

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ
ЗАСТОСУВАННЯМ НЕОБСЛУГОВУВАНИХ ШАРНІРНИХ
З'ЄДНАНЬ СІВАЛОК**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ₃-1-20 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____Кабат Олег Станіславович

Керівник: _____ Деркач Олексій Дмитрович

Рецензент: _____

Дніпро – 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ЕМТП _____

(назва кафедри)

доцент _____

(вчене звання)

_____ Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2021 р.

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

Кабату Олегу Станіславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Підвищення ефективності посівних агрегатів застосуванням необслуговуваних шарнірних з'єднань сівалок»

керівник роботи Деркач Олексій Дмитрович, доцент _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ДДАЕУ від

« _____ » ____ 2022 року № _____

2. **Строк подання студентом роботи** 01.02.2022 р. _____

3. **Вихідні дані до роботи.** Широкозахватні сівалки, полімерні композити

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Теоретична частина; 2. Експериментальна частина; 3. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях; 4. Економічне обґрунтування роботи; Загальні висновки; Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Титульний аркуш. 2. Тема, мета, завдання, актуальність. 3. Аналіз стану питання. 4, 5, 6. Дослідження та обробка результатів. 7. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 8. Економічне обґрунтування роботи. 9. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Деркач О.Д., зав. каф. ЕМТП		
2	Деркач О.Д., зав. каф. ЕМТП		
3	Деркач О.Д., зав. каф. ЕМТП		
4	Кравець В.В., доц. каф. ЕМТП		
5	Вініченко І.І, зав. каф. економіки		
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 10.06.2021 р.

.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретична частина	до 10.09.2021 р.	
2	Експериментальна частина	до 10.11.2021 р.	
3	Охорона праці	до 15.12.2020 р.	
4	Економічний	до 24.12.2021 р.	
5	Демонстраційна частина	до 01.02.2022 р.	

Студент
(підпис)

_____ Кабат О.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи
(підпис)

_____ Деркач О.Д.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота присвячена вирішенню таких питань, таких як підвищення ефективності широкозахватних посівних комплексів за рахунок модернізації шарнірних з'єднань сівалок. Розроблені полімерні композиційні матеріали трибологічного призначення і проведені дослідження їх властивостей з метою визначення оптимального вмісту наповнювача у полімерних матрицях.

Робота складається з пояснювальної записки формату А4, виконаної на 101 сторінках

Автор диплому має наукову публікацію за темою дипломної роботи: Oleh Kabat, Dmytro Makarenko, Oleksii Derkach, Yevhen Muranov / Determining the influence of the filler on the properties of structural thermal-resistant polymeric materials based on phenylone C1 // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2021, 5 (6 (113)), 24–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243100>

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА	8
ЧАСТИНА.....	
1.1 Конструкції сучасних посівних агрегатів.....	8
1.1.1 Сівалки типу СЗ.....	9
1.1.2 Сівалки типу УПС.....	15
1.1.3 Посівні широкозахватні комплекси.....	18
1.1.3.1 Посівний комплекс «HORSCH-АГРО-СОЮЗ».....	18
1.1.3.2 Посівний комплекс «KERNER».....	21
1.1.3.3 Посівний комплекс «LEMKEN».....	23
1.1.3.4 Посівний комплекс «JOHN DEERE».....	26
1.2 Методи підвищення надійності та довговічності їх основних вузлів.....	28
1.3 Полімерні композиційні матеріали для вузлів тертя посівних агрегатів.....	32
1.3.1 Обґрунтування вибору полімерних матриць.....	32
1.3.2 Обґрунтування вибору наповнювача для термостійких ПКМ триботехнічного призначення.....	39
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА	52
ЧАСТИНА.....	
2.1 Характеристики вихідних матеріалів.....	52
2.2 Технології переробки та обладнання для отримання ПКМ на основі прес-порошків фенілону С1 та фторопласту-4.....	55
2.3 Методи досліджень вихідних матеріалів та ПКМ на їх основі.....	55
2.4 Обробка результатів експериментів.....	56
2.5 Вплив складів та технології отримання ПКМ на показники тертя та зношування при фрикційній взаємодії із сталлю.....	57
2.6 Рекомендації щодо застосування виробів з термостійких.....	65

ПКМ у конструкційних та трибологічних вузлах машин і механізмів.....	
РОЗДІЛ 3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ КОМПОЗИТИВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОМИСЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	74
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	78
4.1 Загальні положення.....	78
4.2 Вимоги безпеки під час роботи.....	79
4.2.1 Робота із газами.....	79
4.2.2 Робота із застосуванням вакууму.....	81
4.2.3 Робота з ртуттю.....	82
4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт.....	83
4.4 Вимоги безпеки в аварійних та небезпечних ситуаціях.....	83
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	86
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
ДОДАТОК.....	98

ВСТУП

Сучасна Україна активно розвивається в галузі сільського господарства. У 2021 р. вона увійшла у топ 10 країн експортерів зернових культур у світі. Цьому сприяють як природні (родючість земель, погодні умови тощо), так і штучні (кваліфікація сільськогосподарських працівників, використання сучасних технологій вирощування тощо) фактори. Збільшення кількості сільськогосподарської продукції пов'язано із використанням сучасної продуктивної техніки при її вирощуванні. Тому все більше використання в Україні отримують широкозахватні посівні комплекси. Вони мають досить складну конструкцію і потребують якісного обслуговування, що у свою чергу викликає досить суттєві фінансові витрати на ці машини.

Тому актуальним завданням є зменшення витрат коштів на обслуговування широкозахватних посівних комплексів не погіршуючи при цьому якість їх обслуговування та роботи.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Конструкції сучасних посівних агрегатів

Сівба – це операція внесення насінневого матеріалу у спеціально підготовлений ґрунт. Причому цей термін використовується тільки до такого насінневого матеріалу, який висівається масово без перерахування на штуки відповідно до визначеної норми висіву. До таких насінневих матеріалів відносяться злакові, бобові та інші. У випадках, коли висадження матеріалів відбувається при підрахунках окремих насінневих матеріалів (наприклад бульба, суниця, дерева тощо) використовується інший термін “посадка”.

Внаслідок географічних та кліматичних особливостей в Україні досить суттєве розповсюдження отримали зернові культури (пшениця, жито, кукурудза тощо). Так, відповідно до статистичних даних Міністерства Аграрної політики України у 2021 р. зібрала більше 100 млн. тон злакових та олійних культур (84 млн. тон із загального об’єму складають зернові та зернобобові культури і 22,6 млн. тон - олійні). Це дозволяє нашій країні знаходитися на ведучих щаблях у світі і входити у десятку світових країн з найбільш розвиненим агропромисловим комплексом.

Для вирощування такої кількості зернових культур використовуються екстенсивні (орієнтовані на використання природньої родючості ґрунтів без використання добрив та інших хімічних речовин, чи з обмеженим їх використанням), нормальні (орієнтовані на використання добрив та хімічних речовин в тому мінімальному об’ємі, який дозволяє вирощувати сільгоспкультури) та інтенсивні (розраховані на використання добрив та хімічних речовин у досить великій кількості для досягнення високих врожаїв за короткий період часу) технології висіву. Для їх реалізації використовуються висівні машини різних конструкцій та принципів дії.

Основною задачею посівних машин є рівномірний розподіл насіння як по всій площі поля, так і по його глибині закладення. Причому ці

характеристики залежать від посівної культури. Відповідно до цього до посівних машин висуваються наступні агротехнічні вимоги:

- висівні апарати машин повинні забезпечувати необхідні норми висіву та мати широкі межі регулювання по глибині закладення насіння;

- висівні апарати машин повинні забезпечувати визначені відхилення від норми висіву окремих сільгоспкультур. Так для насіння допускається відхилення $\pm 3\%$, а для мінеральних добрив $\pm 10\%$.

- нерівномірність висіву висівних апаратів не повинна перевищувати 6% (для зернових культур), 10% (для зернобобових) та 10% (для трав);

- основні робочі органи посівних машин (сошники) повинні забезпечувати закладення насіння на визначену заздалегідь однакову глибину з відхиленням не більше $\pm 15\%$, що у абсолютних одиницях складає $\pm 0,5$ см для глибини закладення 3-4 см, $\pm 0,7$ см при 4-5 см і до ± 1 см при 6-7 см;

- основні елементи висівних машин, що контактують із насінням (висівні та розподільні пристрої) не повинні їх травмувати. Допускається травмування до $0,2\%$ зернових культур та $0,7$ зернобобових;

- основні робочі органи посівних машин повинні бути простими за конструкцією, не дорогими у обслуговуванні, безпечними для навколишнього середовища і людини в експлуатації та мати високий рівень надійності та довговічності;

Причому виконання всіх цих агротехнічних вимог залежить не тільки від конструкційних особливостей висівних машин, а і від умов їх роботи та експлуатації.

1.1.1 Сівалки типу СЗ.

До однієї з найбільш розповсюджених слід віднести сівалку типу СЗ (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Сівалка СЗ-3,6

Це універсальна насіннево-тукова сіялка, яка використовується для рядкового посіву насіння зернових (пшениця, жито, ячмінь тощо), круп'яних (просо, гречка, соя) та зернобобових (квасоля, горіх чечевиця тощо) та інших культур, які близькі до зернових по розмірах, нормах висіву та вимоги щодо одночасного потрапляння разом із насінням гранульованих мінеральних добрив. Сівалка СЗ-3,6 може працювати на швидкостях до 15 км/год на ґрунтах, які підготовлені до посіву. Сівалка СЗ-3,6 у одиничному варіанті може працювати з тракторами Т-40, МТЗ-80/82, та подібними за тяговими характеристиками. При використанні декількох секцій така сіялка агрегується із гідрофікованими зчіпками та тракторами ДТ-75, Т-150, К-700 та подібними за тяговими зусиллями.

Основні технічні характеристики сіялки СЗ-3,6 приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Технічні характеристики висівної машина СЗ-3,6 [1]

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення параметру
Ширина захвату	м	3,6
Кількість рядків	шт.	24
Ширина міжрядь	см	15
Норми висіву:	кг/га	
- для насіння		15-400
- для добрив		25-200
Глибина закладення насіння та добрив	мм	40-80
Робоча швидкість	км/год	9-12
Продуктивність	га/год	3,2-4,3
Ємність бункеру	дм ³	
- для насіння		453
- для добрив		212
Габаритні розміри (довжина×ширина×висота)	мм	4300×3700×1650
Вага	кг	1380±40
Агрегатується з тракторами потужністю	л.с.	до 85

Сівалки типу СЗУ-3,6 – є вузькорядними причіпними сіялками (рис. 1.2).

Вони використовуються для вузькорядного посіву насінневих та насіннево-бобових культур з одночасним внесенням у рядки мінеральних добрив. Цю сіялку можна агрегувати з тракторами типу МТЗ-80 та подібними за тяговою потужністю. Декілька висівних машин типу СЗУ-3,63 об'єднуються зчіпкою та агрегуються із тракторами типу Т-150К та подібними за потужністю.



Рис. 1.2. – Висівна машина СЗУ-3,6

Сівалки типу СЗА-3,6 – є насіннево-туковими начальникова причіпними сійлками (рис. 1.3).



Рис. 1.3 – Висівна машина СЗА-3,6

Ця посівна машина є модифікацією сіялки марки СЗ-3,6 і вона використовується для рядкового посіву насінневих та насіннево-бобових культур з одночасним внесенням гранульованих мінеральних добрив. Агрегується вона із тракторами подібними до сіялки СЗ-3,6 і може працювати, як одна, так і у зчіпці.

Сівалки типу СЗП є насіннево-туковими пресовими сівалками, які використовуються для рядного посіву зернових колосових культур (пшениця, жито, ячмінь тощо) та близьких до них по розмірам та за нормою висіву з одночасним внесенням мінеральних добрив та прикочування ґрунту у засіяних рядках. На рис. 1.4 показано загальний вигляд такої сівалки.



Рис. 1.4 – Висівна машина СЗП-3,6

Ця висівна машина відрізняється тим, що вона прикочує ґрунт у засіяних рядках для кращої взаємодії між насінням та ґрунтом. Це особливо актуально на вологих ґрунтах і робиться задля більш скорішого проростання насіння та створення сильної рослини впродовж короткого терміну часу. Слід також відмітити, що такі сіялки найбільш доцільно використовувати в

районах з великою кількістю вітрів, які призводять до швидкої ерозії ґрунтів і досить часто за рахунок цього відкривають насіння та можуть винести його з місця посадки.

Висівні машини типу СЗП в одному варіанті агрегуються із тракторами марок МТЗ-80/(82), ЮМЗ-6КЛ та подібними за тяговими характеристиками. Також вони можуть працювати у широкозахватному режимі (до 4 сіялок) і агрегуватися зчіпкою СП-16А з більш потужними тракторами К-700А, ХТЗ -150 та подібними за характеристиками.

Висівні машина типу СТС є комбінованими із змінними робочими органами насіннево-травяними сіялками, які використовуються для посіву насіння трави, та зернових культур по стерні у місцях з ґрунтозахисним сівобернтом при залуженні і покращенні луків та пасовищ (рис. 1.5).



Рис. 1.5 – Висівна машина СТС-2

Висівні пристрої даної сівалки забезпечують висів насіння злакових та бобових трав, а також дрібнозернових (просо) культур. Висівні машини типу СТС максимально зберігають стерню при садінні. Вони агрегуються із тракторами МТЗ-80 (82).

До основних переваг висівних машин типу СЗ слід віднести їх досить просту конструкцію, ремонтпридатність (навіть у польових умовах) та відносно невисоку собівартість.

До основних недоліків висівних машин типу СЗ слід віднести невисоку продуктивність, досить високі похибки в нормах висіву та травмування насіння та невисоку ефективність таких машин при використанні на полях з великою площею (сівалки типу СЗ у більшості випадків використовуються у невеликих господарствах з площами полів до 40 га для одиничного варіанту сіялки).

1.1.2 Сівалки типу УПС

Досить широке розповсюдження отримали також сівалки типу УПС. Вони є більш сучасним аналогом сіялок СУПН. Це універсальні сівалки, які використовуються для висіву пунктирними лініями каліброваного та некаліброваного насіння. На рисунку 1.6 показано загальний вигляд висівної машини УПС-8.

За допомогою сівалок типу УПС можна висаджувати широкий асортимент сільгоспкультур (соняшник, сорго, злакові, бобові тощо). Також такі висівні машини разом із насінням вносять у ґрунт мінеральні гранульовані добрива. Слід відмітити, що пневматична система сіялки УПС дозволяє витримувати необхідну відстань між посівним матеріалом, що сприяє кращому розвитку та рівномірності розвитку рослин. Сіялки УПС відрізняються тим, що основні її елементи (вали, насінневий та туковий привід) закріплені за допомогою рухомих з'єднань, що дозволяє ефективно повторювати рельєф поля. Для більш точного висаджування насіння на

дисках сіялки УПС розміщуються ворошилки та гребінчасті скидачі. Причому для бобових культур та інших, які мають досить важке насіння використовується вентилятор із додатковим повітря відводом.



Рисунок 1.6. – Висівна машина УПС-8

Основні технічні характеристик висівної машини УПС-8 приведені в таблиці 1.2.

До переваг висівних машин типу УПС слід віднести:

- можливість одночасного внесення насіння та дрібнодисперсних мінеральних добрив;
- прокатування рядку після висіву (дозволяє покращити взаємодію насіння з ґрунтом, що покращує розвиток рослин на їх початковому етапі росту);

- використання вакуумного апарату для висіву насіння не дозволяє їх втрачати за рахунок їх механічної взаємодії із основними елементами сіялка та іншого насіння, що призводить до їх передчасного пошкодження;

- відносна велика довговічність за рахунок використання у рухомих з'єднаннях підшипників кочення;

- можливість висіву по класичній технології на липких та вологих ґрунтах.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики сіялки УПС-8 [2]

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення параметру
Ширина захвату	м	5,6
Кількість рядків	шт.	8
Ширина міжрядь	мм	450-900
Продуктивність	га/год	2,0-5,0
Ємність бункеру	дм ³	
- для насіння		200
- для добрив		192
Норми висіву:		
- для насіння	шт/п.м.	2-43
- для добрив	кг/га	50-250
Вага	кг	1278

До недоліків висівних машин типу УПС слід віднести:

- невисока якість та рівномірність висіву за рахунок відсутності контролюючих елементів;

- невисока чутливість вакуумного механізму до калібровки насіння;

- досить складне обслуговування у ремонтний та міжремонтний період,

1.1.3 Посівні широкозахватні комплекси

На відміну від посівних машин типів СЗ та УПС посівні комплекси використовуються на непідготовлених чи частково підготовлених ґрунтах, що дозволяє їх використовувати при вирощуванні рослин за мінімальною чи нульовою технологією. За один прохід такі машини роблять зразу декілька операцій:

- основна та передпосівна обробка;
- підготовка ідеального місця під посадку насіння;
- висів насіння на глибину до 15 см;
- загортання полоси з насінням шаром із мульчі;
- боронування посівів;
- вичісування бур'янів
- прокатування рядків поля.

Причому такі посівні комплекси є широкозахватною технікою, яка має захват робочих органів до 16 метрів.

1.1.3.1 Посівний комплекс «HORSCH-АГРО-СОЮЗ»

Досить широке розповсюдження в Україні отримали посівні комплекси «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» виробництва підприємства АГРО-СОЮЗ м. Дніпро. Ця машина є універсальним посівним комплексом, який дозволяє отримувати досить суттєві врожаї і відновлювати родючість ґрунтів. Основними елементами посівного комплексу «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» є пневматична сіялка з прикочуючими колесами та насінневого бункеру (рис. 1.7).



Рис. 1.7 – Посівний комплекс «HORSCH-АГРО-СОЮЗ»

Він може за один прохід здійснювати наступні операції:

- сівба (без попередньої обробки ґрунту);
- внесення добрив (твердих, рідких чи газоподібних) у місце посіву насіння;
- прикривання насіння шаром ґрунту.

Використання широкозахватного комплексу «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» дозволяє зменшити час засіву 3000-5000 га за 10 діб; зменшити затрати на паливо-мастильні матеріали (до 30%), добрива (до 30%) та трудовитрати (у 2-3 рази).

Основні технічні характеристики посівного комплексу «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» приведені в табл. 1.3.

Посівні комплекси «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» виробляються у трьох варіантах ширини захвата 9,8 м (АТД 9.35), 11,9 м (АТД 11.35) и 18,2 м (АТД 18.35) з чотирма сошниками. При складанні для транспортування ширина сівалки зменшується до 5,7 м.

Сіялка обладнання пневматичними колесами для прикочування, які встановлені для роботи на вологих ґрунтах (маючи при цьому спеціальний рисунок протектора за допомогою якого відбувається їх самоочищення від ґрунту, що налипає). Кожна полоса посіву прикочується окремим колесом, що дозволяє створювати кращі умови для проростання насіння за рахунок взаємодії насіння із ґрунтом.

Таблиця 1.3 - Основні технічні характеристики посівного комплексу «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» [3].

Модель	Необхідна потужність трактора, л.с.	Швидкість обробки, км/год	Робоча ширина захвату, м	Польова продуктивність		Витрата палива	
				га/ мото- год	га/доб	л/мото- год	л/га
ATD 18.35	500 – 535	10 – 15	18,2	15-21	300 – 420	80	3,7 – 5,2
ATD 11.35	400 – 435	10 – 15	11,9	9,5 – 14,2	200 – 290	60	4 – 6
ATD 9.35	320 – 350	10 – 15	9,8	7,2 – 11,2	150 – 200	45	2,5 – 3,9

В широкозахватних посівних комплексах «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» використовується парний сошник, який забезпечує точний та рівномірний висів насіння на 20 см на глибину до 7 см. Даний сошник дозволяє одночасно вносити насіння та добрива різної консистенції під посів на 4-5 см нижче горизонту (що виключає хімічний опік насіння при внесенні насіння та добрив в одне місце).

Пневматична система дозування та розподілення насінневого матеріалу та добрив має високу надійність та довговічність у роботі за рахунок того, що він виготовлений із зносостійкого поліуретану. Для різних видів насіння використовуються різні ротори дозатора, які легко змінити у польових умовах. Канал підводу до ротора має спеціально сконструйований профіль, який забезпечує гарне заповнення його комірок і забезпечує точність дозування при різних швидкостях обертання ротора дозатора. Система дозування буває двох видів: с механічним те електричним приводом.

На посівному комплексі встановлена система контролю (спеціальні датчики) на насіннепроводах, в бункері, а також на висівних катушках. Причому датчики контролюють кожен пневматичний шланг подачі насіння і добрив. Інформація з датчиків попадає на центральний комп'ютер та виводиться на екран у кабіні трактора, що значно облегшує загальне діагностування та виключає пропуск посівів. Також така система дозволяє контролювати рівень заповнення бункера та ін. Робочі органи сіялки забезпечені дисками, що обертаються, які дозволяють повертати ґрунт на місце посіву, що необхідно для якісного прикочування. Також широкозахватний посівний комплекс «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» оснащується спеціальними блоками безпеки, які оберігають сошники від поломки. Цей блок розрахований на зусилля спрацювання при навантаженні на сошник 450 кг.

Висівний апарат має катушкову структуру і оснащений декількома змінними катушками, які дозволяють проводити посів різних видів насіння на різних ґрунтах. Висота та положення робочих органів посівного комплексу дозволяє здійснювати посів по поживних залишках. Для роботи на полях з більшою кількістю поживних решток встановлюються спеціальні розрізні диски.

В машинах «HORSCH-АГРО-СОЮЗ» використовується бункер-накопичувач ємністю 10 чи 17 м³, які мають 2 чи 3 секції. Цей бункер обладнаний само вивантажувальним шнеком (продуктивність шнека 1 т у хвилину), який дозволяє проводити завантажування матеріалу безпосередньо з транспорту.

1.1.3.2 Посівний комплекс «KERNER»

Все частіше на Українському ринку зустрічається техніка німецького виробника «KERNER». До базової моделі посівних комплексів даної марки треба віднести посівний комплекс «KERNER EROS». Його зображення приведено на рис. 1.8.



Рис. 1.8 – Посівний комплекс «KERNER EROS»

Даний посівний комплекс розроблено для мульчуючого та прямого посіву по невідготовлених ґрунтах. Для попереднього підготування поля в цьому посівному комплексі використовується дворядна коротко базова дискова борона із гладкими дисками, які знаходяться на відстані 250 мм один від одного, що дозволяє якісно обробляти стерню на полі. В

В посівному комплексі «KERNER EROS» використовуються шасі з шістьма колесами і спеціальні прикочу вальні колеса діаметром до 600 мм. Що дозволяє створити умови для якісної взаємодії насіння при його висіві з ґрунтом. Причому такі катки мають також додаткові ножі для якісного подрібнення грудок ґрунту. Посів насіння здійснюється за допомогою однодискових сошників, які здійснюють загортання насіння на глибину до 8 см. Висівні пристрої посівного комплексу «KERNER EROS» можуть забезпечувати норму висіву від 1 до 400 кг/га. Слід відмітити, що в системі висіву використовується електронна система контролю висіву, яка дозволяє проводити точну сівбу. Сівалки «KERNER EROS» випускаються з шириною захвату 3,4 та 6 м. Бункер для насіння для такої сівалки випускається об'ємом 2500 і 3000 л.

Основні технічні характеристики сіялки «KERNER EROS» EA 600 приведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Технічні характеристики висівної машина «KERNER EROS» EA 600 [4]

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення параметру
Ширина захвату	м	6,0
Ширина міжрядь	мм	125
Ємність бункеру	л	2500
Кількість сошників	шт.	48
Необхідна потужність трактора	к. с.	240

1.1.3.3 Посівний комплекс «LEMKEN»

Посівні комплекси «LEMKEN» являють собою універсальні машини, які використовуються, як для мульчування так і для обробки ґрунтів. Загальний вигляд посівного комплексу зображено на рисунку 1.9.

До особливостей посівного комплексу «LEMKEN» слід віднести:

- досить великий по розмірах бункер, що гарантує простоту завантаження та високу продуктивність;
- гідравлічні регульовані по глибині висадки робочі секції з розташованими в два ряди зубчастими напівсферичними дисками;
- підпружинені зуб'я для планування, які забезпечують хід машини під плугом;



Рис. 1.9 – Посівний комплекс «LEMKEN» Compact-Solitaire 9H

- досить широкий крюк з спеціалізованим профілем AS, який виключає надвелике тягове зусилля. Це забезпечує прокатування ґрунту після садіння насіння і також гарантує безпечність транспортування при перевезенні посівного комплексу по автомобільним дорогам;

- необсоговуємі дводискові сошники OptiDisc з обгумованими роликками забезпечують рівномірний висів насіння;

- розвинена автоматика, яка підтримує постійну глибину внесення насіння при різних швидкостях посіву, навіть при максимальних.

Технічні характеристики висівної машина «LEMKEN» приведені в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики висівної машина «LEMKEN» [5]

Модель	Ширина захвату, см	Кількість дисків	Кількість рядів сошників для насіння/добрив	Міжряддя сошників для насіння, мм	Міжряддя сошників для добрив, мм	Об'єм бункеру	Вага
Compact-Solitaire 9/300 H 125	300	24	24	125	-	3.503	3.500
Compact-Solitaire 9/300 H 167	300	24	18	167	-	3.431	3.500
Compact-Solitaire 9/400 H 125	400	32	32	125	-	4.039	3.500
Compact-Solitaire 9/400 H 167	400	32	24	167	-	3.943	3.500
Compact-Solitaire 9/400 HD 167	400	32	24/12	167	334	4.283	3.500
Compact-Solitaire 9/600 K H 125	600	48	48	125	-	8.821	4.500
Compact-Solitaire 9/600 K H 167	600	48	36	167	-	8.677	4.500
Compact-Solitaire 9/600 K HD 125	600	48	48/24	125	250	10.077	5.000
Compact-Solitaire 9/600 K HD 167	600	48	36/18	167	334	9.485	5.000

1.1.3.4 Посівний комплекс «JOHN DEERE»

В Україні досить суттєве розповсюдження отримали посівні комплекси «JOHN DEERE» (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Посівний комплекс «JOHN DEERE» 1890

У більшості випадків вони оснащені пневматичною чи механічною сіялкою, яка використовується для висіву рослин, що вирощуються за нульової технологією.

До переваг посівного комплексу «JOHN DEERE» слід віднести:

- плаваючий зчіпний пристрій
- система паралельного керування та система AutoTrac;
- система активного заглиблення сошників.

Всі посівні комплекси «JOHN DEERE» гарантують високоточний висів, який досягається за рахунок інноваційних конструкційних рішень сівалки (система ExactEmerge, система дозування насіння, Section Command тощо)

Конструкція культиваторного типу дозволяє за один прохід здійснювати не тільки посів, але і передпосівну підготовку. Цю техніку

можливо використовувати для посіву зернових, бобових, кормових та масляничних культур тощо. Велика кількість посівних машин «JOHN DEERE» є широкозахватними і дозволяють швидко обробляти поля з великою площею, що мінімізує кількість проходів, витрати палива тощо. Також такі машини дозволяють використовувати тверді мінеральні добрива в період садіння насіння, причому їх витрата керується автоматичним дозатором, що регулюється.

Посівні комплекси «JOHN DEERE» забезпечують стабільну глибину посіву, що призводить до рівномірних сходів і створює умови до отримання гарного врожаю. При цьому відбувається регулювання ширина міжряддя в залежності від культури, яка висаджується.

Широкозахватні посівні комплекси «JOHN DEERE» оснащуються моніторами GreenStar 4HP, GreenStar2/Green Star 3 і системами SeedStar2. Ця система використовується для виводу даних про посів на екран монітора з можливістю їх регулювання не виходячи з кабіни комплексу.

На сіялках «JOHN DEERE» встановлені високоякісні сошники John Deere серії 90, які є високоефективним обладнанням, яке використовується длялюбих типів насіння.

Дані посівні комплекси поставляються у 5 конфігураціях з шириною захвату від 9,1 до 18,3 м. Їх основні технічні характеристики приведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики посівного комплексу JOHN DEERE 1890 [6]

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення параметру
Загальна довжина (від зчіпного пальця до задньої частини задніх шин)	м	7,5

Продовження табл.1.6

Рама	мм	
-поперечина		100x150
- кінцеві трубки		50x150
- зціпка		75x150
Активне гідравлічне притискне зусилля (на 1 сошник)	кг	102-204
Диск з конічною кромкою 46 см під кутом	о	7
Копіюючи колеса, які регулюють глибину посіву від 1,3 до 9 см	см	12x41
Гумові колеса для прикатування ґрунту з регульованим притискним зусиллям від 2,3 до 21 кг.	см	2,5x25,5
Дорожній просвіт рами	см	56
Дорожній просвіт до сошника	см	22

1.2 Методи підвищення надійності та довговічності їх основних вузлів

Одним із найбільш важливих показників якості висівних машин є надійність. Відповідно до ГОСТ 13377—75 під надійністю розуміють властивість об'єкту виконувати задані функції, зберігає у часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам експлуатації, технічного обслуговування, ремонту, зберігання та транспортування. В залежності від призначення об'єкту та умов його експлуатації надійність може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність (окремо чи у відповідному поєднанні властивостей) як для об'єкта в цілому, так і для його окремих частин. Якщо використовувати поняття надійності до посівних машин, то вона

характеризується властивістю виконувати роботу, зберігаючи експлуатаційні показники у встановлених межах впродовж визначеного інтервалу часу чи наробітку у визначених умовах експлуатації. Тому основними показниками надійності для висівних машин є безвідмовність, довговічність та ремонтпридатність. Безвідмовність – це властивість виробів безперервно зберігає роботоздатність впродовж визначеного часу та певного наробітку. Довговічність – це властивість об'єкту зберігати довгий час роботоздатність до настання мужевого стану при визначених умовах експлуатації. Ремонтпридатність – це властивість об'єкту, яка характеризує його пристосованість до відновлення до працездатного стану після відмови чи пошкодження. Роботоздатність – стан виробу, при якому воно має здатність виконувати задані функції, зберігаючи значення параметрів у межах, встановлених документацією на об'єкти. Відмова – це подія, яка полягає у порушенні працездатності об'єкту. Наробіток посівної машини – тривалість її роботи у годинах чи посівній площі.

Довговічність – це властивість об'єкту зберігати праце придатність до наступу мужевого стану при встановленій схемі технічного обслуговування та ремонтів. До основних показників довговічності відносяться – ресурс, строк служби тощо. В якості показника довговічності посівних машин приводять наробіток у км до першого великого технічного обслуговування (капітального ремонту). Ресурс – це напрацювання об'єкту від початку експлуатації чи її поновлення після проходження технічного обслуговування. Строк служби – календарна тривалість експлуатації виробу від її початку чи поновлення після проходження технічного обслуговування при настанні мужевого стану. До показників довговічності роботи двигунів відносяться також гама-процентний ресурс, тобто наробіток впродовж якого виріб не досягає мужевого стану з заданою вірогідністю 7%. Розрізняють гама-процентний ресурс до першого капітального ремонту та між ними.

Однієї з основних завдань сільськогосподарського машинобудування є підвищення ресурсу техніки (зокрема посівних машин) до першого

капітального ремонту та забезпечити вторинний ресурс машин на рівне не менше, ніж 80% від первинного. Виконання цієї задачі потребує від колективів заводів, науково-дослідних інститутів, організації, що експлуатують та ремонтують техніку використання оригінальних конструкційних та технологічних рішень, використання сучасних конструкційних матеріалів, ресурсозберігаючих технології та підвищення якості експлуатації та ремонту сільськогосподарської техніки. Причому слід визначити, що до основних шляхів підвищення надійності та довговічності відносяться наступні:

- визначення слабких місць у вузлах та деталях, які пов'язані з великою кількістю факторів, що впливають на довговічність посівних машин та створення методик прискорених досліджень деталей, вузлів та складальних одиниць з визначенням їх строків роботи;

- покращення умов роботи посівних машин за рахунок захисту поверхонь тертя від абразивних частинок, забруднень, покращення системи змащування, покращення режимів притирання тощо;

- вдосконалення конструкцій, матеріалів з яких вони виготовляються та технології виготовлення деталей та вузлів посівних машин, оптимізації мікро- та мікроегеометрії поверхонь, що труться (взаємодіють не з ґрунтом, а з іншими металевими, чи полімерними деталями), покращення втомлювальної міцності та термічної стійкості деталей тощо;

- покращення культури та технології експлуатації і якості ремонту, зокрема створення та використання методів діагностики технічного стану посівних машин, забезпечення технології ремонтів та рівні технології виготовлення їх основних елементів

Відповідно до того, що широкозахватній посівні комплекси набувають все більше розповсюдження на сільськогосподарських підприємствах України можна зробити висновок, що покращення їх роботи з підвищенням надійності та довговічності є досить актуальною задачею. Одним їх найбільш розповсюджених посівних комплексів є John Deere 1780. До одного з

недоліків цього комплексу є наявність досить великої кількості рухомих з'єднань у механізмі копіювання нерівностей поля при висіві. Так даний агрегат має 25 посівних лап, які являють собою важільну систему для копіювання нерівностей ґрунту (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 - Посівний комплекс «John Deere 1780» (під час простою)

На кожен посівну лапу припадає 40 рухомих з'єднань. Тобто на весь посівний комплекс припадає до 400 вузлів тертя. До недавнього часу в таких комплексах використовували металеві вузли тертя, які потребували постійного змащування кожні 100 га роботи. Яке відбувалося за рахунок шприцювання консистентного мастила у маслянки. Ця операція забирала до 4-5 годин при посіві сільгоспкультур і при невчасному її проведенні механізми копіювання ґрунтів досить часто працювали не у штатному

режими і навіть могли заклинювали, що призводило до неякісного висіву насіння у ґрунт і в подальшому нерівномірному його проростанні. Слід відмітити, що операція шприцювання вузлів тертя мастилом проводилася прямо у полі під час посіву і на неї витрачається досить велика кількість часу, який необхідний для дотримання сільськогосподарських строків, що рекомендуються на садіння визначених культур для їх найкращого зростання.

З цією проблемою змогли впоратися вчені ДДАЕУ та представники НПП “Союз-Композит”. Вони замінили елементи рухомих з’єднань даного посівного комплексу на полімерні композити на основі поліаміду та вуглецевого волокна. Дана модернізація дозволила отримати необслуговуємі вузли тертя посівних комплексів, які в процесі експлуатації не потрібно змащувати. Їх надійність, довговічність та зручність обслуговування значно зросла. Це призвело до того, що вчені ДДАЕУ та представники НПП “Союз-Композит” отримали 2 рекорди України на найбільшу площу (до 17251 га), яку засіяла сівалка без зупинки та технічного обслуговування. Тобто використання полімерних композитів у вузлах тертя механізму копіювання широкозахватних посівних комплексів є актуальним та обґрунтованим.

1.3 Полімерні композиційні матеріали для вузлів тертя посівних агрегатів

1.3.1 Обґрунтування вибору полімерних матриць

Всі полімерні матриці для створення полімерних композиційних матеріалів з високим рівнем трибологічних властивостей поділяються на термореактивні та термопластичні. Термореактивні полімерні матриці – це матеріали, які мають у більшості випадків сітчасту структуру. Ці полімери при переробці у виробі стають твердими (переходять у неплавкий та негорючий стан) після хімічної реакції, яка відбувається при нагріванні їх

мономерів з в'язучим агентом. При цьому після переходу таких полімерів у неплавкий та негорючий стан вони не підправляються при температурі та не розкладають при аж до температури активної деструкції.

Термопластичні матеріали відрізняються від термореактивних тим, що при переробці у більшості випадків вони не створюють просторової сітки і переходять у твердий стан з розплаву, який твердіє при зменшенні температури. Термопластичні полімери здатні до повторної переробки у виробі при дії на них температури.

З точки зору фізико-механічних та теплофізичних властивостей термореактивні полімерні матриці мають перевагу над термопластичними, а з точки зору трибологічних властивостей – навпаки, що є наслідком різниці у їх структурі та хімічній будові [7].

Відповідно до цього та спираючись на аналіз наукових публікацій можна зробити висновок, що до найбільш поширених полімерних матриць трибологічного призначення, що випускаються у промислових масштабах, належать деякі карбо- та карбоциклоланцюгові полімери (фторполімери, поліфенілени тощо), гетеро- та гетероциклоланцюгові полімери (ароматичні поліаміди, полііміди, полієфіркетони, поліарилени тощо), фенольні високомолекулярні сполуки.

Фторполімери – це група карболанцюгових полімерів, які мають у своєму складі один або декілька атомів фтору (разом із фтором можуть бути присутні також хлор, бром та йод).

Найбільше поширення із фторполімерів отримали наступні матеріали: політетрафторетилен (PTFE, фторопласт-4, Teflon, Algoflon F), політрихлорфторетилен (CTFE, Фторопласт-3, Dyflon, Neoflon); полівініліденфторид (PVDF, Solef, Фторопласт-2), полімертетрафторетилену з етиленом (ETFE, Фторопласт-40, Hostaflon ET). У таблиці 1.7 подано основні властивості цих матеріалів.

Таблиця 1.7 – Властивості фторопластів [8]

Матеріал	Густина, кг/ м ³	Напруження при межі текучості при стисканні, МПа	Модуль пружності при стисканні, МПа	Темп. початку активної деструкції, °С	Коеф. тертя по сталі
Фторопласт-4	2150-2190	11-12	670-690	>415	0,04
Фторопласт-3	2090-2160	49-59	1470	>315	0,3
Фторопласт-2	1700-1800	-	-	>350	-
Фторопласт-40	1650-1700	50	до 1270	>350	0,09

Температура початку активної деструкції цих полімерів перевищує 415°С, однак вони мають невисокі значення міцності (до 60 МПа). Вироби із фторополімерів широко використовуються у вузлах тертя машин і механізмів, що працюють у режимах тертя із та без змащування у досить високому рівні навантажень, температур та швидкостей ковзання [9-11].

Завдяки своїй високій хімічній стійкості вироби із фторполімерів здатні працювати у машинах, які контактують із агресивними середовищами.

Недоліками виробів із фторопластів є їх відносно висока собівартість, не досить невисокий рівень технологічності при переробці у вироби (переробка відбувається за допомогою методу компресійного пресування) і відносно невисокий рівень міцності.

Досить широке розповсюдження у вітчизняній та іноземній техніці отримали деталі із полімерів на основі ароматичних поліамідів, які являють собою групу лінійних гетероциклоланцюгових полімерів і складаються із ароматичних фрагментів різної структури, з'єднаних між собою амідними зв'язками. Ці полімери відрізняються високим рівнем міцності і термостійкості за рахунок досить сильної міжмолекулярної взаємодії між молекулами ароматичних поліамідів, що пояснюється наявністю великої кількості водневих зв'язків між активними групами молекул полімерів [12, 13].

З ароматичних поліамідів найбільше розповсюдження отримали отримали полімета- та поліпарафеніленізо- чи терефталаміди та їх кополімери (Фенілон, Kevlar, Nomex). У табл. 1.8 подано основні властивості ароматичних поліамідів.

Таблиця 1.8 - Основні властивості ароматичних поліамідів [14]

Матеріал	Густина, кг/м ³	Напруження при межі текучості при стисканні, МПа	Ударна в'язкість, кДж/м ²	Темп. початку активної деструкції, °С	Коеф. тертя по сталі
Фенілон П	1330	210 – 230	20 – 30	-	-
Фенілон С1	1330	220 – 230	30 – 40	350	0,43
Фенілон С2	1330	210 – 230	40 – 50	350	0,45

Температура початку активної деструкції ароматичних поліамідів досягає 350°С, а теплостійкість за Віка – 300°С. Це сприяє тому, що деталі з цих полімерів здатні працювати у вузлах машин і механізмів при температурах до 300°С. При цьому вони зберігають високий рівень властивостей. Слід відмітити, що в деяких випадках деталі з ароматичних поліамідів можуть працювати короткий час при температурах до 350°С [15, 16]. За фізико-механічними властивостями (міцність при стисканні, твердість, стійкість до дії знакозмінних та ударних навантажень) ці полімерні матриці переважають більшість полімерів та у деяких випадках наближаються до сталей [17, 18].

З недоліків ароматичних поліамідів слід відмітити їх відносно високу собівартість та складність переробки у виробі, що пов'язано із особливістю переробки у виробі методом компресійного пресування, який є досить енерго- та трудомістким процесом.

Останнім часом широке розповсюдження у вузлах тертя машин і механізмів отримали поліаміди, які є полімерами, що мають в основному ланцюзі макромолекули циклічну імідну групу. Причому в залежності від їх

хімічної будови полііміди бувають аліфатичними й ароматичними. Ці матеріали мають досить високий рівень фізико-механічних властивостей, завдяки чому вироби з них здатні працювати в широкому інтервалі навантажень, швидкостей і температур [19, 20]. Найбільш поширеними марками поліамідів є Torlon, LARC, Pyralin, АПИ, Kinel, Skybond. У таблиці 1.3 подано основні властивості ароматичних поліімідів. Їх основні характеристики приведені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 - Основні властивості ароматичних поліімідів [21]

Матеріал	Густина, кг/ м ³	Напруження при межі текучості при стисканні, МПа	Модуль пружності при стисканні, МПа	Темп. початку активної деструкції , °С	Коеф. тертя по сталі
Torlon	1400-1600	150-220	4000-4500	410-420	0,1-0,3
Kinel	1400	70-150	2000-3000	350-400	0,42

Температура початку їх активної деструкції поліамідів досягає 430°C. Що дозволяє використовувати деталі з цих полімерів у вузлах конструкційного і триботехнічного призначення при температурах до 300°C [22].

До недоліків поліамідів слід віднести їх високу собівартість та невисокий рівень технологічності при переробці у виріб (цей недолік значною мірою стосується ароматичних поліамідів, які мають досить жорсткі ланцюги).

Також в останній час широке розповсюдження отримали поліефіркетони, які є ароматичними полімерами з молекулярними ланцюгами побудованими із феніленових циклів, карбонільних груп та атомів кисню. Вироби з цих полімерів відрізняються високим рівнем зносостійкості при адгезій так і абразивній дії. Найбільш поширені марки поліефіркетонів: Victrex, Vetrapak, Hostatek, Kadel, Ultrapak. У таблиці 10 подано основні властивості поліефіркетонів.

Таблиця 1.10 - Основні властивості поліефіркетонів [23]

Матеріал	Густина, кг/ м ³	Напруження при межі текучості при стисканні, МПа	Модуль пружності при стисканні, М Па	Темп. початку активної деструкції , °С	Коеф. тертя по сталі
Victrex	1300	100-125	до 4000	до 400	-
Kadel	1400-1470	160	до 3800	до 380	0,2

Термостійкість таких полімерів досягає 400°C. Деталі з них можуть короткочасно працювати при температурах до 300°C [24].

Поліефіркетони використовуються в якості конструкційних матеріалів для створення деталей машин і механізмів, що працюють при високому рівні навантажень та температур. Причому вона також мають досить високу хімічну стійкість і здатні працювати у вузлах машин і механізмів на які діють агресивні середовища [25, 26].

До недоліків деталей з поліефір кетонів слід віднести дуже високу їх собівартість, яка обумовлена, як високою ціною компонентів з яких ці полімери виготовляються так і досить енергоємною технологією переробки у виробі.

Поліарилени є полімери, які мають основному ланцюзі сірку. Причому до найбільш термостійких із них слід віднести поліарилсульфони, які є продуктом реакції поліконденсації дисульфохлоридів з ароматичними вуглеводами. До найбільш розповсюджених поліарилсульфонів відносяться полімери марок Radel, Veradel та Astrel 360. У таблиці 1.11 подано основні властивості цих матеріалів.

Вироби з таких полімерів мають досить високу термостійкість, яка досягає 420°C. Однак вони відрізняються відносно невисоким рівнем фізико-механічних властивостей (напруження при межі текучості при стисканні не перевищують 110 МПа).

Таблиця 1.11 - Основні властивості поліарілсульфонів [27]

Матеріал	Густина, кг/ м ³	Напруження при межі текучості при стисканні σ_y , МПа	Модуль пружності при стисканні, М Па	Темп. початку активної деструкції, °С	Коеф. тертя по сталі
Radel	1290	95-100	-	410-420	-
Veradel	1370	100-110	2680	400-410	-

Деталі з поліарилсульфонів використовуються у легконавантажених конструкційних та триботехнічних вузлах машин, здатних зберігати високий рівень працездатності при температурах до 220°C і короткочасно працювати при 290–300°C .

Фенольні смоли є реактопластичними полімерами і вони є одними з найстаріших полімерних матеріалів внаслідок цього і отримали досить широке розповсюдження. Затверділі фенольні смоли мають дуже високий рівень термостійкості і можуть короткочасно витримувати температури до 700°C [28]. У вихідному вигляді ці смоли практично не використовуються, однак композити на їх основі широко використовуються у промисловості. Деталі з фенопластів знайшли широке використання в якості покриттів корпусів ракет та інших літальних апаратів, забезпечуючи при цьому їх абляційний захист при входженні у щільні шари атмосфери. У аграрній, хімічній та інших галузях промисловості фенольні композити використовуються для виготовлення деталей конструкційного призначення, що працюють при високому рівні температур (до 350°C) [29, 30].

Недоліком виробів із фенольних смол є їх невисокий рівень екологічної безпеки при переробці їх у вироби. Це обумовлено тим, що при переробці у виріб та експлуатації з деталей на основі фенопластів можуть вивільнитися пари вільного фенолу та формальдегіду, небезпечні для довкілля і здоров'я людини. За ступенем дії на організм людини фенол та формальдегід

належать до дуже небезпечних сполук (2-й клас небезпечності за ГОСТ 12.1.005) і при перевищенні допустимих концентрацій можуть викликати значне погіршення здоров'я.

Спираючись на аналіз наукових публікацій, можна зробити висновок, що найбільш оптимальними сучасними полімерними матрицями, які випускаються у промислових масштабах, з високим рівнем термічної стійкості для отримання полімерних композиційних матеріалів конструкційного та трибологічного призначення є ароматичні поліаміди, які за фізико-механічними властивостями наближаються до низьковуглецевих сталей, але у 3–5 разів менші за густиною, що значно зменшує матеріалоємність вузлів машин і механізмів. Ці матеріали мають відносно невисокі значення коефіцієнта тертя по сталі та можуть працювати у вузлах тертя без змащування. Найкращий рівень фізико-механічних, теплофізичних та трибологічних властивостей з ароматичних поліамідів, що випускаються промисловістю, мають полімер марки фенілон С1. Тому для подальших досліджень було вибрано саме його.

1.3.2 Обґрунтування вибору наповнювача для термостійких ПКМ триботехнічного призначення

Важливим компонентом для створення полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення є наповнювачі. Їх функції у полімерах досить різноманітні. Так, наповнювачі використовуються для покращення експлуатаційних характеристик полімерів, надання їм різних специфічних властивостей та зменшення собівартості [31]. Тому в якості наповнювачів використовуються різні речовини та матеріали, уміст яких у полімері може змінюватися в досить широких межах.

Наповнювачі для полімерних матеріалів повинні мати невисоку собівартість, бути недефіцитними та такими, що здатні підвищити рівень властивостей полімерних матриць. Слід відмітити, що наповнювачі також

повинні гарно суміщатися із полімерними матрицями чи диспергуватися в ній із створенням однорідних полімерних композицій. Також вони повинні гарно змочуватися розплавом чи розчином полімеру і бути стабільними (інертними) при зберіганні, переробці та експлуатації виробів з них. Також слід відмітити, що наповнювачі для створення полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення повинні бути екологічно-безпечними для навколишнього середовища і людини.

Всі наповнювачі трибологічного призначення класифікуються залежно від хімічної будови (органічні та неорганічні), форми (волокнисті та дисперсні) та розмірів частинок (крупно- середньо- високо- та ультрадисперсні) [32].

Волокнисті та дисперсні матеріали однаковою мірою використовуються в якості наповнювачів полімерів для створення матеріалів трибо технічного призначення. Причому слід відзначити, що дисперсні наповнювачі є значно дешевшими та технологічно краще пристосованими для створення полімерних композицій, ніж волокнисті. Однак при використанні більшості волокнистих наповнювачів вдається отримати матеріали з кращим рівнем властивостей, ніж дисперсних, що обумовлено різницею у структурі та морфології цих наповнювачів. Хоча виходячи із теоретичних уявлень дисперсні наповнювачі мають більші значення поверхні взаємодії ніж волокнисті і тому повинні оказувати кращу підсилюючу дію на матричний полімер ніж волокнисті. Однак складність рівномірного розподілення наповнювачів в об'ємі полімерів не дозволяє отримати цей ефект.

Широке розповсюдження отримали волокнисті наповнювачів для полімерів трибо логічного призначення, які є рубленими, довжиною від десятків мікрон до десятків міліметрів, у вигляді безперервних ниток та тканин [33]. Рублені волокна залежно від співвідношення показників механічних властивостей полімеру та наповнювача, розмірів волокон, а також характеру взаємодії на границі розділу матриця-волокно можуть

проявляти властивості, як дисперсних, так і волокнистих наповнювачів. Вони, в залежності від способу переробки, розташовуються у полімерній матриці хаотично чи орієнтовано змінюючи при чому різні властивості полімерних матриць.

Безперервні волокна вводяться у полімерну матрицю за допомогою шарів, які, у більшості випадків, є орієнтованими. Це дозволяє отримувати вироби з полімерних матеріалів з високим рівнем міцнісних властивостей. Ткані волокнисті матеріали використовуються для створення полімерних композиційних матеріалів з високим рівнем властивостей, але такі матеріали мають значну анізотропію властивостей у різних площинах. Значну анізотропію властивостей можна частково усунути використовуючи тканинні наповнювачі, які виготовляються відповідно до форми виробу, яка фіксується при затвердінні в'язучого.

Волокна бувають органічної і неорганічної природи. Органічні, у свою чергу, поділяються на природні та синтетичні. До природних належать такі волокна, як бавовняні, лляні, джутові тощо. Синтетичні волокна виготовляються із термостійких полімерів (ароматичні поліаміди, полііміди, поліарилени). До синтетичних волокон можливо віднести також вуглецеві, які отримуються з органічних (поліакрилонітрильні, гідратцелюлозні) та з мезофазних пеків (проміжний продукт переробки нафти та кам'яного вугілля) [34]. За технологією отримання вуглецеві волокна проходять декілька стадій: окислення, карбонізація, графітизація та у деяких випадках – механічна витяжка органічних волокон чи пеків. В залежності від вихідної сировини отримують вуглецеві волокна з досить широким спектром властивостей. До їх переваг віднести високий рівень механічних і термічних властивостей. А до недоліків - високу вартість і низьку адгезійну здатність до полімерних в'язучих. Тому в багатьох випадках використовується поверхнева обробка волокон апретами для підвищення їх питомої поверхні та змочуваність полімерним в'язучим.

До волокон неорганічної природи належать такі, як: скляні, базальтові, азбестові, керамічні тощо.

Скляні волокна отримуються витяжкою з розплаву однорідної скловидної маси, яка є сплавом діоксиду кремнію з різними додатковими компонентами (оксидами, гідроксидами металів тощо). І в залежності від складу скловидної маси можливо отримати скляні волокна з широким спектром властивостей.

До основних недоліків скляних волокон слід віднести їх низьку адгезійну спроможність до деяких полімерних матриць та помітне зменшення їх міцності середовищах з високим вмістом вологи. Також слід відмітити анізотропію властивостей виробів з них внаслідок орієнтаційних ефектів при переробці.

Базальтові волокна є одним із різновидів скляних і отримуються аналогічно, але в якості сировини замість склоподібної маси використовується природний мінерал базальт, який належить до групи алюмосилікатів [35]. За хімічною структурою та властивостями базальтові волокна близькі до скляних, але відрізняються кращою адгезією до більшості видів полімерів, мають кращу міцність та вищий модуль пружності. Суміщення базальтових волокон із полімерною матрицею дозволяє значно покращити їх механічні та теплофізичні властивості. До недоліків базальтових волокон слід віднести їх забарвлення від брудно-зеленого до бурого. Також вироби з базальтовими волокнами досить складно отримувати за рахунок їх не високої технологічності при переробці у вироби.

До недавнього часу досить широке розповсюдження отримали в якості наповнювачів для полімерів азбестово волокнисті з'єднання. Азбест - природний матеріал волокнистої структури, який належить до групи гідратованих силікатів. Є два види силікатів, з яких отримують азбестові волокна, – хризотил та амфібол. Вони відрізняються за властивостями: перший характеризується підвищеною механічною міцністю, другий – хімічною стійкістю. Азбестові волокна дозволяють покращити як міцнісні

так і теплофізичні властивості виробів із полімерних матеріалів. Однак досить суттєвим недоліком такого наповнювача є те, що азбестові волокна є канцерогенною речовиною і на теперішній час вони заборонені до використання у більшості розвинених країн світу.

Виходячи з огляду використання волокнистих наповнювачів, які виготовляються із термостійких полімерів та вуглецевих волокон, для створення полімерних композиційних матеріалів трибологічного призначення їх використання можливе лише в окремих випадках, коли вартість виробу з них не матиме суттєвого значення, як для одиничних виробів у високотехнологічних галузях промисловості (літако- та ракетобудування), і неприйнятно для всіх інших галузей.

З розглянутих волокнистих наповнювачів найбільш поширеними і доступними за ціною є скляні та базальтові волокна. Вони мають досить високу реакційну спроможність до взаємодії із полімерними матрицями. Це відбувається за рахунок того, що основним їх компонентом є діоксид кремнію, який має на своїй поверхні активні групи, здатні до взаємодії з молекулами полімерів при їх переробці у виробі. Однак до основних недоліків таких волокнистих наповнювачів слід віднести їх невисокий рівень технологічності при переробці у виробі і завдяки цьому значно підвищується собівартість отримання виробів.

Також одного із основних недоліків є невисокий рівень безпеки цих волокон для людей та довкілля. Відповідно до висновків Міжнародного агентства з вивчення раку, скляні та базальтові волокна потрапили в групу 2 Б, тобто є канцерогенними для людини та довкілля [36].

Виходячи з огляду публікацій, волокнисті матеріали у якості наповнювачів для полімерів з метою виготовлення виробів з високим рівнем трибологічних властивостей є недоцільними.

Дисперсні наповнювачі бувають органічного та неорганічного походження з розмірами частинок від сотен нанометрів до сотен мікрометрів. Слід відмітити, що розміри дрібнодисперсних наповнювачів, що

використовуються для створення полімерних композиційних матеріалів змінюються в інтервалі від 1 до 50 мкм, причому сучасні полімерні композиційні матеріали можуть мати у своєму складі нанорозмірні наповнювачі. Вміст дисперсних наповнювачів у полімерних композиційних матеріалів змінюється в досить широких межах від 1 до 95 % ваг. Причому при наповненні термопластичних полімерів, у більшості випадків, використовується не більше 40 % ваг. наповнювачів, а реактопластичних до 95 % [37].

Серед найбільш важливих вимог, що висуваються до дисперсних наповнювачів, слід відзначити:

- гарна диспергуємість у полімері;
- гарна змочуваність розплавом чи розчином полімеру;
- відсутність схильності до агломерації;
- розвинена поверхня;
- однорідність розмірів частинок наповнювача;
- низький умість вологи та легко летючих компонентів.

Для наповнювачів реактопластичних полімерів також вони не повинні виявляти каталітичну дію на процес затвердіння в'язучого.

Для покращення змочування та запобігання агломерації поверхня дисперсних наповнювачів модифікується поверхнево-активними речовинами (апретами) [38]. слід відмітити, що для покращення взаємодії полімерів з наповнювачами на їх поверхню наносять активні групи, які здатні взаємодіяти із полімерними молекулами при їх переробці у виробі.

До найбільш поширених дисперсних наповнювачів належать матеріали у склад яких входить вуглець та кремній різних модифікацій. Це обумовлено тим, що дані хімічні елементи є одними із найбільш розповсюджених на планеті Земля і завдяки цьому є дешевими і недефіцитними компонентами. Слід відмітити, що кремній входе не у чистому вигляді, а у вигляді діоксиду кремнію.

Використання даних наповнювачів дозволяє отримувати полімерні композиційні матеріали з високим рівнем фізико-механічних, теплофізичних та трибо логічних властивостей. Слід відмітити, що їх можна регулювати у широкому діапазоні й отримувати полімерні композити як конструкційного, так і трибологічного призначення [39].

До одного з найбільш поширених наповнювачів терmostійких полімерів слід віднести дисперсні матеріали на основі вуглецю (графіт, технічний вуглець, кокс, фулерен, вуглецеві нанотрубки, графен) [40].

Графіт – це практично чистий вуглець, що має шароподібну структуру. Він є мінералом і добивається на копальнях (в Україні одним із найбільших копалень по добичі графіту є Заваллівське родовище, яке знаходиться у Кіровоградській області), але також може бути отриманий штучним шляхом з вугілля антрацитної форми при його термічній обробці без доступу кисню. Введення графіту у полімери сприяє підвищенню твердості, міцності при розтяганні, стисканні та згину, температуропровідності, хімічній стійкості та зносостійкості отриманих композитів [41]. До основного недоліку полімерних композиційних матеріалів, які наповнені графітом слід віднести те, що вони мають значну анізотропію властивостей внаслідок того, що графітові частинки є шаруватим матеріалом і вони мають досить високу міцність при стисканні та розтягуванні, але не витримують великих тангенційних навантажень.

Досить широке розповсюдження в якості дисперсного наповнювача також отримав технічний вуглець. Який являє собою дрібнодисперсний матеріал на основі вуглецю, який є продуктом термоокислювального чи термічного розкладення вуглеводнів [42]. Використання технічного вуглецю в якості наповнювача полімерів дозволяє збільшити їх термічні та міцнісні властивості. Причому підсилюючий ефект цього наповнювача пов'язано із його дисперсністю та питомою поверхнею. Використання технічного вуглецю в якості наповнювача для термо- та реактопластів не сприяє

значному покращенню властивостей, і він використовується, як матеріал, кий значно зменшує собівартість виробів із полімерів.

До найбільш сучасних та прогресивних матеріалів на основі вуглецю є фулереноподібні структури, які мають назву фулерени, фулерити, вуглецеві нанотрубки тощо [43].

Фулерен – це молекула, яка складається із 60 атомів вуглецю і має ікосаедричну симетрію. Існує велика кількість модифікацій фулеренів із більшою кількістю атомів вуглецю у молекулі. Відомі фулерени з кількістю атомів вуглецю 70, 76, 78, 80 і більше, які мають різні геометричні структури. Фулерени та фулереноподібні структури отримують за допомогою дугового розряду між графітовими електродами у інертному середовищі (у більшості випадків це гелій) при великих значеннях тисків. Тепло, що виділяється при цьому призводить до випаровування вуглецю із створенням сажі та фулеренів. Технологія отримання фулереноподібні структур досить складна та енергоємна, тому наповнювачі на основі фулеренів мають досить суттєву собівартість. І завдяки цьому досить рідко використовуються в якості наповнювачів полімерів із вмістом більше 10% [44]

Вуглецеві нанотрубки являють собою циліндричні структури, які складаються з однієї або декількох графенових площин. Вони являють собою одну із модифікацій фулеренів і отримуються методом випаровування у дуговому розряді, лазерної абляції, піролізу, плазмохімічного осадження й електрохімічними методами. Методи вуглецевих нанотрубок досить складні та енергоємні, що призводить до високої собівартості наповнювача. Уведення вуглецевих нанотрубок у полімерні матриці не сприяє значному покращенню їхніх властивостей [45], тому використання такого наповнювача при створенні полімерних композиційних матеріалів трибо технічного призначення не набуло значного поширення.

Найбільш сучасним із вуглецевих матеріалів є графен, який уявляє собою двовимірну модифікацію вуглецю, яка складається із шарів атомів вуглецю товщиною в один атом. Графен у більшості випадків отримується

тільки у лабораторних умовах за допомогою методів механічного відшарування високоорієнтованого піролітичного графіту. Ще його отримують методом термічного розкладення поверхні карбиду кремнію та методом хімічного осадження із газової фази [46]. Завдяки цьому графен є досить дорогим матеріалом, тому його використання у великій кількості в якості наповнювача полімерів в теперішній час не набуло широкого розповсюдження.

Досить широке розповсюдження в якості наповнювачів полімерних матеріалів отримали діоксиди кремнію різних модифікацій [47]. Це відбулося внаслідок їх невисокої собівартості (до 7 дол. за 1 кг) та досить широким розповсюдженням у навколишньому середовищі (більше 50 % земної кори складається з кремнійвмісних матеріалів) та спроможністю покращення комплексу властивостей полімерних матеріалів за рахунок фізичної та хімічної взаємодії з полімером.

У світі існує до 25 модифікацій діоксидів кремнію, які мають однаковий хімічний склад та відрізняються один від одного ступенем кристалічності, морфологією, походженням [48]. Частина з них використовується в якості дисперсних наповнювачів для полімерних композитів з високим рівнем трибологічних властивостей. Причому до найбільш поширених форм діоксидів кремнію відносяться ті, що отримані з гелів чи золів кремнієвої кислоти та при взаємодії газоподібного чотирихлористого кремнію з парами води (силікагелі, білі сажі та аеросили). Розміри їх елементарних частинок можуть змінюватися в інтервалі від декількох нанометрів до мікрометрів. Ці наповнювачі мають добре розвинену поверхню до $380 \text{ м}^2/\text{г}$ на якій знаходяться активні «силанольні» групи, що можуть взаємодіяти з молекулами полімерів при їх переробці у виробі, створюючи при цьому з ними водневі зв'язки, які сприяють значному покращенню теплофізичних та фізико-механічних властивостей полімерних композитів із діоксидами кремнію [49].

Сучасна промисловість випускає наступні синтетичні діоксиди кремнію таких марок: аеросил, біла сажа і силікагель. Ці наповнювачі відрізняються один від одного не тільки способом отримання, а і також морфологією і хімічним складом (ГОСТ 18307, ГОСТ 14922-77). Аеросил - це пірогенний колоїдний діоксид кремнію (практично чиста форма діоксиду кремнію. У його складі не менш ніж 99,8 % SiO_2), який отримують полум'яним гідролізом летких речовин, які мають у своєму складі кремній. Біла сажа – це гідратований діоксид кремнію (у його складі не менш 85–95 % SiO_2 , інше – домішки оксидів та гідроксидів заліза, алюмінію, магнію тощо), який отримується з осаду, що створюється при дії кислот на розчини силікатів з подальшим їх фільтруванням, промиванням та сушінням. Силікагель – це висушений гель кремнієвої кислоти (у його складі не менш 85–95 % SiO_2 , інше – домішки), який отримується в результаті взаємодії розчину силікатів з кислотою з подальшим сушінням та промиванням створеного продукту гелю.

Різні способи отримання синтетичних діоксидів кремнію визначають їх властивості: розмір, форму частинок, наявність чи відсутність пор, властивості поверхні. Всі ці матеріали мають досить розвинену поверхню від десятків до сотен г/м^2 з великою кількістю пор, мікро- та субмікропор (рис. 1.12), які сприяють фізичній адсорбції молекул полімеру при переробці ПКМ у виробі.

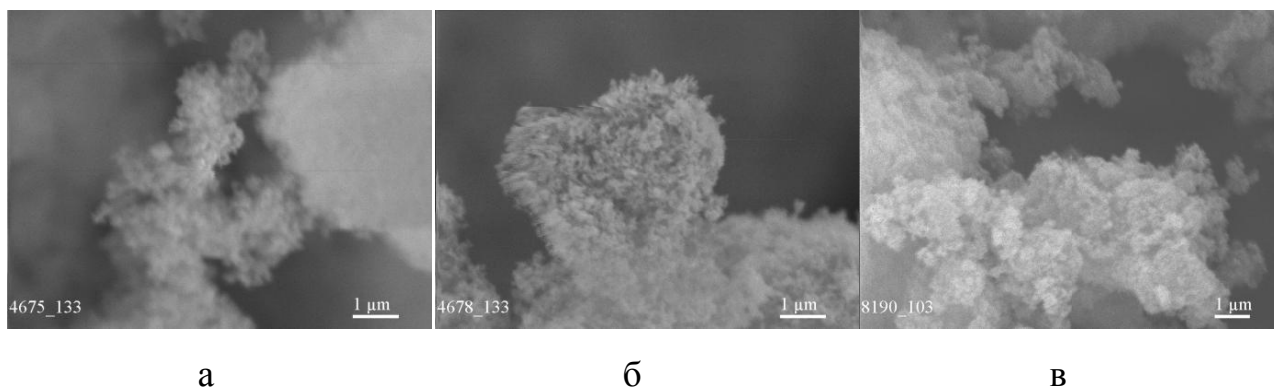


Рисунок 1.12 - Мікрофотографії частинок діоксидів кремнію марок: а –

біла сажа; б – аеросил; в – силікагель

Відповідно до стандартів на матеріали розміри елементарних частинок діоксидів кремнію марок «аеросил» і «біла сажа» складають від 5 до 70 нм, що і визначає їх досить розвинену поверхню. Однак це разом із наявністю великої кількості активних «силанольних» груп на поверхні частинок діоксидів кремнію, призводить до їх активної агрегації за рахунок фізичної (Ван-Дер-Ваальсових сил, сили електростатичної взаємодії тощо) та слабкої хімічної (водневі зв'язки) взаємодії. При цьому розміри отриманих агрегатів можуть складати більше десятків мкм (рисунок 1.13).

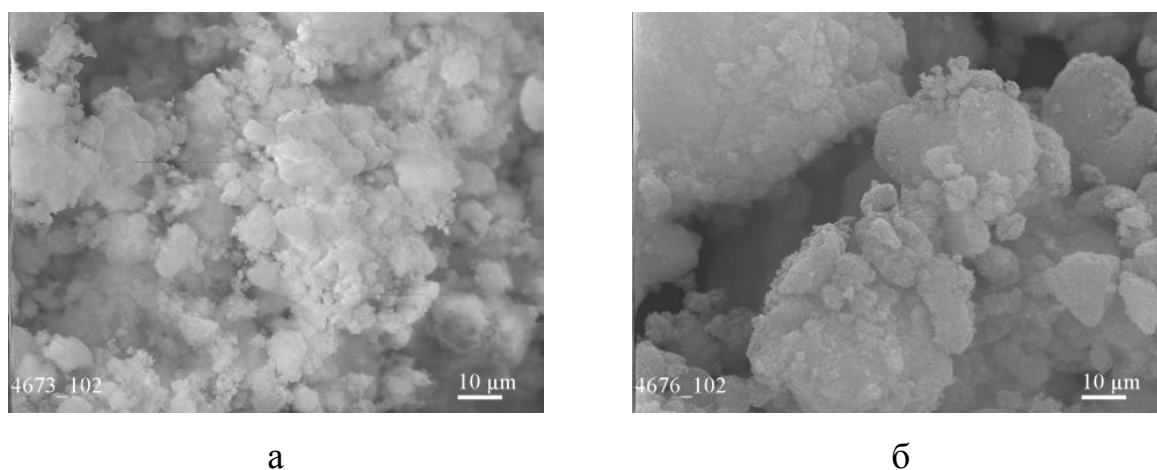
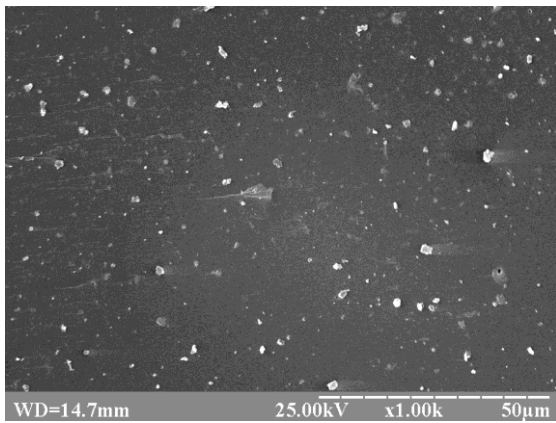


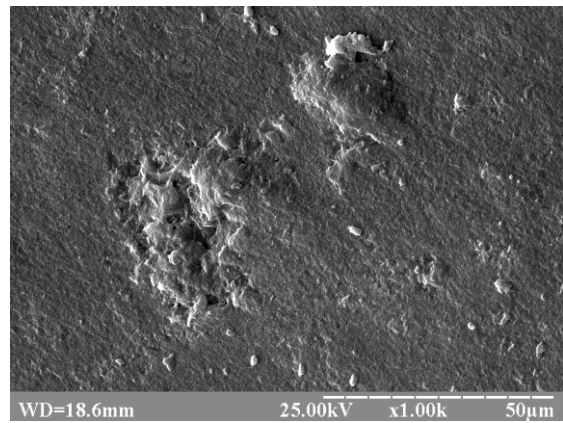
Рисунок 1.13 - Мікрофотографії агрегатів діоксидів кремнію марок:

а – біла сажа; б – аеросил

При використанні аеросилу і білої сажі в якості наповнювачів для створення полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення в процесі переробки не вдається подрібнити їх до елементарних частинок. Мінімально подрібнений розмір наповнювача у процесі отримання полімерної композиції та її переробки у виробі для агломератів діоксидів кремнію марок «біла сажа» і «аеросил» складає 10,20 мкм (рисунок 1.14).



а



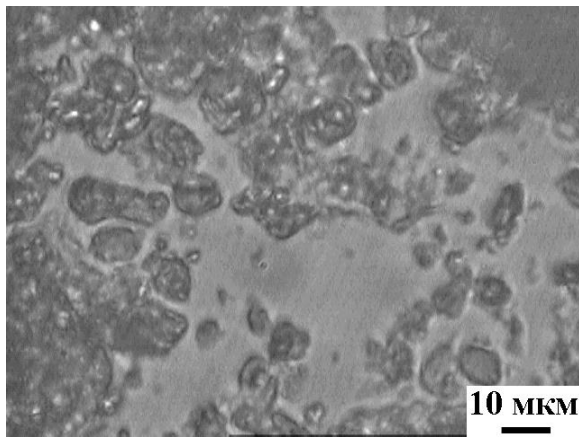
б

Рисунок 1.14 - Мікрофотографії поверхні сколу ненаповненого полімеру (а) та полімерного композиційного матеріалу з діоксидом кремнію марки «біла сажа» (б)

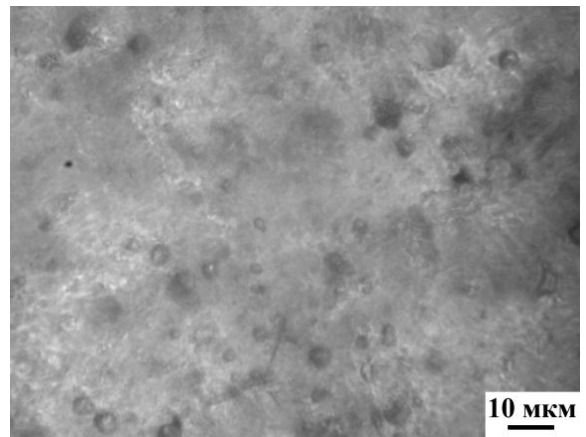
Слід враховувати, що агломерати діоксидів кремнію марок «біла сажа» та «аеросил» у складі полімерної матриці є структурами, що легко руйнуються при дії навантажень і тому значного підсилювального ефекту від їх використання в якості наповнювача полімерних матриць отримати не вдається.

Діоксид кремнію марки «силікагель» у вихідному вигляді не використовується в якості наповнювача для полімерів внаслідок того, що його промислові види мають розміри частинок у десятки мм. Тому силікагель попередньо подрібнювали, досягаючи при цьому середніх розмірів в інтервалі від 5–10 мкм (рисунок 15, а).

Подрібнений силікагель у вихідному вигляді також агломерується, як біла сажа і аеросил, однак при переробці разом із полімером у виробі практично всі його агломерати руйнуються (рисунок 1.15, б). Тому використання діоксиду кремнію силікагелю в якості наповнювача полімерних матриць триботехнічного призначення є найбільш доцільним з усіх розглянутих синтетичних діоксидів кремнію.



а



б

Рисунок 1.15 - Мікрофотографії частинок подрібненого силікагелю (а) та поверхні сколу полімерного композиційного матеріалу в склад якого входить цей наповнювач (б)

І з урахуванням його спроможності до фізичної та хімічної взаємодії з полімерною матрицею можна зробити висновок, що діоксид кремнію марки силікагель є найбільш оптимальним наповнювачем для створення полімерних композиційних матеріалів з високим рівнем термічної стабільності з усіх розглянутих дисперсних матеріалів.

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Характеристики вихідних матеріалів

В якості полімерних матриць для перспективних термостійких ПКМ вибрано наступні полімери: ароматичний поліамід та фторполімер.

Ароматичний поліамід взяли марки фенілон С1, який є продуктом, що виробляє Володимирського науково-дослідного інституту синтетичних смол. Цей полімер у вихідному вигляді являє собою прес-матеріал рожево-білого кольору з насипною щільністю $0,2-0,4 \text{ г/см}^3$, який відповідає вимогам ТУ 6-05-221-101-71. Відповідно до проведених мікроскопічних досліджень та побудові за їх результатами гістограми розподілення за розмірами частинок фенілону С1 (рисунок 2.1) встановлено, що найбільша кількість частинок полімеру (59 %) припадає на інтервал розмірів від 20 до 40 мкм. Тобто можна стверджувати, що основним розміром частинок прес-порошку фенілону С1 є 20–40 мкм.

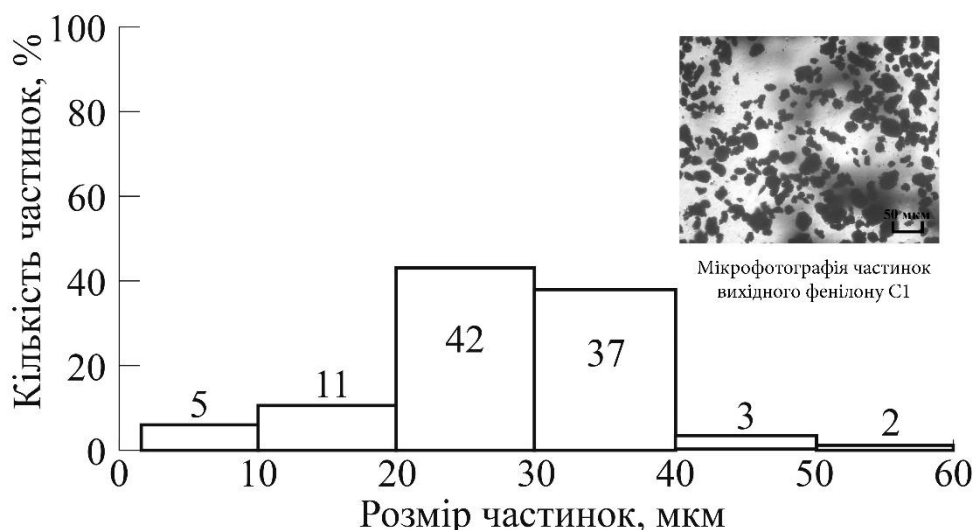


Рисунок 2.1 - Гістограма розподілу за розмірами частинок фенілону С1

В якості фторполімеру використовували полімер марки фторопласт-4 виробництва ТОВ «Гало-Полімер-Кірово-Чепецьк» (Кірово-Чепецьк). Цей полімер у вихідному вигляді являє собою прес-матеріал біло-блакитного

кольору з насипною щільністю $0,35-0,50 \text{ г/см}^3$, який відповідає вимогам ГОСТ 1000780.

Відповідно до проведених мікроскопічних досліджень та побудові за їх результатами гістограми розподілення за розмірами частинок фторопласту-4 (рисунок 2.2) встановлено, що найбільша кількість частинок полімеру (85 %) припадає на інтервал розмірів від 30 до 60 мкм. Тобто можна стверджувати, що основним розміром частинок прес-порошку фторопласту-4 є 30–60 мкм.

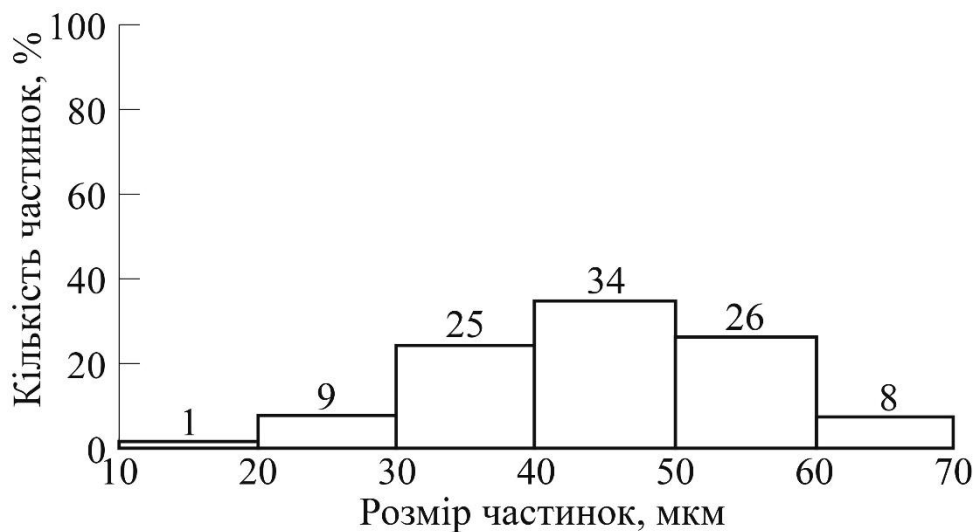


Рисунок 2.2. - Гістограма розподілу частинок фторопласту-4 за розмірами

В якості наповнювача використано аморфний діоксид кремнію марки силікагель з високим ступенем хімічної чистоти, отриманий у лабораторії полімерних матеріалів та нанокомпозитів кафедри інноваційної інженерії ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро).

Отриманий наповнювач має близьку до сферичної форму. Для визначення основного розміру синтезованого силікагелю використано гістограму розподілу частинок за розмірами, отриману за допомогою мікрофотографій (рисунок 2.3).

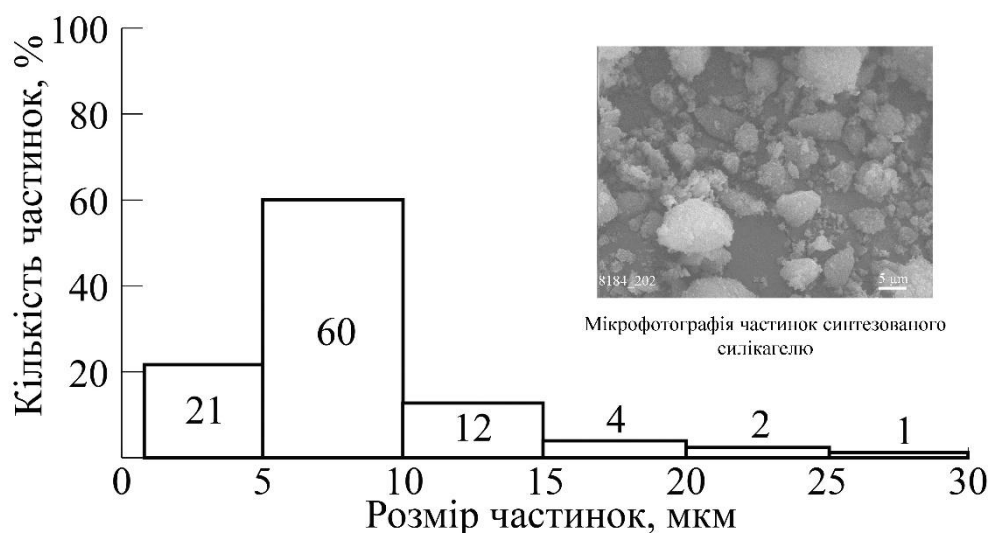


Рисунок 2.3 - Гістограма розподілу частинок синтезованого силікагелю за розмірами

З отриманих гістограми визначено, що найбільша кількість частинок (60 %) припадає на інтервал розмірів від 5 до 10 мкм. Тобто основний розмір частинок силікагелю лежить в інтервалі 5–10 мкм.

Мікроскопічні дослідження поверхні силікагелю засвідчили, що отриманий наповнювач має досить добре розвинену поверхню (рисунок 2.4), яка сприяє фізичній адсорбції полімеру при їх переробці у виробі.

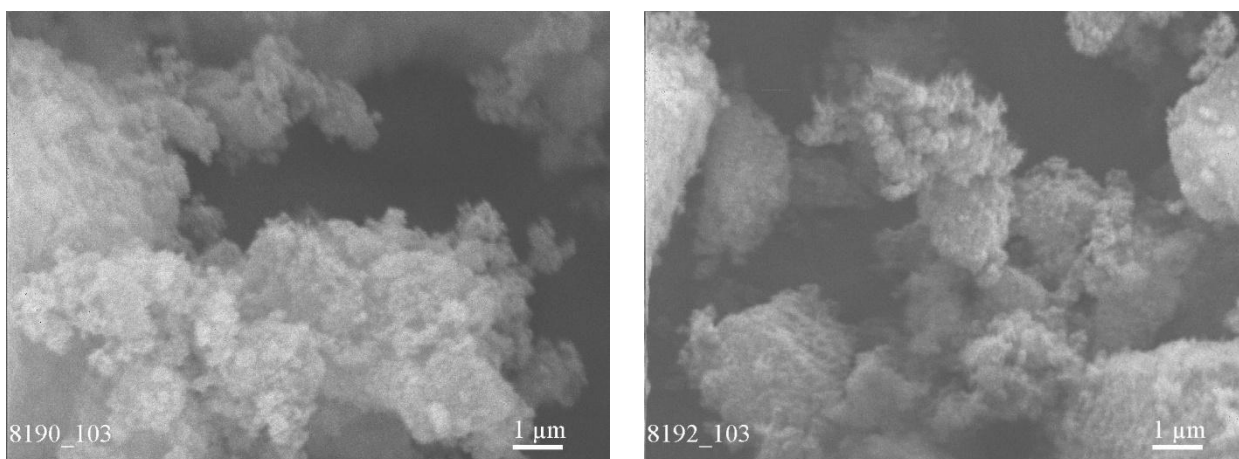


Рисунок 2.4 – Мікрофотографії поверхонь частинок силікагелю

2.2 Технології переробки та обладнання для отримання ПКМ на основі прес-порошків фенілону С1 та фторопласту-4

Відповідно до стандартної технології переробка ароматичного поліаміду та фтор полімеру і ПКМ на їх основі у виробі відбувається у 3 етапи (підготовчий, основний, завершальний). На підготовчому етапі відбувається створення полімерної композиції, її брикетування, сушіння тощо. На основному етапі переробки відбувається безпосередньо переробка брикетів з отриманих ПКМ, яка полягає в їх підсушуванні, при необхідності, компресійне чи литтєве пресування, спікання тощо. На завершальному етапі відбувається доведення отриманих заготовок із розроблених ПКМ до необхідних розмірів та зовнішнього вигляду. У більшості випадків це відбувається за рахунок механічної обробки їх поверхонь.

2.3. Методи досліджень вихідних матеріалів та ПКМ на їх основі

Мікрометричні знімки частинок полімерів, наповнювача, сколів розроблених ПКМ на їх основі, поверхонь тертя отримано за допомогою електронного (Superprobe-733 (Jeol)) та оптичного (МБС-9) мікроскопів, оснащених камерами для електронних мікрофотографій.

Коефіцієнт тертя та інтенсивність лінійного зношування при фрикційній взаємодії розроблених полімерів і ПКМ на їх основі зі сталлю визначено на машині 2070 СМТ-1 при режимі тертя без та зі змащуванням за схемою диск-колодочка. Використано сталевий зразок зі сталі 45 з шорсткістю $R_a = 0,32$ мкм і твердістю 45-50 НРС. Температуру на поверхні тертя визначено за допомогою хромель-алюмелевої термопари, з'єднаної з вимірювальним приладом MASTECHMS6514. Трибологічні дослідження розроблених матеріалів при терті у різних середовищах проведено в спеціальній напіввідкритій камері. Змащування відбувалося за рахунок занурення сталевого зразка у середовище, в якому проведено дослідження,

при обертанні якого відбувається його потрапляння в зону тертя. Тертя і зношування при дії різного рівня температур на розроблені матеріали досліджено у спеціальній термічній камері з омичним підігрівом, температура в якій регулюється і підтримується за допомогою системи автоматики.

2.4 .Обробка результатів експериментів

Для отримання достовірних результатів дослідження (з заданим ступенем ймовірності) проведено статистичну обробку отриманих результатів експериментів.

Перевірку відтворення експериментів та визначення необхідної кількості паралельних дослідів проведено за допомогою знаходження критеріїв Кохрена за наступною методикою:

– для кожної серії паралельних дослідів підраховано середнє арифметичне значення функції відгуку:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k y_{ji} \quad (2.2)$$

де k – число паралельних дослідів, проведених при однакових умовах.

- підраховано оцінку дисперсії для кожної серії паралельних дослідів:

$$s_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (y_{ji} - \bar{y}_j) \quad (2.3)$$

- для перевірки відтворюваності досліджень знайдено відношення найбільшої з оцінок дисперсії до суми всіх оцінок дисперсії (розрахунковий критерій Кохрена):

$$G_p = \frac{\max(s_j^2)}{\sum_{j=1}^N s_j^2} \quad (2.4)$$

Теоретичні значення критерію Кохрена (G) узято з довідникової літератури при довірливій вірогідності $P_0 = 0,95$, з якою і приймається гіпотеза про відтворення дослідів.

Досліди вважаємо відтворюваними, а оцінки дисперсії – однорідними при умові $G_p \leq G$. При невиконанні цієї умови проведено додаткові дослідження з усуненням джерел їх нестабільності.

Планування експериментів та отримання рівнянь регресії, які описують експериментальні дослідження, проведено за допомогою системи автоматичного проектування MathCAD. При цьому використано регресійний аналіз. Приклад такої програми для обчислення подано в додатку Б.

Межі довірливого інтервалу результатів досліджень знайдено з допомогою значень коефіцієнта Стюдента, задаючись довірливою вірогідністю ($P_0 = 0,95$) за наступною формулою:

$$\Delta X = \frac{t_s \cdot s}{\sqrt{k}}, \quad (2.5)$$

де t_s – критерій Стюдента;

s – середня квадратична похибка дослідження;

k – кількість паралельних дослідів.

2.5. Вплив складів та технології отримання ПКМ на показники тертя та зношування при фрикційній взаємодії із сталлю

Для створення полімерних композиційних матеріалів трибо логічного призначення було отримано матеріали на основі ароматичного поліаміду фенілону С1 та фторопласту-4, які наповнені дисперсним силікагелем та отримані за стандартною методикою та з використанням суміщення (in situ) вихідних компонентів полімерних композицій. Зважаючи на те, що в роботі розробляються матеріали для вузлів тертя машин і механізмів необхідно

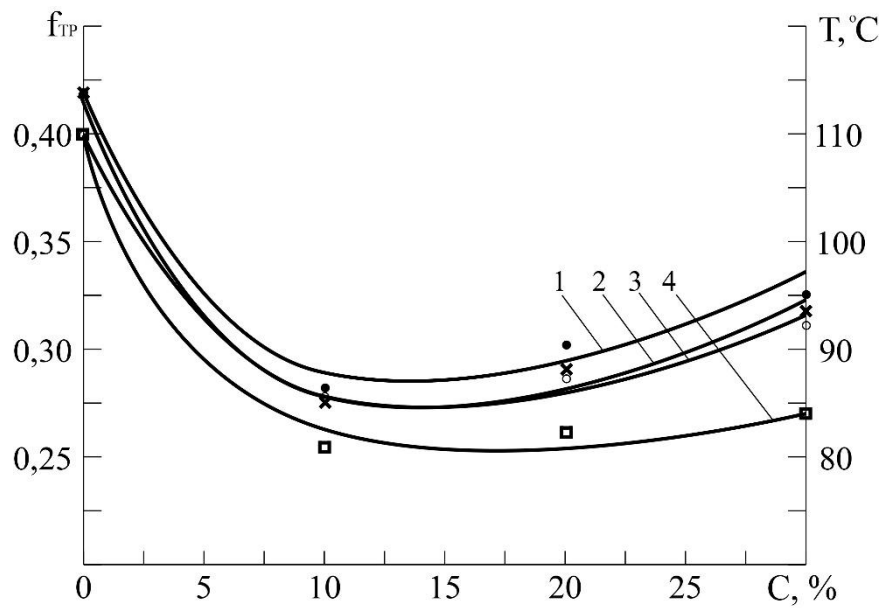
провести дослідження впливу складів та технології отримання полімерних композиційних матеріалів на їхні трибологічні властивості при фрикційній взаємодії зі сталлю. Така пара тертя полімер-сталь вибрана завдяки тому, що у посівних комплексах в механізмі копіювання відбувається саме фрикційна взаємодія сталь по сталі. Відповідно до попередніх досліджень вміст силікагелю у полімерному композиційному матеріалі варіювався в інтервалі від 0 до 30 %. До основних трибологічних властивостей пари тертя полімер-сталь слід віднести коефіцієнт тертя, температуру на поверхні тертя та інтенсивність лінійного зношування матеріалів пари тертя.

Дослідження трибологічних властивостей полімерних композиційних матеріалів проведено після притирання пар тертя полімер-сталь. При цьому характеристики пар тертя отримували при нормальному режимі роботи (режим роботи, який настає після притирання).

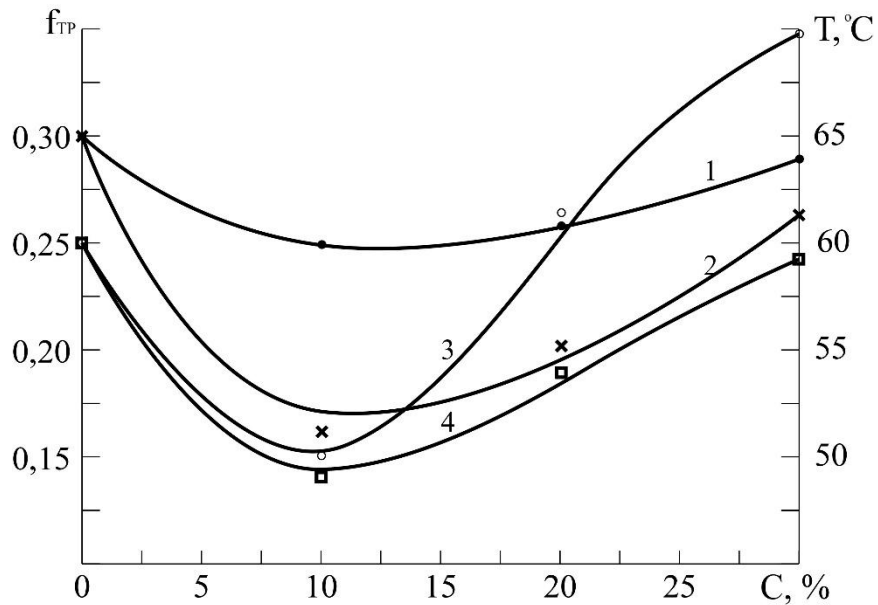
На рисунку 2.5 подано результати досліджень зміни коефіцієнта тертя та температури на поверхні тертя при фрикційній взаємодії матеріалів на основі фенілону С1 та фторопласту-4 зі сталлю від вмісту силікагелю у полімерних композиційних матеріалів, отриманих за стандартною технологією та з використанням суміщення (*in situ*) вихідних компонентів полімерних композицій.

Відповідно до досліджень встановлено, що залежності коефіцієнта тертя та температури на поверхні тертя у парах тертя полімерний композит – сталь від вмісту силікагелю у полімерній матриці мають подібний характер для всіх досліджених матеріалів.

Слід відзначити, що отримані залежності для полімерних композиційних матеріалів, створених за різними технологіями (стандартна та з використанням суміщення (*in situ*)) також мають подібний характер. Слід відмітити, що на всіх отриманих залежностях спостерігається екстремум при вмісті силікагелю у полімері в області 10 %.



а



б

Рисунок 2.5 – Залежності зміни коефіцієнта тертя f_{TP} (1,2) та температури на поверхні тертя T (3,4) при фрикційній взаємодії матеріалів на основі фенілону С1 (а) та фторопласту-4 (б) зі сталлю від умісту C силікагелю у полімерних композиційних матеріалах, отриманих за стандартною технологією (1,3) та з використанням суміщення (in situ) вихідних компонентів полімерних композицій (2, 4)

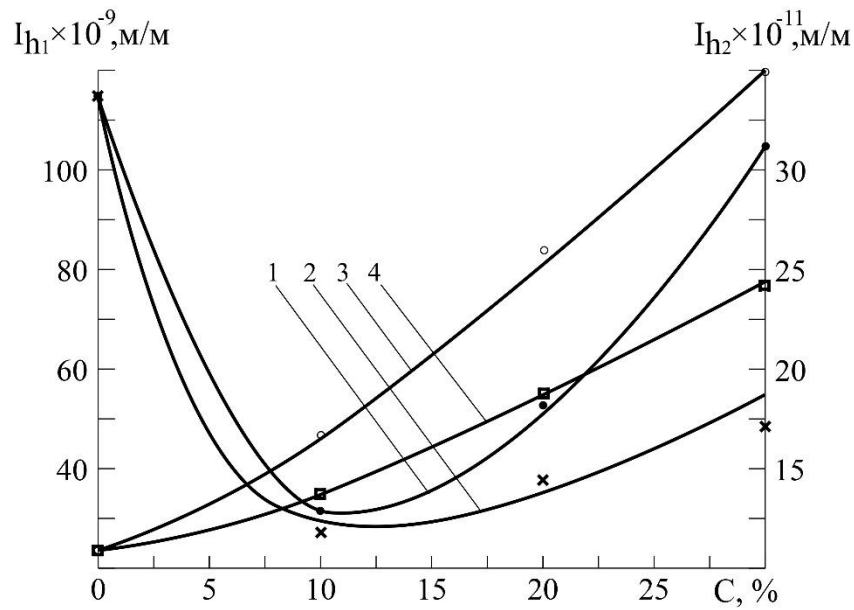
У всіх матеріалах, отриманих за стандартною методикою при вмісті наповнювача від 0 до 10 % спостерігається зменшення значень коефіцієнта тертя для матеріалів на основі фенілону С1 з 0,43 до 0,29, для матеріалів на основі фторопласту-4 з 0,3 до 0,25. Зі збільшенням вмісту силікагелю з 10 до 30 % спостерігається його повільне збільшення для матеріалів на основі фенілону С1 з 0,29 до 0,34, для матеріалів на основі фторопласту-4 з 0,25 до 0,29. Значення температури на поверхні тертя дослідженої пари тертя корелює із значеннями коефіцієнта тертя внаслідок того, що збільшення температури викликано саме фрикційним розігрівом вузла тертя, який виникає при вивільненні енергії при терті полімерних композиційних матеріалів. Так, при вмісті наповнювача менше 10 % спостерігається зниження температури на поверхні тертя з 110 до 86 для полімерних композиційних матеріалів на основі фенілону С1 та з 60 до 53 для матеріалів на основі фторопласту-4.

У полімерних композиційних матеріалів, отриманих за допомогою суміщення (*in situ*), при вмісті наповнювача від 0 до 10% спостерігається зменшення коефіцієнта тертя для матеріалів, а основі фенілону С1 з 0,43 до 0,27, для композитів на основі фторопласту-4 з 0,3 до 0,17. Подальше збільшення коефіцієнта тертя для композитів на основі фенілону С1 та фторопласту-4 до 0,33 та 0,25 відповідно, спостерігається при збільшенні вмісту силікагелю у полімерних матрицях до 30%. Мінімальні значення температури на поверхні тертя спостерігаються при 10% вмісті силікагелю і складають для полімерних композиційних матеріалів на основі фенілону С1 82°C, для матеріалів на основі фторопласту-4 - 48°C. Це пояснюється мінімальними значеннями сил тертя у вузлах тертя полімерний композиційний матеріал – сталь, при 10 % вмісту наповнювача у полімерах. Максимальні значення спостерігаються при терті полімерного композиційного матеріалу з вмістом силікагелю 30 % і складають для матеріалів на основі фенілону С1 – 84°C, а для композитів на основі фторопласту-4 – 58°C.

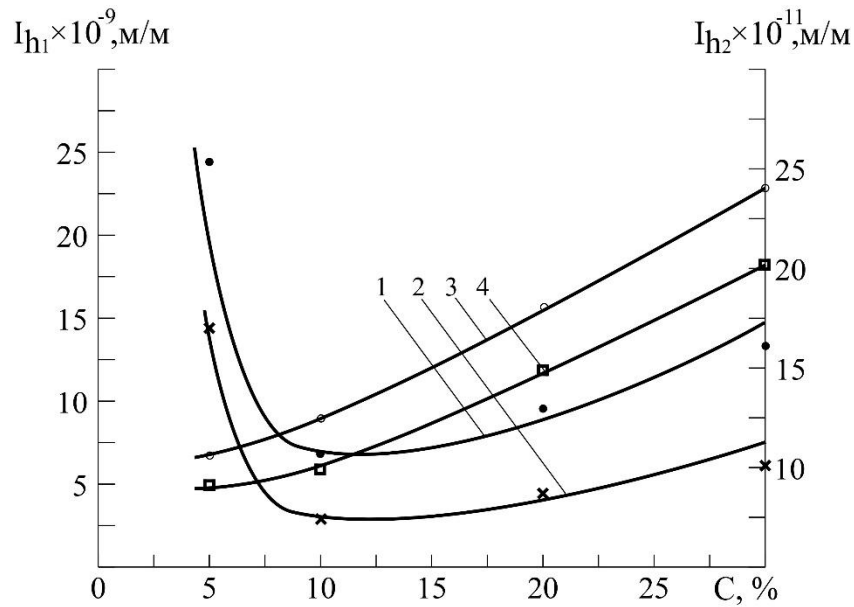
Відповідно до проведених досліджень слід відзначити, що матеріали, отримані за допомогою (in-situ) суміщення, мають значно менші значення коефіцієнта тертя та температури на поверхні тертя впродовж усього дослідженого інтервалу концентрацій наповнювача у фенілоні С1 та фторопласті-4, порівняно із полімерними композиційними матеріалами, отриманими за стандартною методикою. Це можна пояснити різницею в морфології та структурі розроблених полімерних композиційних матеріалів, отриманих за різними технологіями. Так, у попередніх дослідженнях показано, що полімерні композиційні матеріали, отримані за суміщенням (in situ), мають більші значення ступені кристалічності, ніж отримані за стандартною методикою. З літературних джерел відомо, що матеріали з більш упорядкованою структурою мають кращі трибологічні властивості. Встановлено, що силікагель у полімерних композиційних матеріалів, отриманих за (in-situ) суміщенням, має частково ламілярно-стрічкову структуру на відміну від звичайної сферичної для силікагелю у полімерах, отриманих за стандартною технологією. А відповідно до теорій тертя, наповнювачі з ламілярною структурою набагато ефективніше покращують трибо логічні властивості полімерних композиційних матеріалів при їх фрикційній взаємодії зі сталлю.

Одним із основних трибологічних характеристик пар тертя є їх зношування. У більшості випадків зношування визначається за величиною інтенсивності лінійного зношування, яка враховує як зміну геометричних параметрів матеріалів, що труться, так і їх природу (густину). Результати досліджень зміни інтенсивності лінійного зношування полімерних композиційних матеріалів та сталі при їх фрикційній взаємодії від вмісту силікагелю у полімерних композитах представлено на рисунок 2.6.

Відповідно до проведених досліджень встановлено, що характер залежностей інтенсивності лінійного зношування полімерних композиційних матеріалів на основі фенілону С1 та фторопласту-4 у парах тертя полімерний композит – сталь від вмісту силікагелю у полімерних матрицях - подібний.



а



б

Рисунок 2.6 - Залежності зміни інтенсивності лінійного зношування I_{h1} (1,2) полімерних композиційних матеріалів на основі фенілону С1 (а), фторопласту-4 (б) та сталевого зразка I_{h2} (3,4) при їх фрикційній взаємодії від умісту (С) силікагелю у ПКМ, отриманих за стандартною технологією (1,3) та з використанням суміщення (in situ) вихідних компонентів полімерних композицій (2,4)

На них спостерігається яскраво виражений екстремум в області вмісту наповнювача 10%. Із збільшенням вмісту наповнювача з 1 до 9 % у полімерних матрицях спостерігається зменшення інтенсивності лінійного зношування досліджуваних матеріалів.

Так, для полімерних композиційних матеріалів на основі фенілону С1 це зменшення склало від 117×10^{-9} м/м для вихідного полімеру до 25×10^{-9} м/м для полімерних композитів з умістом наповнювача 10 %, а для полімерних композиційних матеріалів на основі фторопласту-4 – від 240×10^{-9} м/м, для вихідного фторопласту-4 до 7×10^{-9} м/м для полімерних композитів із 10% вмістом наповнювача.

Подальше збільшення вмісту силікагелю до 30% для розроблених полімерних композиційних матеріалів спостерігається збільшення інтенсивності лінійного зношування для матеріалів на основі ароматичного поіаміду до 100×10^{-9} м/м та для матеріалів на основі фторполімеру до 15×10^{-9} м/м.

Такий характер залежності інтенсивності лінійного зношування від вмісту силікагелю у полімерних композиційних матеріалах при їх фрикційній взаємодії зі сталлю пояснюється створенням оптимальних умов тертя при вмісті наповнювача 10%. При цьому вплив на характер тертя при фрикційній взаємодії полімерним композиційним матеріалом зі сталлю найкращий, що може бути наслідком як створення антифрикційної плівки на сталевій поверхні тертя, так і зміни міцнісних характеристик полімерних композиційних матеріалів у досліджених парах тертя.

Матеріали, отримані за допомогою суміщення (in situ), мають значно кращу інтенсивність лінійного зношування, ніж отримані за стандартною технологією, що дозволяє стверджувати про їх кращу зносостійкість. Так, при оптимальному вмісті силікагелю (10 %) у полімерних композитах, отриманих за допомогою суміщення (in situ). У полімерних композиційних матеріалах на основі фенілону С1 цей параметр на 25 %, а у полімерних композитах, отриманих на основі фторопласту-4, на 60 % має кращі

значення, ніж у полімерних композитів, отриманих за стандартною технологією. Це пояснюється різницею у структурі отриманих матеріалів та морфології наповнювача в них при отриманні за допомогою суміщення (*in situ*) та стандартної технології.

Досить важливою властивістю при фрикційній взаємодії полімерних композитів зі сталлю є інтенсивність лінійного зношування сталю зразка. Це пов'язано з тим, що у більшості пар тертя деталі зі сталі є значно дорожчими, ніж полімерні (наприклад, у підшипниках ковзання сталева деталь – вал, а полімерна - втулка; у напрямних сталева деталь - корпус, а полімерна – напрямна і т.д.) і вони не повинні підлягати інтенсивному зношуванню щоб уникнути їх частої заміни. Відомо, що дисперсні тверді наповнювачі можуть оказувати абразивну дію на сталеві деталі пар тертя, що значно зменшує їх термін служби. Однак у деяких дослідженнях доведено, що наповнювачі з розміром частинок до 10 мкм не оказують суттєву абразивну дію на сталевий зразок і можуть бути використані у вузлах тертя. У даній роботі синтезований наповнювач силікагель має основні розміри, які лежать в області 5–10 мкм, що дозволяє використовувати його в якості наповнювача для полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення. Доцільно дослідити вплив вмісту силікагелю в ПКМ, отриманих за стандартною технологією та за допомогою суміщення (*in situ*), на інтенсивність лінійного зношування сталю зразка при фрикційній взаємодії полімерний композит – сталь. Результати досліджень подано на рисунку 1.21

Відповідно до проведених досліджень встановлено, що зі збільшенням вмісту наповнювача силікагелю у фенілоні С1 та фторопласті-4 спостерігається збільшення інтенсивності лінійного зношування сталю зразка при фрикційній взаємодії розроблених полімерних композиційних матеріалів із сталлю. Слід відзначити, що це зношування має невеликі розміри і при максимальному вмісту наповнювача силікагелю складає для матеріалів на основі фенілону С1 - 35×10^{-11} м/м, а для полімерних

композиційних матеріалів на основі фторопласту-4 - 25×10^{-11} м/м. У загальному випадку збільшення інтенсивності лінійного зношування сталевого зразка пов'язано із абразивною дією дисперсного наповнювача силікагелю на нього. Слід зазначити нелінійний характер збільшення даної характеристики. Інтенсивність лінійного зношування сталевого зразка при фрикційній взаємодії із полімерними композиційними матеріалами з умістом наповнювача до 10 % значно менша, ніж при терті з матеріалами з вмістом наповнювача 10–30 %, що, мабуть, пов'язано із зміною характеру тертя у досліджених матеріалах при збільшенні вмісту силікагелю у них. Також слід відзначити, що зношування сталевого зразка при фрикційній взаємодії із композитами, отриманими за допомогою суміщення (*in situ*), має значно менші значення, ніж при взаємодії з матеріалами, отриманими за стандартною методикою. Так, при фрикційній взаємодії полімерних композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду та фторполімеру, отриманих за допомогою суміщення (*in situ*), інтенсивність лінійного зношування сталевого зразка на 30–60 % (залежно від вмісту силікагелю у полімерах) менша, ніж для матеріалів, отриманих за стандартною методикою. Це пояснюється зміною у морфології частинок силікагелю з сфероподібної для полімерних композитів, отриманих стандартною технологією на ламілярно-стрічкові структуру для матеріалів, отриманих за допомогою суміщення (*in situ*) вихідних компонентів полімерних композицій. Відомо, що частинки з ламілярно-стрічковою структурою виявляють значно меншу абразивну дію на сталеві зразки, ніж з сфероподібною.

2.6. Рекомендації щодо застосування виробів з термостійких ПКМ у конструкційних та трибологічних вузлах машин і механізмів

Сучасна промисловість орієнтована на випуск великої кількості продукції з цим пов'язано використання значної кількості машин і

механізмів, що складаються з конструкційних вузлів, на які діють високі та низькі температури, статичні та динамічні напруження тощо [50]. Такі стандартні конструкційні матеріали, як метали та їх сплави, що використовуються у вузлах машин і механізмів, витримують всі зовнішні дії на них, однак мають низку недоліків: невисока корозійна стійкість, високі значення густини та досить високовартісна технологія отримання деталей з них [51]. Тому актуальним завданням є розробка нових конструкційних матеріалів, які поряд із високим рівнем теплофізичних та фізико-механічних властивостей не мають недоліків стандартних конструкційних матеріалів, таких, як метали та їх сплави.

У роботі запропоновано використовувати полімерні композиційні матеріали трибологічного призначення на основі фенілону С1 та фторопласту-4, що наповнені силікагелем й отримані за стандартною методикою та за допомогою суміщення (*in situ*) вихідних компонентів полімерних композицій. Використання силікагелю в якості наповнювача та розробка технології суміщення (*in situ*) вихідних компонентів полімерних композиційних матеріалів дозволило покращити рівень міцнісних та теплофізичних властивостей розроблених матеріалів. Властивості цих матеріалів приведені у таблиці 2.1.

Відповідно до поданих даних можна зробити висновок, що за своїми теплофізичними властивостями розроблені полімерні композиційні матеріали є одними з найбільш термостійких з усіх відомих полімерів та матеріалів, що випускаються промисловістю.

Вироби з таких матеріалів можуть зберігати високий рівень надійності та довговічності працювати при температурах до 300°C та не втрачати свої експлуатаційні характеристики до температури 240°C.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця фізико-механічних і теплофізичних властивостей розроблених полімерних композиційних матеріалів із закордонними аналогами, сталями та металевими сплавами [52-57]

Властивості	Показники властивостей					
	Розроблені ПКМ на основі		Вугл. сталі	Баббити, бронзи	Аналоги	
	феніло-ну С1	фтороплас-ту 4			Noryl GTX	Torlon, Duraton T
Температура розм'якш.за методом Віка $T_{ВК}, ^\circ\text{C}$	290-330	210-300	Більше 1000	300-440 (темп. плавл)	190-220	270-280
Температура початку активної деструкції, $^\circ\text{C}$	355-380	465-480	-	-	-	-
КТЛР $\alpha \times 10^{-7}, 1/^\circ\text{C}$	310-330	320-500	100-120	150-220	600-800	250-300
Густина $\rho, \text{кг/м}^3$	1375-1575	1950-2000	7700-7900	7000-9000	1050-1210	1350-1450
Напруження при межі текучості при стисканні $\sigma_y, \text{МПа}$	260-280	20-35	210-260	50-120	60-90	160-180
Модуль пружності при стисканні $E, \text{МПа}$	3450-3600	1250-2000	20000	10000	2000-5000	4500-5000
Твердість НВ, МПа	200-250	50-67	190-250		-	-

За міцнісними властивостями розроблені полімерні композити перевищують такі конструкційні матеріали, як бронза і бабіти, та наближаються до вуглецевих сталей. Причому значення їх густини декілька разів менші, ніж у найбільш поширених конструкційних матеріалів (металів та їх сплавів), що значно зменшує вагу деталей з них та дозволяє використання в судо-, літако- та ракетобудуванні. Деталі з розроблених полімерних композиційних матеріалів можуть працювати при статичних та динамічних навантаженнях до 260 МПа і забезпечувати при цьому надійну та довговічну роботу вузлів, в яких вони працюють.

Тобто матеріали на основі фенілону С1 та фторопласту-4, які наповнені силікагелем, можна рекомендувати до використання у вузлах машин та механізмів, що працюють при високому рівні температур та здатні витримувати високий рівень навантажень.

До найбільш ненадійних та недовговічних вузлами машин і механізмів є вузли тертя. Відомо, що до 70–80 % відмов у вузлах машин і механізмів пов'язані саме з цими вузлами [58]. Тому створення матеріалів для вузлів тертя з високим рівнем трибологічних властивостей є актуальним завданням.

Проведені трибологічні дослідження розроблених полімерних композитів встановили, що введення силікагелю у термостійкі полімери сприяє покращенню трибологічних властивостей у порівнянні з ненаповненими полімерними матрицями. Однак не для всіх вузлів тертя цього буде достатньо і для ще більшого їх покращення до складу розроблених полімерних композиційних матеріалів необхідно вводити традиційні антифрикційні наповнювачі. До найбільш поширених належать вуглецеві матеріали, дисульфід молібдену, нітрид бору, каолін тощо.

З усіх цих наповнювачів найкращим за співвідношенням ціна-якість є матеріали на основі вуглецю. Причому для цього використовуються вуглецеві матеріали різної природи та морфології, які є дисперсними (технічний вуглець, графіт, фулерен) та волокнистими (вуглецеве волокно) матеріалами.

Відомі полімерні композити триботехнічного призначення, наповнені технічним вуглецем, які мають невисокі значення коефіцієнта тертя до $0,21 \div 0,22$ та зношування до 15×10^{-9} м/м. Досить поширеним в якості антифрикційного наповнювача є графіт. Причому завдяки своїй шаруватій структурі графіт виступає у ролі змащувального матеріалу (сухого) і дозволяє зменшити коефіцієнт тертя полімерних композиційних матеріалів до 0,1 та зношування до $2,5 \times 10^{-9}$ м/м при режимі тертя без змащування. У сучасній трибології для покращення трибологічних властивостей полімерних матеріалів використовуються фулерени, нанотрубки, графен,

однак до їх недоліків слід віднести досить високу вартість, що не дозволяє їх використовувати масово. Вуглецеві волокна в якості наповнювачів також дозволяють покращити трибологічні властивості полімерних композитів, однак їх досить висока ціна не дозволяє досить часто використовувати такі матеріали в якості антифрикційних наповнювачів. Тому для наповнення розроблених полімерних композиційних матеріалів в якості наповнювача, що покращує трибологічні властивості було вибрано технічний вуглець і графіт.

Сучасна промисловість України випускає досить широкий спектр марок технічного вуглецю та графіту. Тому доцільно вибрати саме ту, яка найкраще вплине на значення трибологічних властивостей вибраних полімерних матриць.

В якості технічного вуглецю вибрано матеріали наступних марок: N220, N550, N650, вироблені на ВАТ «Кременчуцький завод технічного вуглецю». У вихідному вигляді він являє собою дисперсні частинки темного кольору з розмірами 0,5–2 мм. Відомо, що використовувати наповнювачі з такими розмірами частинок не дозволяє отримати полімерні композити з високим рівнем міцнісних властивостей, тому промислові марки технічного вуглецю були подрібнені на механічному швидкохідному млині. При цьому отримали наступний основний розмір 7–10 мкм.

За результатами досліджень [59] встановлено, що оптимальним вмістом технічного вуглецю у фенілоні С1 та фторопласті-4 є 15 %. Тому подальші дослідження з визначення марки технічного вуглецю, яка найбільше покращує трибологічні властивості розроблених полімерних композиційних матеріалів проведено з використанням матеріалу з 15 % вмістом технічного вуглецю. Їх результати подано на рисунку 2.7.

У результаті досліджень встановлено, що найвищий рівень трибологічних властивостей при терті по сталі має композит, наповнений подрібненим технічним вуглецем марки N220. Коефіцієнт тертя й інтенсивність лінійного зношування цього композиту відповідно на 35–50

та 15–25 % мають менші значення, ніж для композитів, наповнених технічним вуглецем марок N550 та N650.

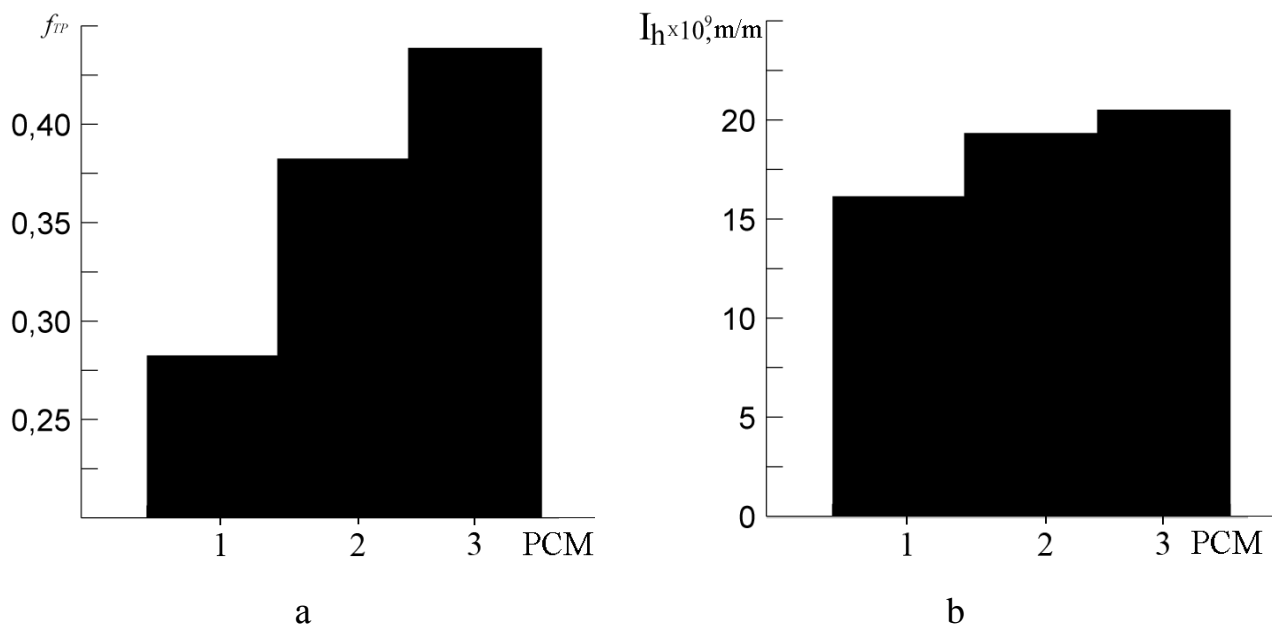


Рисунок 2.7 - Значення коефіцієнта тертя f_{TP} (а) та інтенсивності лінійного зношування I_h (б) композиту 85 % фенілон С1 + 15 % подрібнений технічний вуглець марок: 1 – N220; 2 – N550; 3 – N660

Це явище пояснюється кращою взаємодією молекул досліджених полімерних матриць з подрібненим технічним вуглецем марки N220 за рахунок його більшої питомої поверхні та меншого розміру частинок, порівняно із наповнювачами марок N550 та N650. Відомо, що ті наповнювачі, які мають кращу розвинену поверхню грають роль адсорбентів, на поверхні яких створюються високоорієнтовані шари полімерів, що сприяють покращенню механічної міцності і відповідно зносостійкості полімерних композиційних матеріалів при терті. При всіх однакових характеристиках наповнювачі з більш розвиненою поверхнею мають кращий підсилювальний ефект на полімерний композит, ніж з менш розвиненою.

Уведення графіту у розроблені полімерні композиційні матеріали також дозволяє значно покращити рівень їх трибологічних властивостей. Відомо, що найкращий рівень трибологічних властивостей мають полімерні

композити на основі фенілону С1 і фторопласту-4, наповнені 15–20 % графіту.

Сучасна промисловість випускає велику кількість марок графітів, тому доцільно визначити ту марку, уведення якої дозволить максимально покращити рівень трибологічних властивостей розроблених полімерних композитів.

В якості таких наповнювачів було вибрано графіти різних модифікацій: графіт ГЛ–1(ГОСТ 5279-74) та С–1 (ТУ У26.8-05394618-018-2003) виробництва ВАТ «Маріупольський графітовий комбінат» та марки GRMC–2 виробництва «Glorious resources CO., Limited». Ці наповнювачі являють собою дрібнодисперсні порошки темно-сірого, близького до металевому кольору. Основні їх характеристики подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики графітів марок ГЛ–1, С–1 та GRMC–2

Найменування показника	Марка графіту		
	ГЛ–1	С–1	GRMC – 2
Зольність, %, не більше	13	0,5	13
Вагова частка вологи, %, не більше	1,0	0,5	1,0
Масова частка залишку, %, не більше, на ситі з сіткою, №:			
016	40	не нормується	-
100	-	не нормується	20

Для встановлення впливу марки графіту на рівень трибологічних властивостей полімерних композитів з оптимальним вмістом наповнювача (10 % ваг.) було проведено дослідження їх тертя та зношування при терті із сталлю (рисунок 2.8).

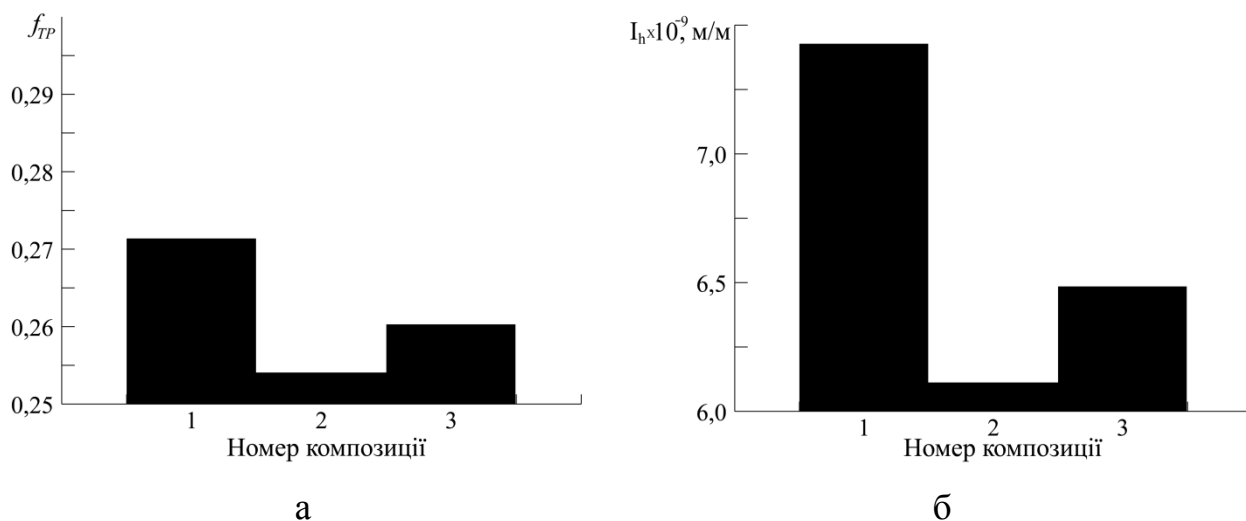


Рисунок 2.8 - Значення коефіцієнта тертя f_{TP} (а) та інтенсивності лінійного зношування I_h (б) композиту 85 % фенольна смола + 10 % графіт марок: 1 – ГЛ–1; 2 – С–1; 3 – GRMC–2

З результатів досліджень можна побачити, що найкращий рівень трибологічних властивостей мають композити з графітом марок GRMC і С–1. Так, значення їх коефіцієнта тертя й інтенсивності лінійного зношування на 5–15 % кращі, ніж у композиту з графітом ГЛ – 1. Це пов’язано із кращою змащувальною властивістю цих графітів, обумовленою їх меншими розмірами частинок, особливостями структури і морфології.

Слід відмітити, що різниця у триботехнічних властивостях полімерних композиційних матеріалів з цими графітами при фрикційній взаємодії зі сталлю є невеликою, а зважаючи на те, що графіт С–1 випускається в Україні, а GRMC–2 в Китаї, то для використання в якості наповнювача ПКМ на основі термостійких полімерів доцільно використовувати саме графіт С–1.

Відповідно до проведених досліджень в якості антифрикційних наповнювачів розроблених ПКМ доцільно використовувати подрібнений технічний вуглець марки N220 та графіт марки С–1. Причому графіт за рахунок шаруватої структури має кращі змащувальні властивості, ніж технічний вуглець, однак його введення суттєво зменшує рівень фізико-

механічних властивостей ПКМ. Тому антифрикційні наповнювачі для розроблених термостійких ПКМ слід обирати, урахувуючи цей фактор.

РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ КОМПОЗИТИВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОМИСЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

З березня 2016 до березня 2019 року на агрофірмі ТОВ «КОДАЦЬКЕ-АГРО» спільно науковими співробітниками кафедри експлуатації машино-тракторного парку Дніпровського аграрно-економічного університету проведено випробування деталей із розробленого Кабатом О.С. полімерного композиційного матеріалу у вузлах тертя посівного комплексу «John Deere 1780» (рисунок. 3.1).



Рисунок 3.1 - Посівний комплексу «John Deere 1780» (на зберіганні під час простою)

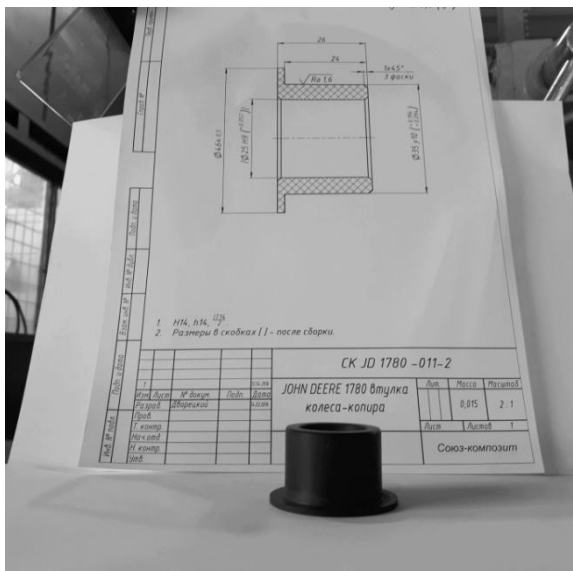
Даний агрегат має 25 сошників, які являють собою важільну систему для копіювання нерівностей ґрунту. Кожна посівна лапа має до 40 рухомих з'єднань. Тобто на весь посівний комплекс припадає до 400 вузлів тертя.

У цих вузлах в якості втулок підшипників ковзання використовуються деталі з полімерного композиційного матеріалу УПА 6-30 (ТУ 6-12-31-654-89). Середній строк служби даних вузлів залежить від наробітку посівного комплексу і становить 10000 га. В умовах агрофірми ТОВ «КОДАЦЬКЕ-

АГРО» посівний комплекс отримує такий наробіток упродовж двох років. Тобто кожні два роки відбувається його плановий ремонт, що передбачає обслуговування вузлів тертя, при якому відбувається заміна всіх полімерних деталей на нові. Кошторис даного ремонту складає від 90 до 100 тис. гривень.

Виходячи з цього підвищення надійності та довговічності вузлів тертя посівного комплексу є актуальним завданням, вирішення якої дозволить заощадити кошти на планові ремонти. Цим впровадженням запропоновано використовувати в якості матеріалу для виготовлення вузлів тертя в лапах посівного комплексу розроблених ним матеріалів на основі фенілону С1. Відповідно до лабораторних досліджень ці матеріали за міцнісними, теплофізичними та триботехнічними властивостями значно переважають матеріал УПА 6-30, але коштують на 20 % більше.

Полімерні деталі з аналогу (УПА 6-30) та розробленого полімерного композиційного матеріалу на основі фенілону С1, який наповнений силікагелем та графітом, виготовлено з заготовок за допомогою операції точіння. На рисунок 3.2 представлено ці деталі.



а



б

Рисунок 3.2 – Втулки підшипників ковзання лап посівного комплексу «John Deere 1780» з аналогу (УПА 6-30) (а) та розробленого ПКМ (б)

Отримані деталі запресовувалися в обойми важелів лап посівного комплексу «JohnDeere 1780» і збиралися за однаковою технологією (рисунок 3.3).

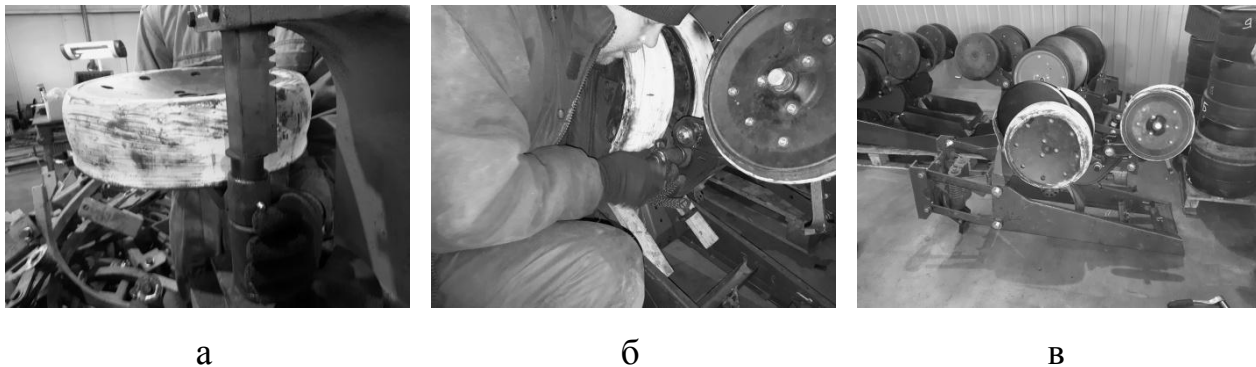


Рисунок 3.3 – Технологія збирання лап посівного комплексу «John Deere 1780»: а – запресування втулки з полімерного композиційного матеріалу; б – монтаж важелів на посівну лапу; в – посівна лапа у зборі

Заміна деталей з УПА 6-30 на запропонований Кабатом О.С. матеріал на основі ароматичного поліаміду, силікагелю та графіту дозволила підвищити довговічність роботи вузлів тертя посівного комплексу. Так, при їх розбиранні в період поточного ремонту (після 2 років роботи) на деталях з УПА 6-30 спостерігаються пошкодження та подряпини, які є наслідком початку їх аварійного зношування, що може призвести до руйнування та заклинювання вузлів тертя (рисунок 3.4). Тому їх було замінено на нові. А деталі з запропонованого матеріалу не мають таких пошкоджень і залишаються працювати у вузлах тертя.

Наступне розбирання посівного комплексу відбулося через один рік, і встановлено, що деталі з ароматичного поліаміду не мають суттєвих пошкоджень на поверхні, однак їх розмір вже не відповідає необхідним параметрам, тобто вони потребують заміни.



а



б

Рисунок 3.4 – Втулки підшипників ковзання лап посівного комплексу «John Deere 1780» після роботи впродовж 2 років (а) з аналогу (УПА 6-30) та (б) розробленого ПКМ

Відповідно до проведених промислових досліджень встановлено, що деталі на основі ароматичного поліаміду зберігають свою працездатність на один рік більше, ніж стандартні із матеріалу УПА 6-30, що дозволяє робити капітальний ремонт (в який входить операція їх заміни) не кожні 2 роки, а один раз на 3 роки. Це дозволить заощадити витрати на 2 ремонти посівного комплексу за період його експлуатації впродовж 12 років.

Економічний ефект від впровадження деталей з матеріалів на основі ароматичного поліаміду, силікагелю та графіту у вузли тертя лап посівного комплексу складає 150 тис. грн (за період експлуатації агрегату 12 років). У ДОДАТКУ приведено скан впровадження результатів роботи у виробництво.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Загальні положення

Відповідальність за безпеку праці у лабораторії несе завідувач лабораторії чи кафедри. До роботи в лабораторії допускаються особи після проходження ними вступного інструктажу, стажування на робочому місці та складання іспиту з техніки безпеки. Особи, які не вивчили правила поводження з приладами, працювати з ними не допускаються.

У лабораторії, яка пов'язана із хімією забороняється:

- працювати при несправності вентиляції;
- працювати з вогненебезпечними та вибуховими речовинами поблизу включених пальників та електричних приладів;
- залишати без нагляду нестационарні нагрівальні прилади, відкрите полум'я, установки, що працюють;
- працювати з несправним обладнанням;
- працювати без спецодягу;
- працювати в лабораторії одному.

Кожен працівник у лабораторії повинен мати захисні пристрої: окуляри або маску, гумові рукавички, спецодяг (халат), а в деяких випадках - прогумований фартух та протигаз (для аварійного використання). Усі особисті речі повинні бути у спеціально відведеному місці.

При закінченні роботи необхідно вимкнути силову електромережу, упорядкувати робоче місце, вимити і прибрати посуд, закрити газові та водяні крани, поставити на місце реактиви.

Для гасіння пожежі лабораторія має бути оснащена вогнегасниками (у тому числі обов'язково вуглекислотними), ковдрами та кошмою на випадок загоряння одягу на співробітниках.

У лабораторії має бути аптечка з повним набором медикаментів та засобів, для надання першої допомоги.

4.2. Вимоги безпеки під час роботи

Робота з електричними приладами та обладнанням. Всі виробничі приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електрострумом поділяються на 3 групи: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні. Приміщення відділення технохімічного контролю належить до групи із підвищеною небезпекою.

Основними технічними заходами захисту від поразки струмом в лабораторії є – захисне заземлення і занулення.

До лабораторних засобів індивідуального захисту відносяться діелектричні рукавички, боти, килимки та доріжки, а ізолюючі підставки. Ці ізолюючі засоби застосовують тільки на відповідну напругу за наявності тавра з датою їх випробування та за відсутності пошкоджень. Періодично необхідно перевіряти наявність засобів індивідуального захисту та проводити випробування їх опору (рукавички – 1 раз на 6 місяців, килимки – 1 раз на рік).

Забороняється витирати мокрою ганчіркою обладнання, що знаходиться під напругою; завантажувати сушильну шафу легкозаймистими речовинами (бензин, спирт, ефір тощо); працювати із незаземленими приладами.

4.2.1 Робота із газами

Природний газ може бути причиною вибуху, пожежі та отруєння. Щоб уникнути витoku газу, необхідно ретельно стежити за справністю газопровідної мережі, газових плит, пальників та кранів. Перед початком роботи треба ретельно перевірити, чи немає газу у приміщенні. У разі

підозри на витік чи скупчення газу кімнату необхідно добре перевірити. Забороняється запалювати сірники, включати електроприлади, рубильники тощо до повного провітрювання приміщення. При аварійному витоку газу слід терміново викликати аварійну службу за телефоном "04".

Стислі та зріджені гази зазвичай зберігають у металевих балонах. Приступаючи до роботи з балоном необхідно перевірити, чи не закінчився термін чергового огляду балона, чи відповідають фарбування та написи на балоні чинним правилам, чи справний вентиль, чи немає на ньому слідів жиру або олії (балони з киснем та іншими газами-окислювачами особливо пожежонебезпечними) . Після цього слід зняти з головної частини балона запобіжний ковпак, пригвинтити до випускного вентиля редукційний вентиль з манометрами, який потім з'єднати з приладом, для якого потрібно газ, за допомогою ніпеля або гумового шланга для високих тисків (якщо необхідно через запобіжну або промивну склянку). Потім потроху відкривають редукційний вентиль, а потім обережно-випускний вентиль, стежачи за тим, щоб газ виходив під невеликим тиском.

На балон у неробочому стані завжди повинен бути одягнений захисний ковпак, а випускний вентиль щільно закритий. Наповнений газом балон слід пересувати обережно, без різких поштовхів (роняти балон небезпечно), після чого його слід зміцнити металевою скобою за місцем установки.

Балони з газами повинні бути віддалені від джерел тепла (опалювальної батареї тощо) та електричних щитків на відстань не менше 1 м і захищені від дії прямих сонячних променів, оскільки підвищення температури газу в балоні призводить до різкого підвищення тиску і може бути причиною вибуху.

Працюючий з газовими балонами повинен знати розпізнавальне забарвлення балонів для кожного газу, наклеїти на балон позначку з позначенням газу, що знаходиться в балоні, та дати наповнення його газом.

4.2.2 Робота із застосуванням вакууму

Судини Дьюара, вакуум – ексикатори, прилади для перегонки у вакуумі вимагають особливої обережності у використанні. При цих роботах крім захисних окулярів обов'язково використання запобіжних екранів або сіток, рукавичок тощо, що забезпечують захист працюючих при розриві судин та розбризкуванні горючих, їдких або отруйних речовин.

Системи, призначені для роботи під вакуумом, повинні бути попередньо перевірені на герметичність та випробувані при максимальному розрядженні.

При перегонці легколетючих речовин, щоб уникнути попадання шкідливих парів і газів в атмосферу, продукт, що переганяється, слід збирати в колби, з'єднані з холодильником, причому кульова частина колби повинна бути опущена в охолоджувальну суміш, а відвідна трубка колби з'єднана зі склянкою Тищенко, заповненою поглинаючою рідиною.

Робота з горючими та вибухонебезпечними речовинами. Усі горючі та вибухонебезпечні речовини повинні зберігатися на складі у спеціальній вогнебезпечній камері або металевих ящиках у холодному та темному місці. У лабораторії вони повинні знаходитись у кількості, необхідної для проведення аналізів протягом 1-2 днів. На пляшках з вогнебезпечними речовинами мають бути етикетки з написом «Вогнебезпечно». Роботу з цими речовинами дозволяється проводити тільки у витяжній шафі в приміщенні, що добре провітрюється.

Легкорозкладаються (вибухонебезпечні) речовини, як, наприклад, пероксид водню, пероксиди натрію і барію, слід зберігати в невеликих кількостях, забезпечуючи їм захист від пилу, вологи, світла.

Під час робіт, пов'язаних з нагріванням цих речовин, не допускається навіть на короткий час залишати своє робоче місце без нагляду.

При роботі з вогнебезпечними та вибухонебезпечними речовинами (відгін, екстрагування) необхідно застосовувати водяні лазні або електричні нагрівачі із закритими нагрівальними елементами.

При переливанні навіть незначних обсягів легкозаймистих рідин (ЛЗР) із судин великої місткості виникає небезпека розряду статичної електрики та займання. У таких випадках для перенесення органічних рідин слід використовувати піпетки місткістю 50-100 см³.

До ЛЖВ відносяться: дисульфід вуглецю, діетиловий ефір, ацетон, гексан, гептан, петролейний ефір, етилацетат, амілацетат, бензол, толуол, ксилол, бензин, дихлоретан, метанол, етанол, пропанол і т.д.

Максимальну обережність слід проявляти під час роботи з діетиловим ефіром. Його пари важчі за повітря і мають властивість розтікатися над поверхнею робочого столу. Тому наявність вогню або включеної електроплитки з відкритою спіраллю навіть на відстані 3-5м від місця роботи з ефіром може спричинити спалах та вибух.

Якщо значна кількість горючої рідини випадково розіллється, необхідно відразу ж обесточити кімнату загальним рубильником, погасити вогонь, а місце локалізації рідини засипати піском.

4.2.3 Робота з ртуттю

Роботи, пов'язані з нагріванням, промиванням, дистиляцією, зважуванням ртуті, а також з використанням приладів з відкритими поверхнями ртуті слід проводити в окремих кімнатах, у витяжних шафах. Роботи з невеликими приладами, в яких ізольована ртуть, можна виконувати в загальних кімнатах на спеціально обладнаних робочих столах. Всі операції з ртуттю (заповнення приладів, переливання ртуті з однієї судини в іншу тощо) проводять на спеціальних емальованих або пофарбованих олійною

фарбою деках з високим краєм під тягою. Прилади та установки з ртутним заповненням не можна розташовувати поблизу нагрітих поверхонь

Найдрібніші краплі пролітої ртуті негайно збирають мідним дротом, обробленим азотною кислотою та амальгамованим. Крапельки ртуті, що пристали до амальгамованої поверхні, струшують у спеціальну посудину з підкисленим розчином KMnO_4 , щільно закритий гумовою пробкою. Злив зібраної ртуті у каналізацію не допускається.

Оскільки крапельки пролітої ртуті можуть потрапити до щілин, тріщин, необхідно проводити демеркуризацію. Одним із способів демеркуризації є обробка забрудненої поверхні 10-12%-ним (вважаючи на безводну сіль) розчином FeCl_3 . Поверхню, покриту розчином FeCl_3 залишають на 1-2сут, після чого очищають і промивають водою.

Для кращого очищення від ртуті посуд після звичайного промивання хромовою сумішшю і ретельного ополіскування водою слід промити 2,5% розчином йоду в 30% розчині йодистого калію.

Чисту ртуть зберігають у склянці із притертою пробкою під шаром води.

4.3. Вимоги безпеки після закінчення робіт

Після закінчення робіт у лабораторії необхідно забрати робоче місце.

Посуд, що звільнився від приготування продуктів, має бути ретельно вимитий.

Посудини, у яких проводилися роботи з горючими рідинами, після закінчення роботи повинні бути негайно промиті.

Після закінчення робіт необхідно вимити руки з милом.

4.4. Вимоги безпеки в аварійних та небезпечних ситуаціях

Необхідно пам'ятати, що після надання першої допомоги потерпілому слід негайно викликати лікаря для усунення нещасного випадку або швидку допомогу.

При термічних опіках насамперед видаляють джерело високої температури та оголюють місце опіку. Опік 1 ступеня обробляють 96%-ним спиртом (або одеколоном), 3%-ним розчином KMnO_4 або 5%-ним розчином таніну. Потім треба накласти стерильну пов'язку. Опік 2 ступеня обробляють 70%-ним спиртом і закривають сухою стерильною пов'язкою (бульбашки розкривати не можна). При опіках 3-4 ступеня треба накласти стерильну пов'язку, а якщо уражена велика площа шкіри – чистий рушник, полотно. У разі необхідно викликати швидку допомогу.

При опіках хімічними речовинами уражену ділянку шкіри швидко промивають великою кількістю води. Накладають на місце опіку пов'язку: при опіках кислотами – стерильну серветку, змочену 2%-ним розчином питної соди (NaHCO_3); при опіках лугами – серветку, просочену 2%-ним розчином оцтової кислоти. При опіках очей необхідно вимити обличчя із заплющеними очима, а потім рясно промивати очі протягом 5-10 хв водою; при опіках кислотою до води додають 2%-ний розчин NaHCO_3 або промивають очі 2%-ним розчином таніну,

слабким розчином чаю; при опіках лугом очі промивають 2%-ним розчином борної кислоти або молока; при опіках аніліновими барвниками для промивання очей використовують 5% розчин таніну або міцний настій чаю. Пов'язки на пошкоджені очі не накладають, одразу викликають лікаря.

При електротравмі потерпілого насамперед звільняють від дії струму (проводи перерізають або відкидають за допомогою непровідних струмів предметів або палиці). Прилади знеструмлюють. Якщо дію джерела струму припинити не можна, постраждалого варто відтягнути і перенести в безпечне місце, дотримуючись наступних запобіжних заходів: 1) одягти гумові (або сухі вовняні) рукавички або обмотати руки сухим одягом; 2) стати на ізолюючий предмет (гумова взуття, гумовий килимок, суха дошка); 3) не

торкаючись відкритих частин тіла і утримуючи за одяг, який постраждав відтягти і покласти на сухе і рівне місце.

При тяжкому ураженні роблять штучне дихання і закритий масаж серця.

При отруєнні кислотами промивають шлунок, декількома літрами води, додаючи палену магнезію (MgO) з розрахунку 1 чайна ложка на склянку та викликаючи блювоту; рот прополіскують 5%-ним розчином $NaHCO_3$, внутрішньо приймають молоко.

При отруєнні лугами шлунок промивають підкисленою водою (1 столова ложка 2% розчину оцтової або лимонної кислоти на склянку води), викликаючи блювоту. Необхідно ковтати шматочки льоду, вершкового масла, сирі яйця, пити чайними ложками холодне молоко, прикласти міхур із льодом на груди та підшлункову ділянку, а грілки – до рук та ніг.

При отруєнні окисом вуглецю необхідно забезпечити потерпілому приплив свіжого повітря, давати нюхати нашатирний спирт (на відстані 5см від носа), робити штучне дихання, давати збудливі напої: кава, чай.

При отруєнні солями важких металів (міді, ртуті, свинцю, миш'яку, сурми, кадмію, барію та ін) викликати блювоту, промиваючи шлунок водою з додаванням MgO , всередину прийняти молоко або сирі яйця. За наявності динатрієвої солі етилендіамінтетраоцтової кислоти для промивання шлунка використовують її 2%-ний розчин.

При отруєнні галогенами рекомендується вдихати свіже повітря, прийняти всередину 50см 50%-ного розчину етилового спирту, нюхати нашатирний спирт. Промити рот і ніс 3%-ним розчином $NaHCO_3$.

У всіх випадках отруєння необхідно викликати лікаря.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Виходячи із літературних джерел можна стверджувати, що до основних експлуатаційних показників роботи широкозахватних посівних комплексів слід віднести їх продуктивність, витрати робочого часу на посів та обслуговування, витрати паливо-мастильних матеріалів та загальні витрати (експлуатаційні і приведені).

В роботі приведена модернізація посівного комплексу «John Deere 1780», яка полягає у заміні його рухомих з'єднань на розроблені. При цьому якість роботи сіялки не погіршилась. Відповідно до модернізації економічний ефект вдається отримати за рахунок збільшення її надійності та довговічності завдяки збільшенню міжремонтного періоду при обслуговуванні посівного комплексу.

Тому економічний розрахунок полягає у порівнянні модернізованого та стандартного посівного комплексу.

Питомі експлуатаційні витрати сівалки розраховують за рівнянням

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

де $C_m, C_{\text{м}}$ - сума витрат на реновацію, капітальний і поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин трактора, приймаємо з табличних даних [60], грн./га;

$C_{\text{пмм}}$ - вартість паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

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

Сума витрат на реновації розраховується за формулою:

$$C_m = \left[\frac{B_m \cdot \alpha_{\text{рм}} \cdot g_{\text{за}}}{100 \cdot G_n^{\text{пik}}} + \frac{\sum C_m^{\text{н}} \cdot g_{\text{за}}}{1000} \right] \cdot K_i, \quad (5.2)$$

де $B_m \cdot \alpha_{pm}$ - балансова вартість трактора (грн.) та норма відрахувань, %.

З літературних даних [60] визначаємо балансову вартість трактора, яку беремо з урахуванням фактичної сьогоденної його ціни (1700 000 грн.) та норму відрахувань – 10%;

$\sum C_m^n$ - питомі нормативні витрати на капітальний, поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин і гусениць, грн./т палива, з урахуванням сучасних цін складе близько 2500 грн. Цю цифру приймаємо відповідно до розцінок на 2020-2021 р.

$G_n^{pik}, g_{год}$ - нормативне річне завантаження палива (кг). При сезонному навантаженні 70 нормо-змін по 45 га/зм і гектарній витраті палива 4,7 кг, норма річного завантаження складе 14850 кг;

K_i - коефіцієнт індексації цін, який враховує інфляцію. Так як ціни приймаємо реальні, то K_i приймаємо 1.

Для трактора, що працює з посівним комплексом (CASE MX 310) витрати на реновацію, ремонт та технічне обслуговування для даного виду робіт складуть:

$$C_T = \left[\frac{170000 \cdot 10 \cdot 4,7}{100 \cdot 14850} + \frac{2500 \cdot 4,7}{1000} \right] \cdot 1 = 17,13 \text{ грн/га}$$

Вартість паливо-мастильних матеріалів знаходимо за формулою:

$$C_{пмм} = C_k \cdot G_{год} = 30,0 \cdot 4,7 = 141,0 \text{ грн/га}, \quad (5.3)$$

де C_k - комплексна ціна дизельного пального, грн. (На січень 2022 дорівнює 30 гр за 1 літр) Вартість пального буде однаковою для модернізованого та стандартного агрегату трактора з посівним комплексом.

Оплату праці персоналу, що обслуговує техніку розраховуємо за формулою:

$$C_{zn} = \frac{1,49(K_{нк} \cdot m_{мех} \cdot f_{мех} + m_{доп} \cdot f_{доп}) \cdot 1,02 \cdot K_з}{W_{зм}}, \quad (5.4)$$

де 1,49 і 1,02 - стандартні коефіцієнти при нарахуванні заробітної платні;

$K_{нк}$ - коефіцієнт, який показує рівень майстерності (класність) механізаторів. Приймаємо, що він буде дорівнювати 1,2. Це відповідає першому класу трактористів-машиністів;

$m_{мех}$ і $m_{доп}$ - кількість трактористів-машиністів і допоміжних працівників, які обслуговують трактор та посівний комплекс;

$f_{мех}$ і $f_{доп}$ - оплата праці за змінну норму (тарифні ставки) виробітку відповідно трактористам-машиністам і допоміжним працівникам, грн./зм. Приймаємо з літературних джерел, що актуальної тарифної ставки на 2021-2022 р.;

$K_з$ - коефіцієнт збільшення оплати праці за рахунок інфляції, приймаємо $K_з=10$.

Оплата праці механізаторів:

$$C_{зпс} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 16,32 + 1 \cdot 11,45) \cdot 1,02 \cdot 10}{32} = 14,74 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на посівний комплекс «John Deere 1780» знайдемо за формулою:

$$C_{СГМ} = \left[\frac{B_M \cdot \alpha_p}{100 \cdot n_{зм}^M \cdot W_{зм}} + \frac{\sum C_{ТО}}{W_{зм}} \right] \cdot 1, \text{ грн/га} \quad (5.5)$$

$$C_{СГМ} = \left[\frac{990000 \cdot 12,5}{100 \cdot 60 \cdot 32} + \frac{27,4 + 4,3 + 21}{32} \right] \cdot 1 = 66,04 \text{ грн/га}$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{\text{пит}}^c = 17,3 + 66,04 + 141,2 + 14,74 = 239,28 \text{ грн/га}$$

Величину капітальних вкладень при експлуатації стандартного агрегату (трактор + посівний комплекс):

$$K_p = \frac{B_r \cdot \alpha_{\text{рм}} \cdot g_{\text{га}}}{100 \cdot G_{\text{рік}}} + \frac{B_m \cdot n}{n_{\text{зм}} \cdot W_{\text{зм}}} = \frac{170000 \cdot 10 \cdot 4,6}{100 \cdot 18000} + \frac{990000 \cdot 1}{60 \cdot 32} = 519,965 \text{ грн/га}, \quad (5.6)$$

Приведені витрати:

$$P_B^p = C_{\text{п}}^p + E \cdot K = 66,04 + 0,15 \cdot 519,965 = 144,03 \text{ грн/га}$$

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

Аналогічно проведемо розрахунки для агрегату, що складається з трактора CASE MX 310 і модернізованого посівного комплексу.

Експлуатаційні витрати на даному виді робіт складуть для трактора :

$$C_t = \left[\frac{170000 \cdot 10 \cdot 4,6}{100 \cdot 18000} + \frac{1849 \cdot 4,6}{1000} \right] \cdot 1 = 8,9 \text{ грн/га}$$

$\sum C_m^n$ - питомі нормативні витрати на капітальний, поточний ремонт, зберігання, заміну шин і гусениць, грн./т палива, без урахування технічного обслуговування сівалки, складе приблизно 2500 грн.

Вартість паливо-мастильних матеріалів знайдемо за формулою:

$$C_{\text{пмм}} = C_k \cdot G_{\text{год}} = 30 \cdot 4,7 = 141 \text{ грн/га.}$$

Оплата праці механізаторів:

$$C_{\text{зпс}} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 16,32 + 1 \cdot 11,45) \cdot 1,02 \cdot 10}{32} = 14,74 \text{ грн/га.}$$

Експлуатаційні витрати модернізованого посівного комплексу знайдемо за формулою:

$$C_{\text{СГМ}} = \left[\frac{B_M \cdot \alpha_p}{100 \cdot n_{3M}^M \cdot W_{3M}} + \frac{\sum C_{\text{ТО}}}{W_{3M}} \right] \cdot 1 = \left[\frac{995000 \cdot 12,5}{100 \cdot 80 \cdot 45,9} + \frac{2,5 + 1,64 + 1,79}{45,9} \right] \cdot 1$$

$$= 33,9 \text{ грн/га.}$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{\text{пит}}^{\text{проект}} = 8,9 + 33,9 + 141 + 14,74 = 213,11 \text{ грн/га,}$$

Величину капітальних вкладень при експлуатації агрегату розраховуємо за формулою (5.6):

$$K_p = \frac{B_T \cdot \alpha_{\text{рм}} \cdot g_{\text{га}}}{100 \cdot G_{\text{рік}}} + \frac{B_M \cdot n}{n_{3M} \cdot W_{3M}} = \frac{170000 \cdot 10 \cdot 4,6}{100 \cdot 18000} + \frac{990000 \cdot 1}{75 \cdot 40}$$

$$= 330,45 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на один га при експлуатації модернізованого агрегату трактор + посівний комплекс:

$$P_B^p = C_{\text{п}}^p + E \cdot K = 33,9 + 0,15 \cdot 330,45 = 83,46 \text{ грн/га}$$

Отримані результати занесені у таблицю 5.1

Таблиця 5.1 – Економічне обґрунтування результатів дипломної роботи

Показник	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Агрегат	-	CASE MX 310 + JohnDeere 1780	CASE MX 310 + JohnDeere 1780

Продовження таблиці 14

Балансова вартість агрегату	грн.	116000	1165000
Нормативне навантаження	нормо- змін	60	75
Витрати пального	кг/га	4,7	4,7
Витрати на реновацію, ремонт та ТО	грн. / га	66,04	33,9
Вартість ПММ	грн. / га	141	141
Оплата праці	грн. / га	14,74	14,74
Загальні експлуатаційні витрати	грн. / га	239,28	213,11
Величина капітальних вкладень	грн. / га	519,96	330,45
Приведені витрати	грн. / га	144,03	83,46
Річний економічний ефект від сервісу при навантаженні 2000 га	грн.		121140

Відповідно до результатів таблиці можна зробити висновок, що модернізація рухомих вузлів широкозахватного посівного комплексу John Deere 1780 дозволить ефективно агрегатувати її з трактором CASE MX 310. При цьому річний економічний ефект може скласти до 121140 грн. при річному завантаженні 2000 га.

ВИСНОВКИ

У роботі приведено описання основних конструкцій сучасних сівалок та посівних комплексів. Визначено, що до найбільш затребуваних посівних машин на Україні є широкозахватні посівні комплекси. В роботі визначені основні напрями щодо покращення їх надійності та довговічності у роботі та відповідно до цього зменшення їх собівартості. Визначили, що одним із найбільш ненадійних вузлів широкозахватних посівних комплексів є рухомі з'єднання механізму копіювання ґрунту, які запропоновано в роботі замінити на полімерні композиційні матеріали.

В роботі були проведені трибологічні дослідження розроблених полімерних композиційних матеріалів та визначено оптимальний матеріал для використання у вузлах тертя механізму копіювання ґрунту широкозахватного посівного комплексу. Приведено рекомендації щодо застосування розроблених композитів та результати промислових випробувань у вузлах тертя широкозахватного посівного комплексу John Deere 1780.

В розділі охорона праці та навколишнього середовища приведені основні правила роботи у науково-дослідній лабораторії. В економічному розділі проведені розрахунки щодо економічного ефекту, при впровадженні розроблених полімерних композиційних матеріалів у стандартний посівний комплекс JohnDeere 1780 і встановлено, що він складає 121140 грн. при річному завантаженні 2000 га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://selhoztehnika.com/sejalka-sz-3-6>
2. <https://tractorreview.ru/navesnoe-i-pricerpnoe-oborudovanie/sejalki/sejalka-ups-8-tehnicheskie-harakteristiki.html>
3. <http://tehresurs-ufa.ru/sejalki-i-posevnye-kompleksy/posevnoj-kompleks-horsch-agro-soyuz-modeli-atd.html>
4. <https://engine-market.ua/sejalka-zernovaya-kerner-eros-ea-600-t54876/>
5. <https://polymya-agro.by/pdf/Compact-Solitair9H.pdf>
6. <https://agromania.com.ua/sejalka-john-deere-1890-universal-dlya-uchastkov-s-nulevoj-obrabotkoj/>
7. Кабанов, В.А. Энциклопедия полимеров. Том 3 [Текст] / В.А. Кабанов, М.С. Акутин, Н.Ф. Бакеев. - Москва: Советская энциклопедия, 1977. - 1152 с.
8. Паньшин, Ю.А. Фторопласты [Текст] / Ю.А. Паньшин, С.Г. Малкевич, Ц.С. Дунаевская. - Л: Химия, 1978. - 232 с.
9. He, Y. Fluoropolymer composite coating for condensing heat exchangers: Characterization of the mechanical, tribological and thermal properties [Text] / Y. He, D. Walsh, C. Shi // Applied Thermal Engineering. - 2015. - Vol. 91. - P. 387-398. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.08.035>
10. Golchina, Ar. Break-away friction of PTFE materials in lubricated conditions [Text] / Ar. Golchina, G. F. Simmons, S. B. Glavatskiha // Tribology International. - 2012. - Vol. 48. - P.54-62.
11. Дудка, А.М. Дослідження триботехнічних характеристик полімерних композитів для термонавантажених вузлів тертя машин і апаратів хімічного обладнання [Текст] / А.М. Дудка, В.І. Ситар, І.І. Начовний и др. // Вопросы химии и химической технологии. - 2010. - №6. - С. 148-151.
12. Термостойкие ароматические полиамиды [Текст] / Л.Б. Соколов, В.Д. Герасимов, В.М. Савинов и др. - М.: Химия, 1967. - 462 с.

13. Trigo- López, M. Aromatic Polyamides [Text] / M. Trigo- López, J. M. García J. A. Reglero Ruiz and oth. - New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018. - 51 p.
14. Термостойкие ароматические полиамиды [Текст] / Л.Б. Соколов, В.Д. Герасимов, В.М. Савинов и др. - М.: Химия, 1967. - 462 с.
15. Meisam, S. Synthesis of a novel CNT/polyamide composite containing phosphine oxide groups and its flame retardancy and thermal properties [Text] / S. Meisam, H. Mohsen, R. Mehdi // New Carbon Materials. - 2015. - Vol. 30. - P. 397-403.
16. Кабат, О.С. Термостойкие композиты на основе фенилона С2 с высоким уровнем технологичности при переработке в изделия [Текст] / О.С. Кабат, В.И. Сытар // Вопросы химии и химической технологии. - 2016. - №6. - С. 148-151.
17. Сытар, В.И. Конструкционные и триботехнические пластики на основе фенилона [Текст] / В.И. Сытар, А.И. Буря, М.В. Бурмистр и др. // Материалы 5-й юбилейной промышленной конференции "Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях", 2005. - С. 317-320.
18. Сытар, В.И. Теплостойкие материалы триботехнического назначения на основе ароматического полиамида и дисперсных кремнеземов [Текст] / В.И. Сытар, О.С. Кабат // Вопросы химии и химической технологии. - 2007. - №4. - С. 94-98.
19. Полиимиды – класс термостойких полимеров [Текст] / М.И. Бессонов, М.М. Котон, В.В. Кудрявцев, Л.А. Лайус. - Л.: Наука, 1983. - 328 с.
20. Abadie, M. J. High Performance Polymers – Polyimides Based – From Chemistry to Applications [Text] / M. J. Abadie. - Rijeka: InTech, 2012. - 254 p.
<http://dx.doi.org/10.5772/2834>
21. Torlon® PAI. Design Guide. Version 5.0: Solvay Specialty Polymers, 2015. - 48 p.

22. Fengxia, D. The lubricity and reinforcement of carbon fibers in polyimide at high temperatures [Text] / D. Fengxia, H. Guoliang, C. Fengxiang and oth. // Tribology International. - 2016. - Vol 101. - P. 291-300.
23. Injection Molding. Processing guide. Victrex PLC, 2016. - 14 p.
24. Хазбулатова, З.С. Ароматические поликетоны (обзор). [Текст] / З.С. Хазбулатова, Л.А. Асуева, М.А. Насурова // Пластические массы. - 2010. - №. 2. - С. 32–38.
25. Koikea, H. Wear of hybrid radial bearings (PEEK ring-PTFE retainer and alumina balls) under dry rolling contact [Text] / H. Koikea, K. Kidab, K. Mizobeb and oth. // Tribology International. - 2015. - Vol 90. - P. 77-83.
26. Wang, Z. Comparative investigation on the tribological behavior of reinforced plastic composite under natural seawater lubrication [Text] / Z. Wang, D. Gao // Materials & Design. - 2013. - Vol. 51. - P. 983-988.
27. Radel® PPSU, Veradel® PESU & Acudel® modified PPSU. Version 6.1. Solvay Specialty Polymers, 2019. 68 p.
28. Pat. 102719056 A China, C08L 61/10, C08K 9/00, C08K 3/04, C08G 8/10. Graphene phenolic-resin compounded conducting material and preparation method thereof [Text] / Zhongzhen Yu, Fangyuan Yuan, Dong Yan, Haobin Zhang, Xiuzhi Tang (China); опубл. 10.10.12, Vol. 24. – 13 с.
29. Ліпко, О.О. Новий терморективний водорозчинний зв'язувач для пресматеріалів [Текст] / О.О. Ліпко, М.В. Бурмістр, Ю.М. Кобельчук и др. // Вопросы химии и химической технологии. - 2015. - №6. - С. 66-73.
30. Подгорний, Э.В. Полимерные композиты на основе дифенилолпропан-формальдегидного полимера, диоксидов кремния и титана [Текст] / Э.В. Подгорний, О.Е. Дембицкий, О.С. Кабат, и др. // VII-th International conference of chemistry and modern technology "IncHemTec". – Дніпро. - 2015.
31. Курта, С.А. Наповнювачі – синтез, властивості та використання [Текст] / С.А. Курта. Івано-Франківськ: Вид-во Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2012. - 296 с.

32. Панова, Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов. [Текст] / Л.Г. Панова. - Саратов: СГТУ, 2010. - 68 с.
33. Основные характеристики волокнистых, нитевидных и тканых наполнителей композиционных материалов [Текст] / Г.Г. Богатеев, К.В. Микрюков, Д.Г. Богатеев, В.Х. Абдуллина. - Казань: КГТУ, 2009. - 131 с.
34. Мелешко, А.И. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты [Текст] / А.И. Мелешко, С.П. Половников. - Москва: Сайнс-пресс, 2007. - 194 с.
35. Mahltig, B. Inorganic and Composite Fibers [Text] / B. Mahltig, Y. Kyosev // Production, Properties, and Applications.- Elsevier Ltd, 2019. - 343 p. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04634-X>
36. Man-made Vitreous Fibres. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. - Vol. 81.
37. Джурка, Г.Ф. Полімерні композиційні матеріали [Текст] / Г.Ф. Джурка. - Полтава, 2008. - 58 с.
38. Властивості композиту на основі поліпропілену, наповненого апретованим карбонатом кальцію [Текст] / П. І. Баштаник, М. Я. Кузьменко, С. М. Кузьменко, В.П. Кіндрич // Вопросы химии и химической технологии. - 2016. - Vol. 4(108). - С. 38-42.
39. Rother, R. Fillers for Polymer Applications [Text] / R. Rother. - Switzerland: Springer, 2017. - 489 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28117-9>
40. Dong, Y. Fillers and Reinforcements for Advanced Nanocomposites [Text] / Y. Dong, R. Umer, A. Kin Tak Lau. - Woodhead Publishing, 2015. - 586 p.
41. Jin, H. Comparative tribological behavior of friction composites containing natural graphite and expanded graphite [Text] / H. Jin, K. Zhou, Z. Ji and oth. // Friction. - 2019. - P. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0293-3>
42. Ray, S. C. Magnetism and Spintronics in Carbon and Carbon Nanostructured Materials [Text] / Ray, S. C. // Micro and Nano Technologies. - 2020. - P. 23-45.

43. Razeghi, M. The Mystery of Carbon. An introduction to carbon materials [Text] / M. Razeghi. - IOP Publishing Ltd, 2019. <https://doi.org/10.1088/2053-2563/ab35d1>

44. Ozawa, M. Synthesis and properties of polyamides with [60] fullerene in the main chain [Text] / M. Ozawa, J. Li, K. Nakahara // Journal of Polymer Science Part A Polymer Chemistry. - 1998. - Vol. 36. - P. 3139-3146. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0518\(199812\)36:17<3139::AID-POLA16>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0518(199812)36:17<3139::AID-POLA16>3.0.CO;2-W)

45. Козлов, Г.В. Механизм усиления полимерных нанокомпозитов, наполненных углеродными нанотрубками [Текст] / Г.В. Козлов, А.И. Буря, Ю.С. Липатов // Доп. НАН України. - 2008. - № 1. - С. 132-136.

46. Мулюков, Р.Р. Углеродные наноматериалы [Текст] / Р.Р. Мулюков, Ю.А. Баимова. - Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. - 160 с.

47. Кабат, О.С. Полимерные композиционные материалы на основе ароматического полиамида и высокодисперсных кремнеземов [Текст] / О.С. Кабат, В.И. Сытар, Н.М. Евдокименко // Полимерный журнал. - 2011. - №4. - С. 37-42.

48. Айлер, Р. Химия кремнезема [Текст] / Р. Айлер. - М.: Мир, 1982. - 1127 с.

49. Pielichowski, K. Polymer Composites with Functionalized Nanoparticles. Synthesis, Properties, and Applications [Text] / K. Pielichowski, T. M. Majka. - Elsevier Inc., 2019. - 504 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00517-7>

50. Тимонин, А.С. Машины и аппараты химических производств [Текст] / А.С. Тимонин. - Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2008. - 872 с.

51. Болтон, У. Конструкционные материалы металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты [Текст] / У. Болтон. - М.: Издательский дом “Додэка-XXI”, 2004 – 320 с.

52. Арзамасов, Б. Н. Конструкционные материалы: Справочник [Текст] / Б. Н. Арзамасов. - М.: Машиностроение, 1990. - 688 с.

53. <https://www.sabic.com/en/products/specialties/noryl-resins/noryl-gtx-resin> (дата звертання: 20.11.2020).
54. <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/NORYL+GTX%E2%84%A2+Resin+GTX914+--+Europe/SABIC/658/353ea5ce> (дата звертання: 15.11.2020).
55. <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/NORYL+GTX%E2%84%A2+Resin+GTX4610+--+ericas/SABIC/658/b40b14a6/SI?pos=57> (дата звернення: 16.11.2020).
56. <http://www.totalplastics.com/products/438> (дата звертання: 10.11.2020).
57. https://www.onlineplastics.com/high-performance-plastics/torlon-pai-c-1_192_201.html (дата звертання: 17.11.2020)
58. Браун, Э. Д. Современная трибология. Итоги и перспективы [Текст] / Э. Д. Браун. - Москва: Изд-во ЛКИ, 2008. - 476 с.
59. <https://www.ftoroplastmsk.ru/reference/composition.jdx> (дата звертання: 29.11.2020)
60. «Аграрна техніка та обладнання». – 2017. №1 (38). – С. 35 – 36.

ДОДАТОК

Затверджую

Зам. директора ТОВ «Кодацьке-Агро»

В. Сидорук *Ваншук М.Я.*

А К Т

про впровадження матеріалів і технологій, наукових положень і висновків докторської дисертації Кабат Олега Станіславовича

Даним актом підтверджується те, що агрофірма ТОВ «Кодацьке-Агро» з березня 2016 по березень 2019 р. спільно з доцентом кафедри машинобудування та інженерної механіки ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» проводили випробування деталей із розробленого Кабат О.С. полімерного композиційного матеріалу у вузлах тертя посівного комплексу ТОВ «Кодацьке-Агро». Даний агрегат має 25 посівних лап, які являють собою важільну систему для копіювання нерівностей ґрунту. На кожен посівну лапу припадає 40 рухомих з'єднань. Тобто на весь посівний комплекс припадає до 400 вузлів тертя. В цих вузлах використовуються деталі з полімерного композиційного матеріалу УПА 6-30 (ТУ 6-12-31-654-89). Середній строк служби даних вузлів залежить від наробітку посівного комплексу і становить 10000 га. В умовах агрофірми ТОВ «Кодацьке-Агро» посівний комплекс отримує такий наробіток в продовж 2 років. Тобто кожні 2 роки відбувається його плановий ремонт, що передбачає обслуговування вузлів тертя, при якому відбувається заміна всіх полімерних деталей на нові. Кошторис даного ремонту складає від 90 до 100 тис. гривень. Тому підвищення надійності та довговічності вузлів тертя

посівного комплексу є актуальною задачею, вирішення якої дозволить заощадити кошти на планові ремонти. Кабат О.С. запропонував використовувати запропонований Кабат О.С. матеріал для виготовлення вузлів тертя в лапах посівного комплексу розроблених ім матеріалів на основі ароматичного поліаміду. Відповідно до лабораторних досліджень ці матеріали по фізико-механічних, теплофізичних та триботехнічних властивостях значно переважають матеріал УПА 6-30, але коштують на 20% більше.

Заміна деталей з УПА 6-30 на запропонований Кабат О.С. матеріал дозволила підвищити довговічність роботи вузлів тертя посівного комплексу. Так при їх розбиранні в період поточного ремонту (після 2 років роботи) на деталях з УПА 6-30 спостерігаються сколи та подряпини, які є наслідком початку їх аварійного зношування, що може призвести до руйнування та заклинювання вузлів тертя. Тому їх було замінено на нові. А деталі із запропонованого матеріалу не мають таких пошкоджень і залишають працювати у вузлах тертя. Наступне розбирання посівного комплексу відбулося через 1 рік, і встановлено, що деталі із запропонованого Кабат О.С. матеріалу не мають суттєвих пошкоджень на поверхні, однак їх розмір вже не відповідає необхідним параметрам, тобто вони потребують заміни.

Відповідно до проведених промислових досліджень встановили, що деталі на основі ароматичного поліаміду зберігають свою працездатність на 1 рік більше ніж стандартні із матеріалу УПА 6-30, що дозволяє робити капітальний ремонт з їх заміною не кожні 2 роки, а один раз на 3 роки. Це дозволить заощадити витрати на 2 ремонта посівного комплексу за період його експлуатації впродовж 12 років.

Економічний ефект від впровадження деталей з матеріалів на основі ароматичного поліаміду, розроблених Кабат О.С. у вузлі тертя лап посівного комплексу складає 150 тис. грн. (за період експлуатації агрегату 12 років).

Цей акт не є підставою для пред'явлення фінансових вимог.

Представник ДВНЗ “Український державний хіміко-технологічний університет”

Розробник



О.С. Кабат

Представники агрофірми ТОВ «Кодацьке-Агро»



О.С. Кабат

