...350 мкм. У такому випадку режим експлуатації буде раціональним. При збільшенні навантаження вище 250 Н відбувається нагрівання експериментальних деталей, що призводить до збільшення геометричних розмірів, що одночасно зі зменшеною величиною зазору сприяє підвищеному зносу. Тому, у випадку збільшення навантаження вище 250 Н необхідно обов'язково враховувати температурну компенсацію розмірів деталей з ПКМ.

Таким чином, можна рекомендувати наступні режими експлуатації трибоспряжень, рухомі з'єднання яких виготовлені з ПКМ: величина зазору – 300...350 мкм.

**Висновки до розділу.** Проведені дослідження дозволяють надати рекомендації виробникам щодо доцільності застосування полімерно-композитних матеріалів у трибоспряженнях сільськогосподарської техніки. Встановлено, що вагомий вплив на величину зносу, і як результат, на ресурс трибосряжень з ПКМ має величина навантаження. Оптимальний зазор в рухомих спряженнях при незначному навантаженні (до 250 Н) становить 300...350 мкм. У випадку збільшення навантаження більше вказаної величини спостерігається різке збільшення величини зносу в 2...3 рази незалежно від величини зазору. У випадку експлуатації рухомих спряжень за значного навантаження існує необхідність у врахуванні температурної компенсації геометричних розмірів деталей виготовлених з полімерно-композитного матеріалу УПА-6-30.

## **5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Основні поняття охорони праці**

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [16].

Процеси виготовлення експериментальних зразків та проведення досліджень властивостей ПКМ мають ряд шкідливих та небезпечних виробничих факторів, і тому потребують дотримання правил безпеки праці при роботі з полімерними композитними матеріалами [17]. «Об'єкт підвищеної небезпеки – це об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру» [18].

### **5.2 Вимоги безпеки праці при виконанні робіт з полімерно-композитними матеріалами**

До роботи з полімерно-композитними матеріалами допускаються особи, які пройшли медичний огляд, навчання та інструктаж з охорони праці [19-20]. На робочих місцях, де застосовуються полімерні матеріали повинні бути вивішені плакати та попереджувальні написи з безпеки праці.

Всі виробничі процеси, які пов'язані із використанням ПКМ та компонентів для їх одержання чи модифікування повинні проводитися в окремих ізольованих приміщеннях. Таке приміщення обов'язково повинно бути обладнане механічною витяжною вентиляцією. Стіни виробничих приміщень

де проводяться роботи з полімерними матеріалами повинні бути оштукатурені та облицьовані плиткою на висоту 2 м від підлоги.

Робочі місця операторів (працівників), які проводять роботи з полімерно-композитними матеріалами повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією з місцевим відсмоктуванням для видалення шкідливих парів і газів із зони їх утворення [17, 20]. Повітря, що потрапляє в робочу зону спочатку повинно спочатку поступати до працівника, а вже потім до робочого місця і далі у витяжну систему. Рециркуляція повітря в приміщення суворо забороняється. Гранично допустима концентрація парів, матеріалів, які застосовуються, в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати чинних санітарних норм.

Зберігання синтетичних смол та інших полімерних матеріалів повинно бути організовано у відповідності з вимогами до кожного з них окремо.

Зберігати полімерні матеріали у виробничих приміщеннях дозволяється у кількості необхідній для роботи протягом зміни та в щільно закритій тарі під витяжним зонтом [17, 20].

Забороняється працювати на гідравлічних пресах та машинах для лиття із ненадійно закріпленими стаціонарними прес-формами та без рукавиць. Сопло машини для лиття повинно бути притертим до гнізда виливного каналу. Під час роботи машини для лиття запобіжний щиток повинен бути закритим.

Робочі процеси з розбирання та складання прес-форм повинно виконуватися на спеціальних верстаках або пристроях. Для цього повинен бути облаштований вільний робочий майданчик перед гідравлічним пресом, або машиною для лиття повинен бути не менше 4 м<sup>2</sup>. Прибирання робочих місць та приміщення повинно проводитися щоденно, видалення пилу проводити вологим способом.

Зберігання полімерно-композитних матеріалів, наповнювачів та розчинників до них повинно бути організовано окремо, у спеціальних ізольованих приміщеннях, обладнаних вентиляцією. Забороняється зберігати полімерно-композитні матеріали поблизу опалювальних приладів, сушильних

камер та електродвигунів. Електроосвітлення та електроустановки виробничих приміщень повинні бути у вибухобезпечному виконанні.

### **5.3 Вимоги до засобів індивідуального захисту при роботі з полімерними матеріалами**

Роботодавець повинен забезпечити своїх працівників відповідно до [21] спецодягом, взуттям та додатковими пристосуваннями для захисту працюючого від шкідливих та небезпечних факторів, які присутні при виконанні робіт. В залежності від особливостей умов праці необхідно відповідно обрати і засоби індивідуального захисту.

Спецодяг та спецвзуття повинні відповідати затвердженим стандартам і за своїми захисними і гігієнічними властивостями відповідати специфіці даного виробництва. Прання та заміна комплектів спецодягу повинна проводитися щотижня, а в разі інтенсивного забруднення і поломки ЗІЗ негайно. Для цього в цехах повинні бути запасні комплекти спецодягу.

Працюючі в контакті з полімерними матеріалами для захисту рук повинні забезпечуватися гумовими, технічними, пластиковими на текстильній основі рукавичками; працюють на гарячих пресах – суконні, бавовняними подвійними або ватяними рукавицями і вовняними нарукавниками, в разі неможливості, за характером технологічного процесу, використання рукавичок для захисту шкіри рук рекомендується застосовувати захисні мазі і пасти, казеїнова паста ("біологічні рукавички"), паста захисна фурацилінова, крем плівкоутворювальний, силіконовий крем для рук і ін.

Засобами індивідуального захисту органів дихання слід користуватися у випадках перевищення ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони і в аварійній ситуації [18].

При проведенні робіт, пов'язаних з інтенсивним газовиділенням, робітники повинні бути забезпечені протигазами марки "А" (для захисту від парів органічних рідин); марки "БКФ" (Універсальний), марки "В" (від парів

кислот), шланговим протигазом або дихальним апаратом з примусовою подачею повітря (для роботи всередині апаратів або при вмісті кисню в повітрі не менше 18%). Прибирання розлитої кислоти повинна проводитися в протигазі марки "В", в гумових чоботях, рукавичках і фартуху.

Захист очей працюючих з ПКМ повинна здійснюватися в залежності від характеру шкідливого фактору і особливостей технологічних операцій. Для захисту від пилу і дрібних твердих частинок при механічній обробці можна користуватися окулярами відкритого типу 02-76, 02-У76, 03-76 або закритими ЗП1-80, ЗН4-72, ЗН8-72, ЗП2-80, ЗП3-80, для захисту від парів і брызок агресивних рідин – герметичними захисними окулярами.

Для захисту органів слуху, у випадках перевищення рівня шуму, рекомендується застосовувати проти шумні вкладиші (ТУ 6-16-2402-80), "беруші" одноразового користування, заглушки проти шумні ВЦННІОТ-2, ВЦННІОТ-4 і ін.

#### **5.4 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні робіт з ПКМ**

Шкідливий виробничий фактор – чинник трудового процесу та виробничого середовища, вплив якого на організм людини за умови недотримання гігієнічних нормативів може стати причиною зниження працездатності та погіршення здоров'я аж до появи професійного захворювання [18]. «Небезпечний виробничий фактор – чинник трудового процесу та виробничого середовища, вплив якого на організм людини в певних умовах може призвести до травми або іншого раптового погіршення здоров'я» [18].

При роботі з полімерно-композитними матеріалами на працівника можуть діяти такі шкідливі та небезпечні фактори [20]:

1. Присутність у повітрі робочої зони шкідливих для здоров'я людини летких органічних і неорганічних речовин, що утворюються в процесі переробки полімерно-композитних матеріалів (формальдегід, оксид етилену,

пари хлорвмісних речовин). При вдиханні вказаних речовин працівник може одержати подразнення слизових оболонок носа, рота та інших частин системи дихання, що може призвести до появи кашлю чи виникнення проблем з дихання (задишки) та ін. Довготривала дію вказаних речовин може призвести до виникнення запалення легень чи бронхів.

2. Теплові випромінювання окремих нагрівальних частин машин та обладнання при переробці полімерно-полімерних композитів. Відповідно до вимог [22] температура поверхонь устаткування, з яким контактує працівник під час виконання роботи, не повинна перевищувати +45 °С.

3. Вібрація при роботі устаткування (ливарна машина ПЛ-32), за джерелом виникнення, відноситься до категорії 3 – технологічна вібрація, яка діє на людину на робочих місцях стаціонарних машин чи передається на робочі місця, які не мають джерел вібрації [22]. Довготривала дія вібрацій на людину може призвести до порушення роботи нервової та опорно-рухової систем організму та спровокувати нервово-судинні розлади, ураження кістково-суглобної та інших систем організму, порушення функції шлунково-кишкового тракту.

4. Шум, що виникає при роботі устаткування. Довготривала дія на слуховий апарат людини може призвести до зниження гостроти слуху або інколи навіть його втрати.

Серед можливих об'єктів підвищеної небезпеки слід виділити такий перелік:

- машини та обладнання для підготовки та переробки вихідного матеріалу у готові вироби (експериментальні зразки та деталі) – термошафи та машини для лиття;
- машини та обладнання для проведення експериментальних досліджень зразків та деталей;

## **5.5 Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників від шкідливих та небезпечних факторів**

Основними організаційними заходами є своєчасне проведення інструктажів, навчань та перевірки знань з охорони праці.

За характером і часом проведення розрізняють такі види інструктажів: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі.

При виконанні робіт у лабораторії для здобувача передбачено проведення таких видів інструктажів:

- вступний (загальні питання, що розглядають перед початком виконання робіт в лабораторії);
- первинний (у випадку виконання нових видів роботи);
- повторний (у випадку тривалого виконання робіт лабораторії більше 6 місяців);
- позаплановий (проводять після літніх канікул, у випадку перерви між роботою більше за 60 днів).

Захист очей при роботі з ПКМ повинен здійснюватися в залежності від характеру шкідливого фактору і особливостей технологічних операцій. Для захисту від пилу і дрібних твердих частинок при механічній обробці можна користуватися окулярами відкритого типу 02-76, 02-У76, 03-76 або закритими ЗП1-80, ЗН4-72, ЗН8-72, ЗП2-80, ЗПЗ-80, для захисту від парів і бризок агресивних рідин – герметичними захисними окулярами.

Для захисту органів слуху, у випадках перевищення рівня шуму, необхідно застосовувати проти шумні вкладиші (ТУ 6-16-2402-80), "беруші" одноразового користування, заглушки проти шумні ВЦННІОТ-2, ВЦННІОТ-4 і ін.



## **5.6 Вимоги безпеки праці при роботі з обладнанням та машинами для проведення досліджень**

### *Загальні положення*

До роботи з обладнанням та устаткуванням допускаються особи, що пройшли відповідний медичний огляд і віком не молодше 18 років [17, 19-20].

Працівник (студент) має пройти відповідний інструктаж та добре володіти теоретичними і практичними навичками роботи з машинами.

До роботи з електрифікованим інструментом і обладнанням допускаються особи, які пройшли відповідне навчання і інструктаж, а також мають першу кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Під час роботи виконавець повинен мати індивідуальні засоби захисту: костюм, печатки, взуття, засоби захисту органів дихання, зору і слуху та користуватися вентиляцією.

### **Вимоги безпеки перед початком роботи**

Для зниження рівня впливу шкідливих речовин необхідно застосовувати наступні засоби індивідуального захисту:

- для захисту органів зору використовувати захисні окуляри закритого типу ЗП2-84 і ЗП3-84, ЗП1-90, напівмаски, що прикривають обличчя і шию;
- використовувати додаткове захисне обладнання – щити.

### **Вимоги безпеки під час роботи**

При роботі на випробувальній машині СМЦ-2 згідно ГОСТ 4651-82 потрібно використовувати захисний щит при виконанні дослідів на тертя і знос з метою визначення процесів тертя і зносу, а також антифрикційних властивостей матеріалів (момент тертя, коефіцієнт тертя) при терті-ковзанні і терті-кочення, та для випробувань деталей складальних одиниць та виробів шляхом пошкодження чи руйнування.

Випробувальна машина складається з:

- каретки;

- механізму навантаження;
- бабки нижнього зразка;
- датчика індуктивності;
- редуктора;
- електрошафа;

Випробувальна установка приводиться в дію від електронного двигуна.

До небезпечних частин відносяться каретка, механізм навантаження, бабка нижнього зразка, редуктор і електрошафа.

### **Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

Основними причинами виникнення виробничих аварій при роботах із застосуванням пожежебезпечних і шкідливих речовин є:

- порушення вимог безпеки технологічних процесів;
- невідповідність вимогам безпеки виробничого устаткування, його розміщення, організації робочих місць;
- порушення вимог безпеки при збереженні, транспортуванні вихідних матеріалів, готової продукції і відходів виробництва;
- низька трудова дисципліна, недбалість і неуважність працівника в процесі виконання робіт;
- незастосування засобів захисту працюючих.

У разі виникнення аварійних ситуацій потрібно негайно вивести потерпілого з небезпечної зони та знеструмити випробувальну установку за допомогою щита живлення негайно повідомити керівника та негайно надати потерпілому першу долікарську допомогу.

Всі предмети, що є на місці де скоїлась подія не можна чіпати до приїзду комісії.

При виникненні пожежі негайно повідомити пожежну частину зателефонувавши за телефоном «101».

### **Вимоги безпеки після закінчення роботи**

Після закінчення випробувань потрібно виконати наступні дії:

- розвантажити машину;

- відключити живлення машини;
- очистити робочі поверхні від залишків та бруду;
- перевірити кріплення вузлів;
- повідомити керівника про закінчення роботи та виявлені несправності чи відхилення від норм;
- зняти спецодяг та помістити його в спеціальну шафу.

### **Вказівки з безпеки праці:**

1. Перед включенням лабораторної установки в мережу перевірити надійність заземлення.
2. Включення установки проводиться тільки лаборантом або викладачем, який проводить дослід.
3. При включеному електроприводі забороняється доторкатися до обертовим частинам лабораторної установки.
4. Забороняється працювати при знятих огороженнях, виробляти затяжку і викручування гайок кріплення зразків на ходу машини, спиратися ліктем на машину при її пуску і роботі.

### **5.7 Дії у разі виникнення надзвичайної ситуації (ураження електричним струмом)**

Першочерговим завданням у випадку ураження працівника електричним струмом є переконання у відсутності небезпеки для інших працівників [23]. У випадку коли є можливість безпечно ліквідувати джерело електричного струму, це необхідно виконати якомога швидше: відключити подачу електричного струму, прибрати дріт сухим дерев'яним предметом або за допомогою іншого засобу, який не проводить електричний струм.

Після цього можна провести огляд постраждалого та визначити його стан. Також необхідно викликати служби екстреної допомоги. Якщо у постраждалого відсутнє дихання необхідно виконати дії для його відновлення – штучне дихання. Штучне дихання необхідно виконувати або до моменту

самостійного відновлення дихання постраждалим або до приїзду лікарів швидкої допомоги. У випадку коли постраждалий втратив свідомість, при цьому дихає самостійно, його необхідно покласти на бік. У випадку коли постраждалий дихає самостійно необхідно провести огляд на наявність зовнішніх електротравм. У разі їх виявлення необхідно надати домедичну допомогу за допомогою підручних засобів.

Для зниження температури в місці електротравми необхідно використовувати лід або холодну воду. У випадку коли людина в свідомості можна дати пігулку знеболювального засобу. Після прикладання охолоджувальних компресів на місце враження необхідно накласти стерильну пов'язку, бажано на просочену фурациліном. Забороняється змащування місця ураження жиром чи мазями на жировій основі.

## 6. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ

Ефективність впровадження нових робочих органів чи окремих елементів сільськогосподарських машин доцільно оцінювати за експлуатаційними показниками, порівнюючи базову машину, з модернізованою або вдосконаленою. Крім цього, деякі види модернізації окрім ефекту у вигляді зменшення експлуатаційних витрат направлені на підвищення якості виконання технологічних операцій при вирощування сільськогосподарських культур. Це в свою чергу може призводити до підвищення врожайності та мати додатковий економічний ефект від впровадження.

Серед експлуатаційних показників роботи основними можна назвати такі як: продуктивність МТА, витрата палива на одиницю роботи, затрати робочого часу та питомі експлуатаційні витрати. У випадку зміни балансової вартості машини необхідно додатково враховувати ефективність капіталовкладень та питомих експлуатаційних визначаючи приведені витрати на роботу МТА.

Основний напрям підвищення продуктивності МТА є збільшення ширини захвату. При цьому такий шлях потребує використання більш потужних тракторів, які для реалізації потужності двигуна повинні мати відповідну масу. Це призводить до збільшення ущільнення ґрунту та зменшення врожайності. Запропонована в дипломній роботі конструкція трибоспряжень посівних машин дозволяє збільшити темп робіт. В кінцевому результаті, це дозволяє підвищити річний наробіток техніки. Крім цього запропоновані заходи дозволяють отримати одновікові сходи, що сприяє підвищенню врожайності. Тому, крім технічного ефекту, обґрунтування параметрів трибоспряжень дозволяє отримати й агрономічний ефект, і як результат, одержати додатковий економічний ефект.

Обґрунтування режимів експлуатації та допусків розмірів експериментальних деталей дозволяє збільшити їх ресурс, навіть в умовах режиму тертя без змащення. В результаті чого додатково вивільняється час,

який при експлуатації базової машини витрачається на проведення мащення трибоспряжень.

Розрахунок економічної ефективності виконаємо на основі порівняння експлуатаційних витрат при роботі МТА: базового та модернізованого. Обираємо для розрахунків такий склад агрегату: трактор John Deere 8270R + посівний комплекс Агро-Союз Turbosem II 19-48 (9,12 м).

Першочергові вихідні дані для визначення економічної ефективності наведено в таблиці 6.1. Вказані дані обрано з технічних характеристик техніки, що входить в МТА для виконання сівби.

Таблиця 6.1

## Вихідні дані проекту використання модернізованої машини

Показники	John Deere 8270R + Turbosem II 19-48	John Deere 8270R + Turbosem II 19-48M
1	2	3
Середній темп робіт, га/год, $W$	8,2	8,6
Витрата палива, кг /га	5,7	5,3
Тривалість зміни, год., $t$	7	7
Обсяг роботи (річний) га, $T_{\text{п}}$	2255	2365
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
Балансова ціна, грн.:		
- трактора	3100000	3100000
- с.-г. машини	1150000	1280000
Тарифна ставка тракториста за 1 год, грн.	70	70
Комплексна ціна 1 кг пального, грн.	$\text{Ц}_{\text{к}}^{\text{б}} = 35$	$\text{Ц}_{\text{к}}^{\text{п}} = 35$

Витрата палива на одиницю роботи (га) зменшено 0,4 л/га за рахунок зменшення тягового опору сівалки, що обумовлено ліквідацією люфтів у рухомих з'єднаннях посівних секцій. В результаті чого траєкторії руху секцій стають майже прямолінійні. Підвищення середнього темпу робіт пов'язано із зменшенням часу на виконання робіт із мащення трибоспрядень.

Розрахунок економічної ефективності від застосування полімерно-композитних матеріалів у трибоспрядення виконаємо за відомою методикою [25].

Виконаємо розрахунки щодо визначення експлуатаційних витрат МТА, базового та модернізованого, склад агрегату наведено в табл. 6.1.

Питомі експлуатаційні витрати МТА для сівби визначаємо за формулою:

$$C_{\text{ит}} = C_m + C_{\text{м}} + C_{\text{нмм}} + C_{\text{зн}}, \quad (5.1)$$

де,  $C_m$  – експлуатаційні витрати трактора на реновацію, капітальний і поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин, грн./га.

$C_{\text{м}}$  – експлуатаційні витрати сільськогосподарської машини на реновацію, поточний ремонт, технічне обслуговування та зберігання, грн./га.

$C_{\text{нмм}}$  – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн./га;

$C_{\text{зн}}$  – оплата праці персоналу, який обслуговує агрегат, грн./га.

Експлуатаційні затрати на трактор визначаємо за формулою:

$$C_m = \left[ \frac{B_m \cdot a_{\text{рм}} \cdot g_{\text{за}}}{100 \cdot G_{\text{н}}^{\text{рік}}} + \frac{(C_{\text{нрм}} + C_{\text{ном}} + C_{\text{зм}} + C_{\text{ицм}})}{1000} \right] \cdot K_i, \quad (5.2)$$

де –  $B_m$ ,  $a_{\text{рм}}$  – відповідно балансова вартість (грн.) та норма відрахувань на реновацію машини (%), норму амортизаційних відрахувань для трактора приймаємо – 11 %.

$C_{\text{км}}$ ,  $C_{\text{нрм}}$ ,  $C_{\text{ном}}$ ,  $C_{\text{зм}}$ ,  $C_{\text{ицм}}$  – відповідно питомі нормативні витрати на капітальний та поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання зчіпки, (грн). Приймаємо сумарні витрати у розмірі 3 % від загальної вартості трактора;

$G_{\text{н}}^{\text{рік}}$  – річне нормативне завантаження трактора, кг.

Підставивши вказані дані, маємо:

$$C_m^b = \left[ \frac{3100000 \cdot 11 \cdot 5,7}{100 \cdot 23000} + \frac{93000}{1000} \right] = 177,5 \text{ грн/га}$$

$$C_m^n = \left[ \frac{3100000 \cdot 11 \cdot 5,3}{100 \cdot 23000} + \frac{93000}{1000} \right] = 171,6 \text{ грн/га}$$

Питомі експлуатаційні витрати для сільськогосподарської машини (Агро-Союз Turbosem II 19-48) визначаємо за формулою:

$$C_m = \left[ \frac{B_m \cdot a_{pm}}{100 \cdot n_{zm}^m \cdot G_H^{pik}} + \frac{(C_{prm} + C_{tom} + C_{zm})}{G_H^{pik}} \right] \cdot K_i, \quad (5.3)$$

де,  $B_m$ ,  $a_{pm}$  – відповідно балансова вартість машини (грн.) та норма відрахувань на реновацію машини (%), норму амортизаційних відрахувань приймаємо – 11 %.

$C_{prm}$ ,  $C_{tom}$ ,  $C_{zm}$  – відповідно питомі нормативні витрати на поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання машини (грн). Для базової машини приймаємо – 8,5 %, для модернізованої – 6,5 %;

$n_{zm}^m$ ,  $G_H^{pik}$  – річне нормативне завантаження (нормо-змін) та річне завантаження агрегату (га).

При використанні базового посівного комплексу маємо:

$$C_m = \left[ \frac{1150000 \cdot 11}{100 \cdot 40 \cdot 2255} + \frac{97750}{2255} \right] \cdot 1 = 44,7 \text{ грн/га}$$

При використанні модернізованого комплексу:

$$C_m^n = \left[ \frac{1280000 \cdot 11}{100 \cdot 40 \cdot 2365} + \frac{97750}{2365} \right] \cdot 1 = 42,8 \text{ грн/га}$$

Вартість паливно-мастильних матеріалів визначаємо за формулою:

$$C_{nmm} = C_k \cdot g_{za} \cdot K_i \quad (5.4)$$

де  $C_k$  – комплексна ціна 1 кг палива;

$g_{za}$  – витрата палива, кг/га (для базового варіанту МТА – 5,7 кг/га, для модернізованого – 5,3 кг/га);

$K_i$  – коефіцієнт який враховує індексацію цін на паливо ( $K_i = 1$ ).



Відповідно вартість ПММ для двох варіантів становить:

$$C_{пмм}^{\sigma} = 35 \cdot 5,7 \cdot 1 = 199,5 \text{ грн./га}$$

$$C_{пмм}^n = 35 \cdot 5,3 \cdot 1 = 185,5 \text{ грн./га}$$

Оплату праці обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$C_{зн} = \frac{1,49(K_{нк} \cdot m_{мех} \cdot f_{мех}) \cdot 1,02 \cdot K_3}{W_{3М}}, \text{ грн./га} \quad (5.5)$$

де 1,49 і 1,02 – коефіцієнти, які беруть до уваги при нарахуванні оплати праці;

$K_{нк}$  – коефіцієнт, який передбачає класність механізаторів. Приймаємо коефіцієнт 1,2 для трактористів-машиністів першого класу;

$m_{мех}$  – кількість трактористів-машиністів;

$f_{мех}$  – оплата праці за змінну норму (тарифні ставки) виробітку відповідно трактористам машиніста, грн./зм.;

$W_{3М}$  – змінна продуктивність серійного посівного агрегату, дорівнює 57,4 га, модернізованого 60,2 га;

$K_3$  – коефіцієнт збільшення оплати праці за рахунок інфляції, приймаємо  $K_3 = 1$ .

Відповідно для базового та модернізованого агрегатів маємо:

$$C_{зн}^{\sigma} = \frac{1,49(1,2 \cdot 1 \cdot 450) \cdot 1,02 \cdot 1}{54,7} = 15,0 \text{ грн./га}$$

$$C_{зн}^n = \frac{1,49(1,2 \cdot 1 \cdot 450) \cdot 1,02 \cdot 1}{60,2} = 13,6 \text{ грн./га}$$

Визначаємо питомі експлуатаційні витрати за формулою (5.1).

Для базового складу МТА:

$$C_{нум}^{\sigma} = 177,5 + 44,7 + 199,5 + 15,0 = 436,7 \text{ грн./га}$$

Для модернізованого складу МТА:

$$C_{нум}^n = 171,6 + 42,8 + 185,5 + 13,6 = 413,5 \text{ грн./га}$$

Величину капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$K^{сер} = \frac{B_m \cdot a_{pm}}{100 \cdot G_H^{pik}} + \frac{B_m \cdot a_{pm}}{100 \cdot G_H^{pik}}, \quad \text{грн/га} \quad (5.5)$$

Величина капітальних вкладень при експлуатації базового посівного агрегату:

$$K^{\delta} = \frac{3100000 \cdot 11}{100 \cdot 23000} + \frac{1150000 \cdot 11}{100 \cdot 2255} = 70,9 \text{ грн/га}$$

Величина капітальних вкладень при експлуатації модернізованого (проектного) посівного агрегату:

$$K^n = \frac{3100000 \cdot 11}{100 \cdot 23000} + \frac{1280000 \cdot 11}{100 \cdot 2365} = 74,3 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати визначаємо за формулою:

$$\Pi_{\delta} = C_3 + E \cdot K, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

де  $E = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

При використанні серійної сівалки:

$$\Pi_{\delta}^{\delta} = 436,7 + 0,15 \cdot 70,9 = 447,3 \text{ грн./га}$$

При використанні проектного варіанту (модернізованої сівалки):

$$\Pi_{\delta}^n = 413,5 + 0,15 \cdot 74,3 = 424,6 \text{ грн./га}$$

Використання модернізованого посівного комплексу дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, у порівнянні з базовим.

Економічний ефект від реалізації запропонованих рішень становить:

$$E_{e,za} = \Pi_{\delta}^n - \Pi_{\delta}^{\delta} = 447,3 - 424,6 = 22,7 \text{ грн./га}$$

Річне завантаження модернізованого посівного комплексу становить 2365 га (приблизно 275 годин), тому річний економічний ефект становить:

$$E_e^{pik} = F \cdot (\Pi_{\delta}^n - \Pi_{\delta}^{\delta}) = 2365 \cdot (447,3 - 424,6) = 53685,5 \text{ грн}$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{ок} = K / \Pi \quad (5.7)$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{ок} = 130000 / 53685,5 = 2,4 \text{ року}$$

Додатковим економічним ефектом при використанні модернізованої машини є підвищення врожайності сільськогосподарських культур на 0,1...0,4 т/га. Для прикладу обрано мінімальний приріст врожайності пшениці озимої 0,1 т/га.

При цьому, враховуючи річне завантаження посівного комплексу та вартість зерна пшениці 3 класу – 9730 грн/т, додатковий економічний ефект становить:

$$E_{e, \text{додат}} = 0,1 \cdot 2365 \cdot 9730 = 2301145 \text{ грн}$$

Термін окупності капітальних вкладень з врахування збільшення врожайності становить:

$$T_{ок} = 230000 / 2360979,5 = 0,1 \text{ року}$$

Враховуючи, що задля одержання економічного ефекту необхідно витратити час від сівби восени до збирання влітку, приймаємо термін окупності – 1 рік.

Отримані показники заносимо до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

### Техніко-економічні показники роботи

Показник	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Склад агрегату	-	John Deere 8270R + Turbosem II 19- 48	John Deere 8270R + Turbosem II 19- 48M
Продуктивність агрегату	га/год	8,2	8,6
Балансова вартість:			
трактора	грн.	3100000	3100000
сівалки		1150000	1280000
Сумарні витрати на	грн./га	222,2	214,4

реновацію, ТО та ремонт			
Вартість ПММ	грн./га	199,5	185,5
Оплата праці	грн./га	15,0	13,6
Експлуатаційні витрати	грн./га	436,7	413,5
Приведені витрати	грн./га	447,3	424,6
Питомий економічний ефект	грн./га	-	22,7
Річний економічний ефект	грн.	-	53685,5
Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	-	2,4

### **Висновки**

Встановлено, що річний економічний ефект, від впровадження самозмащувальних трибоспрядень в конструкцію посівного комплексу Агро-Союз Turbosem II 19-48, при агрегуванні з трактором John Deere 8270R складає 53685,5 грн. Термін окупності капітальних вкладень становить 2,4 року. Додатковий економічний ефект від впровадження запропонованого рішення – збільшення врожайності за рахунок підвищення якості сівби. Враховуючи додатковий економічний ефект термін окупності капітальних вкладень буде становити один рік – до збирання сільськогосподарської культури.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що деталі трибоспряжень сільськогосподарських машин працюють в умовах підвищеної запиленості. Основною причиною низької надійності рухомих з'єднань є потрапляння в зону тертя абразивних частинок, що підвищують інтенсивність зношування. Встановлено, що існуючі конструкторські та технологічні методи підвищення довговічності не завжди дають бажаний ефект. Експлуатаційні ж методи потребують значних затрат ресурсів. Для вирішення вказаного завдання запропоновано використовувати самозмашувальні матеріали для конструкцій трибоспряжень.

2. Визначено навантаження, що виникають у трибоспряженнях посівної секції. Обґрунтовано режим роботи рухомих з'єднань. Наведено методику визначення установочних деформацій при установці експериментальних деталей з натягом.

3. Наведені програма та методики проведення експериментальних дослідження характеристик матеріалу та величини зносу деталей в залежності від параметрів трибоспряження.

4. Встановлено, що найбільший вплив на величину зносу, і як результат, на ресурс трибоспряжень з ПКМ має величина навантаження. Оптимальний зазор в рухомих спряженнях при незначному навантаженні (до 250 Н) становить 300...350 мкм. У випадку збільшення навантаження більше вказаної величини спостерігається різке збільшення величини зносу в 2...3 рази незалежно від величини зазору. У випадку експлуатації рухомих спряжень за значного навантаження існує необхідність у врахуванні температурної компенсації геометричних розмірів деталей, виготовлених з полімерно-композитного матеріалу УПА-6-30.

Отримані результати можуть бути корисними при проектуванні нових або удосконаленні існуючих конструкцій трибоспряжень сільськогосподарської техніки.

5. Розглянуто основні положення з безпеки праці при виконанні робіт в науково-дослідній лабораторії. Наведено перелік шкідливих та небезпечних факторів, що можуть діяти на працівника і заходи щодо зменшення їх впливу.

6. Встановлено, що річний економічний ефект, від впровадження самозмащувальних трибоспряжень в конструкцію посівного комплексу Агро-Союз Turbosem II 19-48, при агрегуванні з трактором John Deere 8270R складає 53685,5 грн. Термін окупності капітальних вкладень становить 2,4 року. Додатковий економічний ефект від впровадження запропонованого рішення – збільшення врожайності за рахунок підвищення якості сівби.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Энциклопедия по машиностроению XXL. <https://mash-xxl.info>
2. Крагельский, И.В. Трение, изнашивание и смазка: справ.: в 3 т. / И.В. Крагельский, В.В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 400с.
3. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Аулін Віктор Васильович; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2015. – 36с.
4. Черновол М.И. Технологические основы восстановления деталей сельскохозяйственной техники композиционными покрытиями: Дис... д-ра техн. наук. – Кировоград, 1992. – 502с.
5. Блезнюк В. М. Підвищення строку служби підшипників ковзання гичкозбиральних машин конструкторсько- технологічним методом / В. М. Блезнюк, В. Я. Гладченко, О. П. Лобанов. – С. 275-278.
6. Василенко І.Ф. Підвищення довговічності валів посівних машин композиційними покриттями. Автореферат дис.... канд. техн. наук.– Кіровоград: КДТУ, 2001.– 16с.
7. Подшипниковые узлы SKF для сельскохозяйственной техники – каталог товаров. [https://galp.com.ua/supload/cms/Products/special-solutions/002-AGRY/PDF/10249\\_RU\\_Agricultural\\_Y-bearings.pdf](https://galp.com.ua/supload/cms/Products/special-solutions/002-AGRY/PDF/10249_RU_Agricultural_Y-bearings.pdf)
8. Підшипники HARP AGRO – кращі рішення для аграрного сектору. <https://harp.ua/ua/brands/harp-agro>
9. Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я. Дослідження руйнування ненаводнених та наводнених сплавів в умовах тертя кочення. Проблеми тертя та зношування. наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 58. – С. 32–37. <https://www.researchgate.net/publication/331516536>
10. Деркач, О.Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Тернопіль, 2006. – 182с.

11. Макаренко Д. О. Підвищення довговічності паралелограмного механізму посівних комплексів зміною конструкції рухомих з'єднань: Дис.. канд. техн. наук: 05.05.11. – Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2018. – 185с.

12. Кабат О.С. Науково-технічні основи технології виготовлення термостійких полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення: Дис. докт. техн. наук: 05.17.06. – Дніпро, 2021. – 350с.

13. Босаков, С. В. Метод Ритца в контактних задачах теорії упругости: монографія / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ, 2006. 107 с.

14. Скородинський, І.С. Аналіз деформування кусково-однорідного тіла з в'язкопружним проміжним шаром за дії зсувного навантаження. Приклад. пробл. механіки і математики. 2008. Вип. 6. С. 175-182.

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. – 176с.

16. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.

17. НПАОП 25.0-1.02-13. Правила охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами

18. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 N 2245-III

19. Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0023-13>

20. Санітарні правила для виробництв синтетичних полімерних матеріалів і підприємств по їх переробці  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v4783400-88>

21. НПАОП 0.00-3.01-98 Типові норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам сільського та водного господарства.



22. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99.

23. Порядок надання домедичної допомоги постраждалим при ураженні електричним струмом та блискавкою Наказ Міністерства охорони здоров'я України 16.06.2014 № 398.

24. Методичні вказівки до написання розділу «Охорона праці» в дипломних магістрів факультету механізації сільського господарства. / Дніпропетровський державний аграрний університет, Дніпропетровськ, 2015. – 23с.

25. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П. та ін. Практикум з використання машин у рослинництві. Дн-ськ, ДДАУ. – 2002. – 212с.

26. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для студентів інженерно-технологічного факультету денної та заочної форм навчання за спеціальністю 208 «Агроінженерія» ступінь вищої освіти «Магістр» / Дудін В.Ю., Кобець О.М., Мельянцов П.Т. – Дніпро: ДДАЕУ, 2018. – 32с.

# ДОДАТКИ