

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ВИКОРИСТАННЯМ  
КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛАСТИКІВ**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-1-22  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Чернецький Любомир Михайлович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Макаренко Дмитро Олександрович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

# ДНПРОВСЬКИЙ 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)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чернецькому Любомиру Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Підвищення довговічності трибоспрязень сільськогосподарської техніки використанням конструкційних пластиків»

керівник роботи Макаренко Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ДДАЕУ від

«09» листопада 2023 року № 3422

2. **Строк подання студентом роботи** 01.12.2022 р..

3. **Вихідні дані до роботи** Аналіз умов роботи сільськогосподарської техніки. Шляхи підвищення довговічності трибоспрязень сільськогосподарської техніки. Аналіз літературних джерел з обраної тематики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз режимів роботи рухомих з'єднань с.-г. техніки та стан використання пластиків в Україні. Програма, обладнання та методики проведення досліджень. Розглянути основні вимоги при роботі з полімерними матеріалами та виконанні експериментальних досліджень. Провести економічний аналіз роботи.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

Тема, мета та основні задачі виконання дослідження (2 аркуші, А4). Аналіз проблематики за темою роботи (2 аркуші, А4). Перелік обладнання та устаткування використаного при виконанні роботи (2 аркуші, А4). Результати досліджень та їх аналіз (2 аркуші, А4). Аналіз економічної ефективності роботи (1 аркуш, А4). Загальні висновки (1 аркуш, А4).

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Макаренко Д.О., доц. каф. ЕМТП		
2	Макаренко Д.О., доц. каф. ЕМТП		
3	Макаренко Д.О., доц. каф. ЕМТП		
4	Макаренко Д.О., доц. каф. ЕМТП		
5	Макаренко Д.О., доц. каф. ЕМТП		
6			
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 05.09.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оглядовий (аналіз проблематики)	до 20.09.2024 року	виконано
2	Програма, обладнання та методики експериментальних досліджень	до 29.09.2024 року	виконано
3	Результати досліджень	до 15.11.2023 року	виконано
4	Охорона праці	до 21.11.2023 року	виконано
5	Економічна оцінка роботи	до 28.11.2023 року	виконано
6	Демонстраційний матеріал	до 30.11.2023 року	виконано

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Любомир ЧЕРНЕЦЬКИЙ  
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дмитро МАКАРЕНКО  
(ім'я та прізвище)



УДК 631

### АНОТАЦІЯ

Чернецький Л.М. Підвищення довговічності трибоспряжень сільськогосподарської техніки використанням конструкційних пластиків / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2023 р.

В дипломній роботі проведений аналіз умов використання рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхів підвищення їх довговічності. Розроблено програму робіт та наведено методики виконання досліджень. На основі результатів досліджень обґрунтовано вибір оптимального складу матеріалу для трибоспряжень сільськогосподарської техніки, що працюють в умовах абразивного середовища. Висвітлено основні вимоги при роботі з полімерними матеріалами та виконанні експериментальних досліджень. Виконано техніко-економічну оцінку роботи.

*Ключові слова:* трибоспряження, полімерні матеріали, довговічність, сільськогосподарська техніка, міцнісні характеристики, відносна абразивна стійкість.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ТА СТАН ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТИКІВ В УКРАЇНІ</b>	<b>10</b>
1.1 Аналіз умов роботи рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки	10
1.2 Шляхи підвищення довговічності трибоспряжень механізмів	13
1.3 Оцінка виробництва та обсяги імпорту-експорту пластиків в Україні	15
1.4 Стан та перспективні шляхи переробки пластиків в Україні	18
1.5 Обґрунтування теми дипломної роботи	23
<b>2. ПРОГРАМА, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>25</b>
2.1 Програма та основні завдання експериментальних досліджень	25
2.2 Виготовлення експериментальних зразків для проведення досліджень	26
2.3 Методика дослідження міцнісних характеристик матеріалів	30
2.4 Методики визначення відносної абразивної стійкості	32
2.5 Обладнання та методика дослідження поверхонь тертя	35
<b>3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>37</b>
3.1 Результати дослідження міцнісних характеристик матеріалів	37
3.2 Результати визначення відносної абразивної стійкості	40
3.3 Результати досліджень поверхонь тертя	43
3.4 Обґрунтування використання ПКМ в трибоспряженнях	46
<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>49</b>
4.1 Загальні положення охорони праці	49
4.2 Основні вимоги безпеки праці при проведенні експериментальних досліджень	50

	7
<b>5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ</b>	53
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	60
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	62
<b>ДОДАТКИ</b>	66

## ВСТУП

Сучасне машинобудування широко використовує, крім полімерів чи пластиків, полімерно-композитні матеріали (ПКМ). Такі матеріали можуть застосовуватися для ущільнення трибоспряжень (захисту їх від агресивної дії середовища), в якості елементів трибоспряжень або, як частини несучої конструкції механізмів та машин. Основна проблема щодо використання ПКМ у конструкціях машин сільськогосподарського призначення – вартість одержання деталей із вихідного матеріалу. Саме тому, вітчизняна сільськогосподарська машинобудівна галузь мало використовує такі матеріали у конструкціях своїх машин. При цьому, закордонні виробники широко використовують ПКМ у конструкціях своїх машин, що дозволяє забезпечити більшу довговічність, у порівнянні з аналогічними вітчизняними.

ПКМ дозволяють отримувати широкий діапазон зміни характеристик та властивостей одержаних матеріалів шляхом введення наповнювачів до матриці основного компоненту. Дослідження характеристик та властивостей ПКМ дозволяє обґрунтувати їх застосування в тих чи інших вузлах тертя, з врахуванням режимів роботи конкретно взятого рухомого з'єднання. Це дозволяє забезпечити необхідну надійність механізмів та машин в цілому. При цьому, слід пам'ятати, що необхідно знайти так звану «золоту середину» – незначна собівартість трибоспряження та необхідна його довговічність. Цього можна досягнути саме адаптацією або оптимізацією складу ПКМ для забезпечення необхідних фізико-механічних та триботехнічних характеристик і властивостей. Особливу увагу, для рухомих з'єднань, необхідно приділяти, працездатності в умовах дії абразивного середовища.

Саме тому, розробку ПКМ необхідно починати з точки зору майбутньої сфери їх застосування (режимів роботи, умов експлуатації та особливостей конструкції).

Тому, метою дипломної роботи є підвищення довговічності елементів рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки.



Поставлена мета буде досягнута вирішенням таких задач:

1. Виконати аналіз умов використання рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхи підвищення їх довговічності.
2. Розробити програму робіт та розглянути методики виконання досліджень.
3. Навести результати досліджень та обґрунтувати вибір оптимального складу матеріалу для трибоспряджень сільськогосподарської техніки, що працюють в умовах абразивного середовища.
4. Навести основні вимоги при роботі з полімерними матеріалами та виконанні експериментальних досліджень.
5. Виконати техніко-економічну оцінку роботи.

Об'єкт дослідження. Процес зміни міцнісних характеристик та величини відносної абразивної стійкості в залежності від вмісту компонентів у полімерному матеріалі.

Предмет дослідження. Закономірності зміни відносної абразивної стійкості композитних матеріалів від вмісту компонентів в них.

# 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ТА СТАН ВИКОРИСТАННЯ ПЛАСТИКІВ В УКРАЇНІ

## 1.1 Аналіз умов роботи рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки

Основним шляхом інтенсифікації вирощування сільськогосподарської продукції є зростання продуктивності машинно-тракторних агрегатів (МТА). Це призводить до створення складних механізмів і машин та підвищення складності їх технічного обслуговування. Саме своєчасне та якісне технічне обслуговування дозволяє забезпечити високий рівень довговічності сучасних машин.

Тертя дозволяє забезпечувати нашу життєдіяльність, від створення тепла, виготовлення продукції, до безпосереднього переміщення у просторі. При цьому, будь яке тертя, пов'язано з процесами зношування поверхонь, що взаємодіють. В свою чергу, зношування призводить до зміни геометричних форм деталей трибоспряжень, в результаті чого, за певних граничних значень зносу, відбувається втрата працездатності рухомого з'єднання. Зношування розподіляють на: механічне, гідроабразивне, кавітаційне та ін. Абразивне (механічне) зношування є одним із найагресивніших режимів тертя, що значно зменшує довговічність роботи трибоспряжень. Деякі вчені вважають, що абразивний знос може бути основною проблемою забезпечення довговічності рухомих пар, і на нього припадає майже 50 % втрат працездатності [1].

«Зношування – процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) накопичення його залишкової деформації при терті, що проявляється в поступовій зміні розмірів і (або) форми тіла. Абразивне зношування – механічне зношування матеріалу в результаті різальної або дряпаючої дії твердих тіл або частинок» [2].

Сільськогосподарська техніка працює в умовах підвищеного вмісту абразивних частинок в робочій зоні. Основними абразивними частинками, при виконанні технологічних операцій, є ґрунт та його компоненти.

Розглянувши процес роботи ґрунтообробного чи посівного МТА, можна побачити значну кількість частинок ґрунту, що перебувають в робочій зоні агрегату (рис. 1.1).



Рис. 1.1 – Наявність частинок ґрунту в робочій зоні МТА при виконанні обробітку ґрунту та сівби

Таким чином, трибоспряження сільськогосподарської техніки, при виконанні технологічних операцій працюють в умовах з підвищеною запиленістю. В залежності від механічного складу ґрунту, їх поділяють на типи: піщаний, легкосуглинковий, важко суглинковий, , глинистий та ін. Кожен з них містить різні співвідношення піску, мулу та глини. Наприклад, середньо суглинковий тип ґрунту містить до 15 % піску, 50...60 % мулу та близько 25...45 % глини [3]. Основним елементом, що спричинює знос є пісок та в'язучі компоненти (глина).

У роботі [4] доведено, що факторами, які найбільше впливають на знос робочих органів ґрунтообробної техніки є механічний склад та щільність ґрунту. Такі фактори, як вологість ґрунту та коефіцієнт тертя матеріалу по ґрунту є додатковими факторами. Їх вплив детально досліджено у роботі [5].

Відомо, що розмір абразивних частинок та ступінь їх закріпленості мають найбільший вплив на інтенсивність зношування [6]. При збільшенні розміру частинок відповідно зростає і ступінь їх закріпленості (зв'язування) одна відносно іншої. При досягненні, так званого критичного розміру частинок,

спостерігається різке підвищення інтенсивності зношування. Слід зауважити, що ґрунту навіть в межах одного господарства можуть мати широкий діапазон зміни механічного складу ґрунту. Розмір частинок ґрунту також мають не постійний характер, саме тому їх визначити можна тільки експериментально, для кожного окремо взятого ґрунту.

У роботі детально досліджено знос металів при абразивній дії різноманітних типів ґрунтів (рис. 1.2) [7].

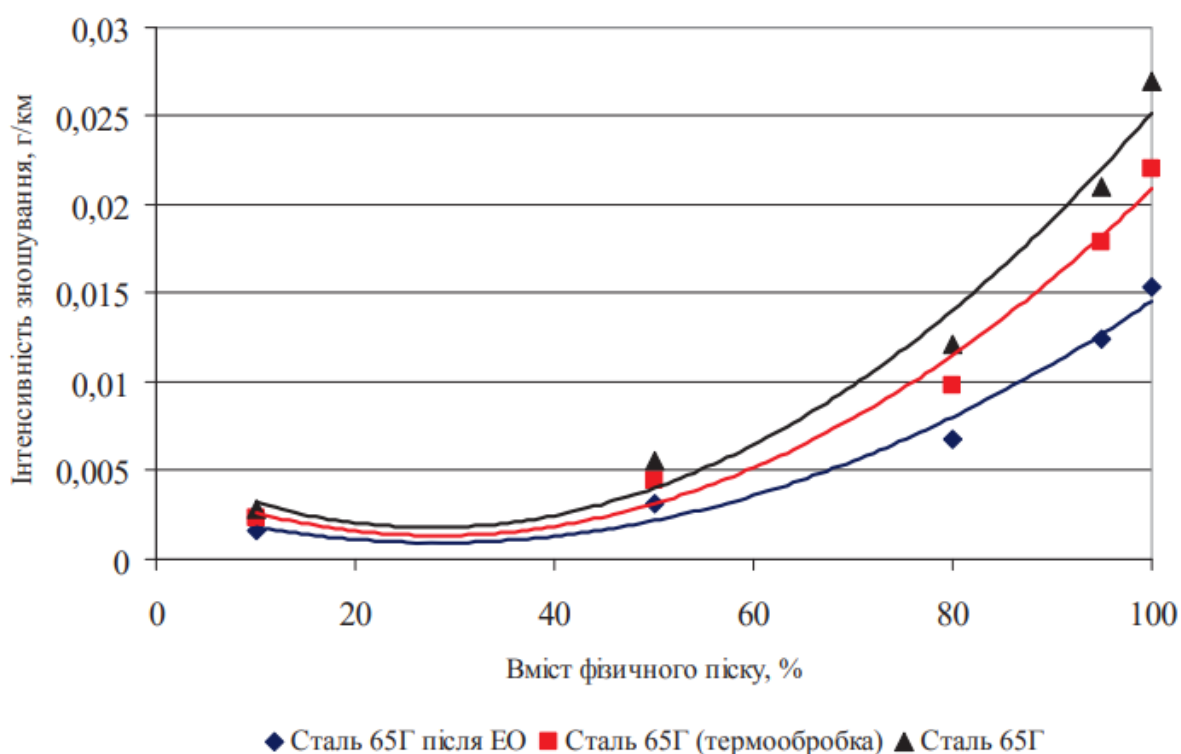


Рис. 1.2 – Залежність інтенсивності зношування від вмісту піску у досліджуваному ґрунті [7]

Враховуючи наведені дані, можна стверджувати, що кількість піску в ґрунті в діапазоні до 45...50 % майже не впливає на інтенсивність зношування. При цьому, у вказаному дослідженні недостатньо приділено уваги вологості ґрунту, так як при значних її показниках, глина та мул зв'язують пісок, в результаті чого спостерігається створення абразивної «пасти». Ця суміш перетворює тертя із режиму незакріплених абразивних частинок у режим частково (або повністю) закріплених.

Відповідно до інструкцій з експлуатації простих сільськогосподарських машин, їх міжзмінне та короткотривале зберігання можна виконувати на відкритих майданчиках. Це призводить до потрапляння опадів та вологи з повітря до їх рухомих з'єднань. В результаті чого, прискорюються корозійні процеси металів та сплавів, та відбувається зволоження ґрунту, що потрапив у трибоспряження при виконанні технологічного процесу.

Для захисту від шкідливої дії зовнішнього середовища та підвищення довговічності роботи трибоспряжень сільськогосподарської техніки використовують різноманітні технічні рішення, які буде розглянуто у наступному пункті даної роботи.

## **1.2 Шляхи підвищення довговічності трибоспряжень механізмів**

Довговічність є однією з властивостей комплексного показника надійності машин чи системи. «Довговічність – властивості об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту» [8]. Граничний стан, зазвичай, визначається на основі діагностування або виконання дефектації при виконанні ремонтних робіт. Підвищити довговічність трибоспряжень можна трьома типовими методами, а саме: конструкторський, технологічний та експлуатаційний.

Конструкторські методи підвищення довговічності трибоспряжень засновані на раціональному виборі матеріалів пар тертя, забезпеченні конструкції форм та розмірів для оптимізації мащення, створення захисних ущільнюючих систем та елементів. Відповідно ці методи використовують на початковому етапі – етапі розробки конструкторської документації на механізм чи машину. Основними перевагами цього методу є вирішення питання бажаної довговічності на етапі розробки рухомого з'єднання. Недоліком такого методу є значні затрати, при необхідності внесені змін у конструкцію виробу. Так як, у

такому випадку, необхідно вносити зміни в устаткування та обладнання, технологічні карти виробництва чи обробітку деталей та ін.

Технологічні методи підвищення довговічності трибоспряжень засновані на дотриманні високої точності виготовлення деталей а також високої стабільності властивостей створених деталей, їх поверхневих шарів або наплавних матеріалів [9, 10]. Основними недоліками технологічних методів є саме нестабільність отриманих властивостей матеріалів та розмірів деталей. Багато в чому це обумовлено недостатньою автоматизацією технологічних процесів виробництва.

Серед експлуатаційних методів найчастіше застосовують процеси припрацювання деталей трибоспряжень та повне виконання вимог інструкції з експлуатації, в тому числі й вимог щодо періодичності та обсягу системи технічного обслуговування. Експлуатаційні методи дозволяють суттєво підвищити довговічність трибоспряжень, тільки за рахунок використання якісних витратних матеріалів, запасних частин та високої якості виконання необхідних робіт. Одним з вагомих недоліків вказаного методу є значні затрати коштів та часу на виконання вказаних вище вимог.

Як було розглянуто раніше, сільськогосподарські машин працюють в умов підвищеної запиленості, тому їх трибоспряження потребують захисту. Для захисту від негативної дії зовнішнього середовища (пилу, вологи та ін.) в конструкціях трибоспряжень передбачають спеціальні захисні елементи (ущільнювачі, системи каналів та ін.) [11, 12]. Такі рішення дозволяють отримати бажаний ефект, але їх габаритні розміри та вартість, обмежує сферу використання. Зазвичай, їх використовують для підшипників кочення. В той час, як підшипники ковзання захищають шляхом періодичного мащення консистентними мастилами. Це дозволяє створити, так званого ефект «виштовхування» абразивних частинок та вологи із зони тертя. Сучасні виробники сільськогосподарської техніки навіть пропонують автоматичні системи мащення, але їх вартість поки що досить висока.

Найбільш проблемне завдання – забезпечення достатньої довговічності трибоспряжень, що працюють в зоні з значною кількістю абразивних час тинок та мають невисоку вартість. Одним із можливих рішень є використання матеріалів, які б добре працювали в режимі тертя без мащення та забезпечували достатню довговічність трибоспряження. Одними з таких матеріалів є конструкційні пластики на основі ароматичних та аліфатичних поліамідів. Полімерно-композиційні матеріали (ПКМ), що створюють на їх основі дозволяють отримувати матеріали із запрограмованими властивостями під конкретні умови (режими) роботи [13-15]. При цьому, у науковій літературі недостатньо приділено уваги використанні вторинних матеріалів при створенні конструкційних пластиків, наприклад вторинного поліаміду, поліетилентерефталату, відновленого вуглецевого волокна та ін. В умовах не достатнього фінансування та необхідності стабільного забезпечення, такі матеріали можуть мати широке впровадження, зокрема в конструкції сільськогосподарських машин, де режими тертя досить помірні. Крім того, існуючі технології переробки вихідних композитів у вироби не завжди дозволяють отримати оптимальне співвідношення собівартості та одержаних характеристик [16].

### **1.3 Оцінка виробництва та обсяги імпорту-експорту пластиків в Україні**

Останні роки спостерігається тенденція щодо зростання обсягу виробництва пластику у світі – більше 300 млн. т. При цьому, слід звернути увагу, що близько половини цього обсягу – це пластик для разового використання [17, 18]. За рахунок чого спостерігається постійне накопичування вторинних пластиків на звалищах або в спеціально відведених місцях для подальшої переробки. Подальше зберігання переробка та використання відпрацьованих пластиків у світі та контроль їх впливу на екологію

регламентується вітчизняними і закордонними законодавчими актами та організаціями [19, 20].

Елементи та деталі з полімерно-композитних матеріалів чи полімерів широко використовуються, як у побуті, так і в промисловому виробництві та машинобудуванні. Останні роки в Україні спостерігалось зростання витрат на імпорт пластмас. Зокрема у 2021 році затрати на імпорт вказаних матеріалів склав майже 3,6 млрд. дол. США, при цьому на рік раніше від був значно менший – всього 2,5 млрд. дол. США (рис. 1.3). Таке різке зростання пов'язано із суттєвим зростання попиту на вироби з таких матеріалів.

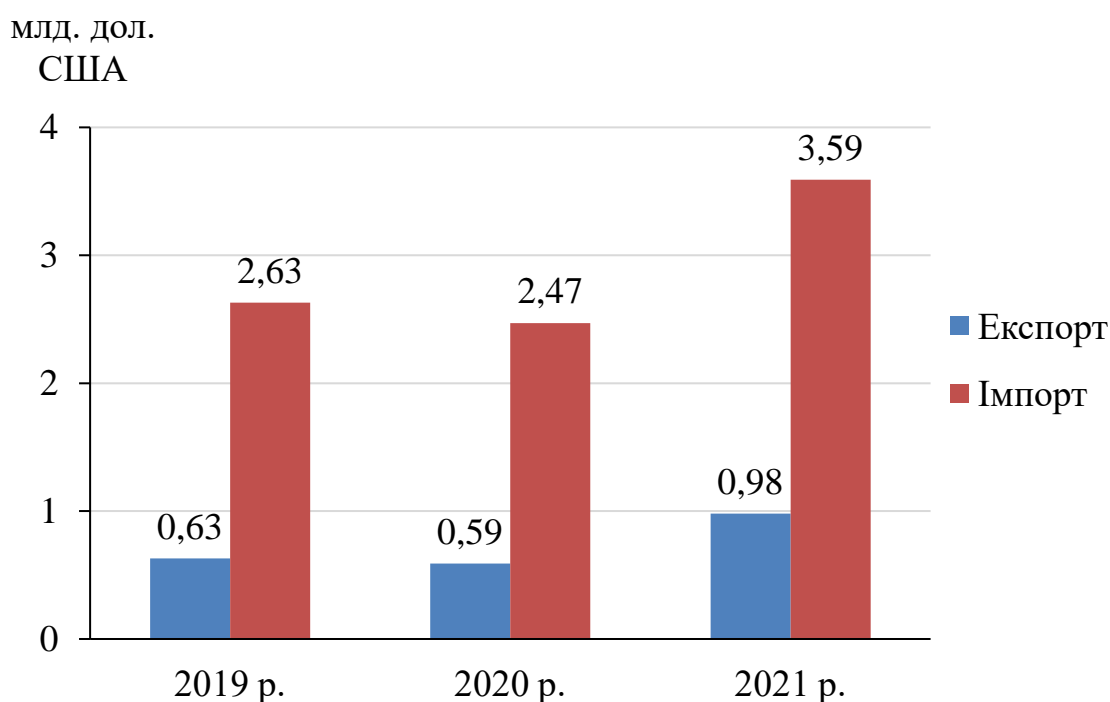


Рис. 1.3 – Обсяги імпорту-експорту пластмас та полімерних матеріалів в Україні

При цьому, слід зауважити, що обсяг експорту таких матеріалів в рази менший від показників імпорту країни (рис. 1.3). Таким чином, можна зробити висновок, що більшість споживачів – це внутрішні споживачі в Україні.

У період 2019-2021 рр. (рис. 1.4) спостерігається тенденція щодо зростання вкладу імпорту полімерів та пластмас в загальному обсягу товарної структури зовнішньої торгівлі Україною. Так, відсотковий вклад у 2019 році



становив 4,4 %, тоді як у 2021 році він вже сягнув 4,9 %. Зростання на 0,5 % є досить суттєвим, з врахуванням всього імпорту країни. Основна причина такого зростання – це збільшення сфер використання пластмас та полімерних матеріалів та зростання попиту на постійну продукції зі вказаних матеріалів, не тільки для споживачів України, а й закордонних замовників.

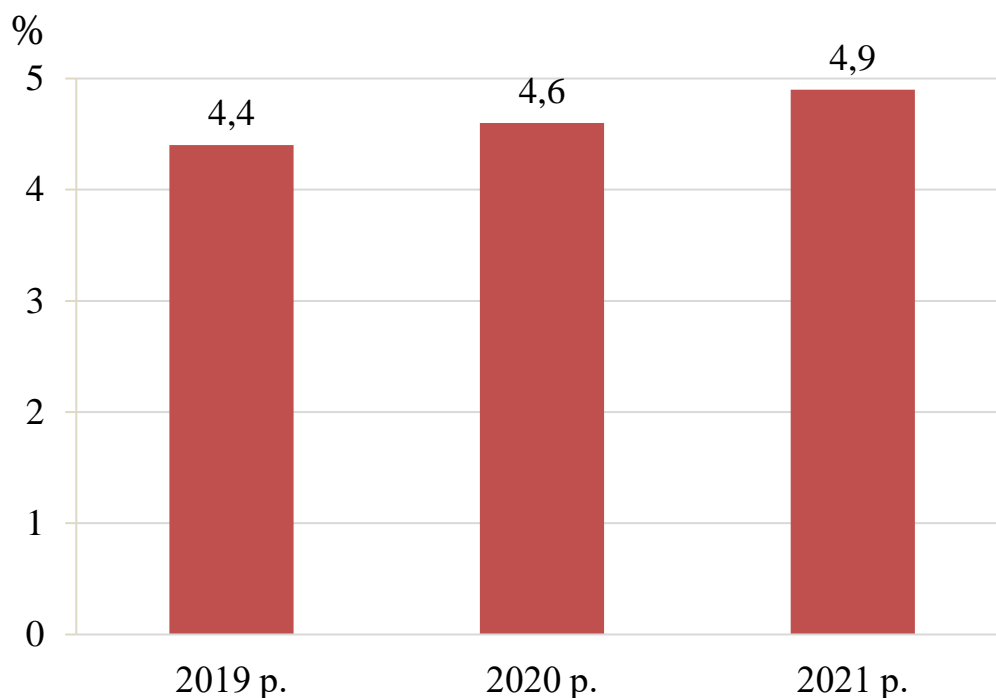


Рис. 1.4 – Відсотковий вміст обсягу імпорту полімерів та пластмас у загальній структурі зовнішньої торгівлі України у 2019...2021 роках (дані Державної служби статистики України)

Найбільший обсяг імпорту, серед вище вказаних груп товарів займає поліетилен в первинній формі – майже 286,5 тис. т. При цьому, експортується вказаного матеріалу вчетверо менше – 71,3 тис. т. Крім поліетилену, значний обсяг імпорту пластмас в Україні займають пропілен, поліатеталі, стірол, поліаміди та ін. Загальну структуру експорту-імпорту основних полімерів за 2021 рік [21] представлено в табл. 1.1.

Експорт-імпорт основних пластиків Україною (тис. т.)

Назва пластику чи полімерного матеріалу	Експорт	Імпорт
Поліетилен (первинна форма)	71,3	286,5
Поліацеталь (різні форми)	13,82	223,03
Смоли (фенолоальдегідна) та поліуретани:	0,57	199,13
Пропілен	1,1	141,9
Стирол (різні види)	0,5	86,9
Полівінілхлорид	212,13	62,37
Полімери на основі акрилу	0,63	39,71
Поліамід (первинна форма)	0,84	6,12

Останні роки дві третини від необхідного обсягу первинних пластиків та полімерів Україна отримували за рахунок імпорту [22]. Виробництво первинних пластиків становило в різні роки незначну частку у загальній структурі хімічної промисловості – всього 10...14 %. В той час, як обсяги виробництва виробів із полімерів чи пластмас в структурі виробництва готової продукції хімічної промисловості, сягають 70...83 % [22].

Спираючись на наведені дані, можна зробити висновок, що основним споживачем створених виробів з полімерів чи ПКМ є внутрішній споживач. Із таких матеріалів виготовляють, корпусні деталі, як побутових приладів, так і елементи конструкцій машин і механізмів для промислового обладнання чи устаткування. При цьому, значна частина виробів із пластмас – це пакувальні матеріали, які зазвичай одноразового використання [23].

#### **1.4 Стан та перспективні шляхи переробки пластиків в Україні**

Спочатку потрібно розібратися в питанні, куди відправляють відпрацьований (вторинний) пластик після його використання. Для цього

розглянемо структуру відходів та стан їх переробки в Україні. На сьогоднішній день в Україні повторній переробці, зокрема тверді побутові відходи піддаються тільки до 7 %, від загального обсягу утворених. В той час, як за кодоном цей показник, перевищує 70 %, а в деяких країнах сягає майже 100 %. Основні напрямки переробки відходів за кордоном наведені на рис. 1.5.

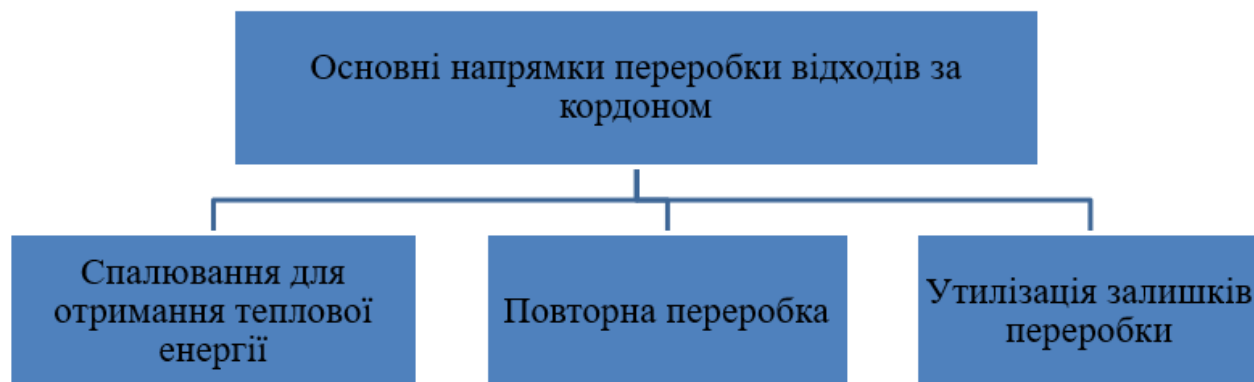


Рис. 1.5 – Основні шляхи переробки ТПВ

Основною проблемою налагодження переробки відходів в Україні шляхом спалювання є висока вартість обладнання для забезпечення норм екологічності викидів при такому процесі. Тому, у найближчому майбутньому, одним із актуальних напрямків переробки вторинних матеріалів в Україні буде повторне їх використання для виготовлення аналогічних виробів або інших виробів. Серед переваг вказаного шляху є незначні витрати на реалізацію повного циклу переробки, у порівнянні зі спалюванням.

Значна частина, майже 73 %, відходів в Україні (рис. 1.6) відправляється на спеціальні відведені місця – звалища, і тільки близько 27 % – утилізується [21].

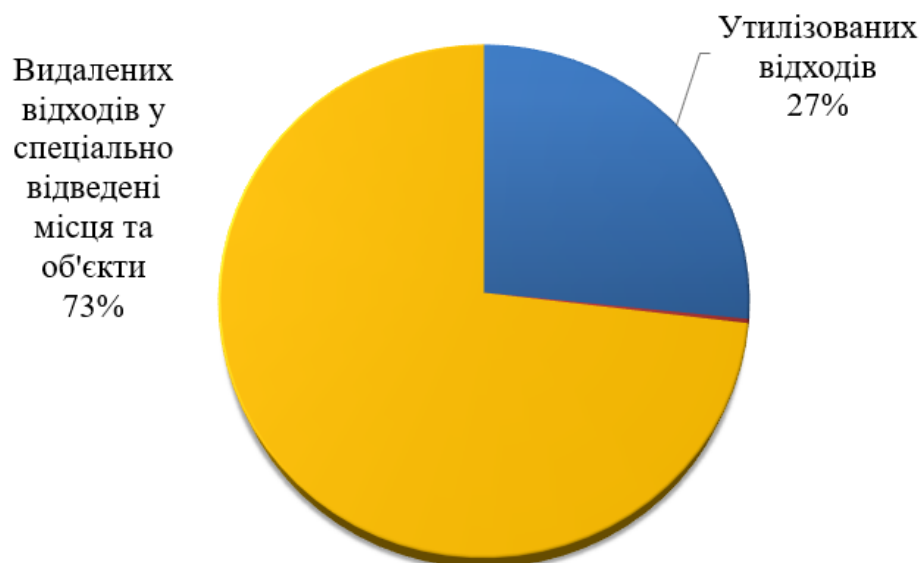


Рис. 1.6 – Структура поводження з відходами станом на 2021 рік

В структурі відходів пластики займають, в залежності від розташування та особливостей місцевості, від 15...16 % до 33...36 %

Структура відходів, що потребують подальшої переробки чи утилізації, в більшості випадків, відрізняється в залежності від розташування побутових та промислових підприємств в зоні аналізу. Зокрема, відходи пластиків та матеріалів що мають пластики у своєму складі становить від 16 % до 35 % [24].

Відходи пластику нагромаджуються в у значних обсягах, станом на 2020...2021 рр., вони сягали більше 50 тисяч тон. При цьому, основна проблема широкого впровадження їх переробки в Україні є технологічні процеси пов'язані із сортуванням. Складність сортування обґрунтована близькими фізичними властивостями полімерних матеріалів та пластмас [25-27]. В структурі відходів пластику найбільше полімерних матеріалів на основі етилену (поліетилену) – більше 30 %, друге місце посідають матеріали на основі поліетилентерефталату або ПЕТФ – 19 %, третє місце – матеріали на основі поліаміду – 18 %. Значний обсяг накопичення поліетилену у відходах пов'язано з тим, що цей матеріал є основним серед пакувальних матеріалів (для

харчових продуктів та промислової хімічної продукції), поліетиленової плівки та ін.

За остання роки, майже половина утворених пластикових відходів у світовому масштабі відновиться саме до пакувальних матеріалів. Вказана проблема актуальна також і для України [28]. Більшість відходів пластиків може бути повторно використано для аналогічних виробів або виробів, що не потребують високих фізико-механічних властивостей та характеристик.

Технологічний процес переробки відходів пластиків, зазвичай, має певну типову схему (рис. 1.7). При цьому, для зменшення затрат на сортування відходів, необхідно виконувати роздільне їх збирання. В Україні діють законодавчі акти, що регламентують необхідність роздільного збирання та порядок утилізації, переробки чи зберігання [29].

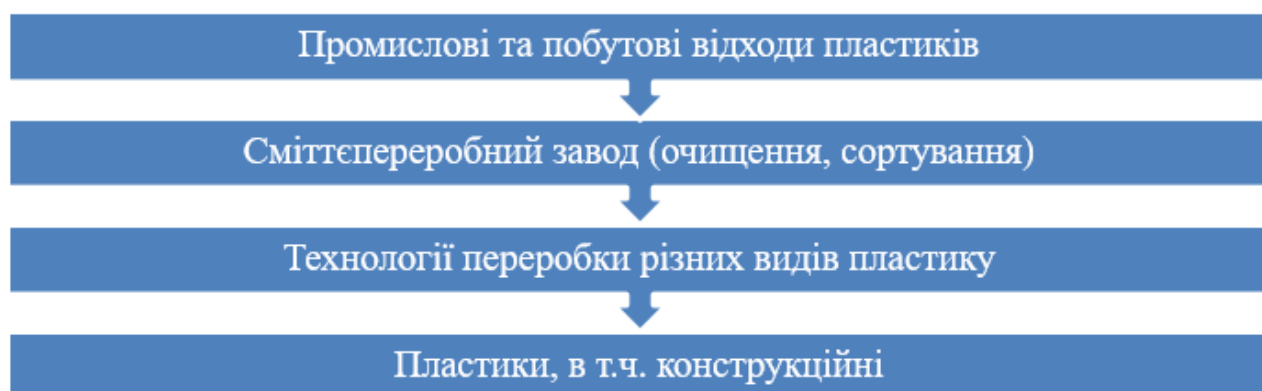


Рис. 1.7 – Типова технологічна схема при переробці відходів пластику

Проте, реально процес роздільного збирання перебуває на початковому етапі та широкого впровадження не набув. Є деякі громади, що впровадили роздільне збирання відходів, і вони отримують прибуток від реалізації вторинних матеріалів. Тому важливість вторинної переробки обґрунтована не тільки екологічним аспектом, а й економічним – можливість одержання прибутку. Для цього в світі займаються цим питанням вчені різних країн.

При цьому, необхідно розуміти, що вторинні пластики мають дещо нижчі фізико-механічні характеристики, у порівнянні з вихідним матеріалом. Деякі

переробні заводи були змушені до війни імпортувати сировину із за кордону, так як обсягу який поступав з України було недостатньо. В сучасних умовах, попит на вторинні полімерні матеріали або пластики незначний. Це обґрунтовується необхідністю внесення змін у конструкцію деталей та технологічні режими обладнання та устаткування для отримання готових виробів із них.

Сучасне машинобудування широко використовує, крім полімерів чи пластиків, полімерно-композитні матеріали (ПКМ). Такі матеріали можуть застосовуватися для ущільнення трибоспряжень (захисту їх від агресивної дії середовища), в якості елементів трибоспряжень або, як частини несучої конструкції механізмів та машин. Основна проблема щодо використання ПКМ у конструкціях машин сільськогосподарського призначення – вартість одержання деталей із вихідного матеріалу. Саме тому, вітчизняна сільськогосподарська машинобудівна галузь мало використовує такі матеріали у конструкціях своїх машин. При цьому, закордонні виробники широко використовують ПКМ у конструкціях своїх машин, що дозволяє забезпечити більшу довговічність, у порівнянні з аналогічними вітчизняними.

ПКМ дозволяють отримувати широкий діапазон зміни характеристик та властивостей одержаних матеріалів шляхом введення наповнювачів до матриці основного компоненту. Дослідження характеристик та властивостей ПКМ дозволяє обґрунтувати їх застосування в тих чи інших вузлах тертя, з врахуванням режимів роботи конкретно взятого рухомого з'єднання. Це дозволяє забезпечити необхідну надійність механізмів та машин в цілому. Таким чином, можна розробляти матеріали із «запрограмованими» характеристиками та властивостями під конкретні умови експлуатації майбутніх деталей чи конструкцій.

Значна частина конструкційних пластиків, що використовуються в машинобудівній галузі України закордонного виробництва. Після повномасштабного вторгнення росії в Україну, логістичні шляхи поставок багатьох товарів перервалися. Відсутність поставок пластиків, в тому числі

конструкційних, може суттєво вплинути на економічну ситуацію в хімічній промисловості та оборонній сфері. Тому, існує необхідність у сталому забезпеченні всіх сфер промисловості сировиною ПКМ вітчизняного виробництва. Це дозволить значно підвищити економічну безпеку вітчизняного виробництва та зменшити залежність від імпоротної сировинної бази.

### **1.5 Обґрунтування теми дипломної роботи**

Наведені шляхи підвищення довговічності трибоспряжень мають, як свої переваги, так і недоліки. Основним недоліком всіх наведених заходів є значні затрати коштів або на стадії проектування, або під час експлуатації механізмів та машин. Використання полімерно-композитних матеріалів дозволяє значно підвищити довговічність трибоспряжень, при цьому забезпечити незначні зміни конструкції (або навіть без змін) та невисокої собівартості технічного рішення в цілому.

Слід зауважити, що різноманіття матеріалів неметалевого походження, що теоретично можуть забезпечити працездатність елементів трибоспряжень сільськогосподарської техніки досить значне. Відповідно і технології одержання готових деталей з них може відрізнятися в рази. При цьому, слід пам'ятати, що необхідно знайти так звану «золоту середину» – незначна собівартість трибоспряження та необхідна його довговічність. Цього можна досягнути саме адаптацією або оптимізацією складу ПКМ для забезпечення необхідних фізико-механічних та триботехнічних характеристик і властивостей. Особливу увагу, для рухомих з'єднань, необхідно приділяти, працездатності в умовах дії абразивного середовища.

Саме тому, розробку ПКМ необхідно починати з точки зору майбутньої сфери їх застосування (режимів роботи, умов експлуатації та особливостей конструкції). Тому, метою дипломної роботи є підвищення довговічності елементів рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки обґрунтуванням їх параметрів.

Поставлена мета буде досягнута вирішенням таких задач:

6. Виконати аналіз умов використання рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхи підвищення їх довговічності.

7. Розробити програму робіт та розглянути методики виконання досліджень.

8. Навести результати досліджень та обґрунтувати вибір оптимального складу матеріалу для трибоспряжень сільськогосподарської техніки, що працюють в умовах абразивного середовища.

9. Навести основні вимоги при роботі з полімерними матеріалами та виконанні експериментальних досліджень.

10. Виконати техніко-економічну оцінку роботи.



## 2. ПРОГРАМА, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Програма та основні завдання експериментальних досліджень

Спираючись на умови роботи елементів трибоспряжень механізмів сільськогосподарської техніки необхідно обрати ПКМ, що будуть забезпечувати достатні фізико-механічні характеристики та довговічність. При цьому, вибір конкретного матеріалу потрібно виконувати також із точки зору собівартості деталей, а не тільки забезпечення міцнісних показників. Довговічність деталей з ПКМ можна орієнтовно визначити, спираючись на величину їх зносу. Так як, для таких матеріалів, залежність зносу від напруження, має лінійний характер.

Забезпечення країни конструкційними пластиками, власного виробництва, призведе до збільшення імпортозаміщення та підвищення незалежності підприємств від зовнішніх чинників.

Використання високоякісних вторинних матеріалів, для виробництва конструкційних пластиків, дозволяє зменшити їх собівартість, при цьому забезпечивши досить високі характеристики та властивості кінцевого матеріалу. Тому, в роботі запропоновано використовувати ВВ, що одержані шляхом переробки ровінгів. Навіть для вторинного ВВ, вартість його залишається високою – орієнтовно 2400 грн/кг. Тому, оптимізація вмісту вторинного вуглецевого волокна в матриці матеріалу, зокрема поліаміду 6, є актуальним завданням.

Програма експериментальних досліджень містила наступні етапи:

- підготовка компонентів для виготовлення ПКМ;
- отримання ПКМ на двокомпонентному екструдері;
- підготовка ПКМ до виготовлення зразків;
- виготовлення зразків, їх підготовка до проведення досліджень;
- дослідження міцнісних показників ПКМ;

- визначення абразивної стійкості матеріалів;
- аналіз одержаних результатів, надання рекомендацій.

Завданням експериментальних досліджень є визначення оптимального складу ПКМ для підвищення довговічності трибоспряжень сільськогосподарських машин.

## 2.2 Виготовлення експериментальних зразків для проведення досліджень

Компонентами, для отримання ПКМ обрано, як сказано вище, поліамід 6, вторинне вуглецеве волокно довжиною 3 мм (рис. 2.1).

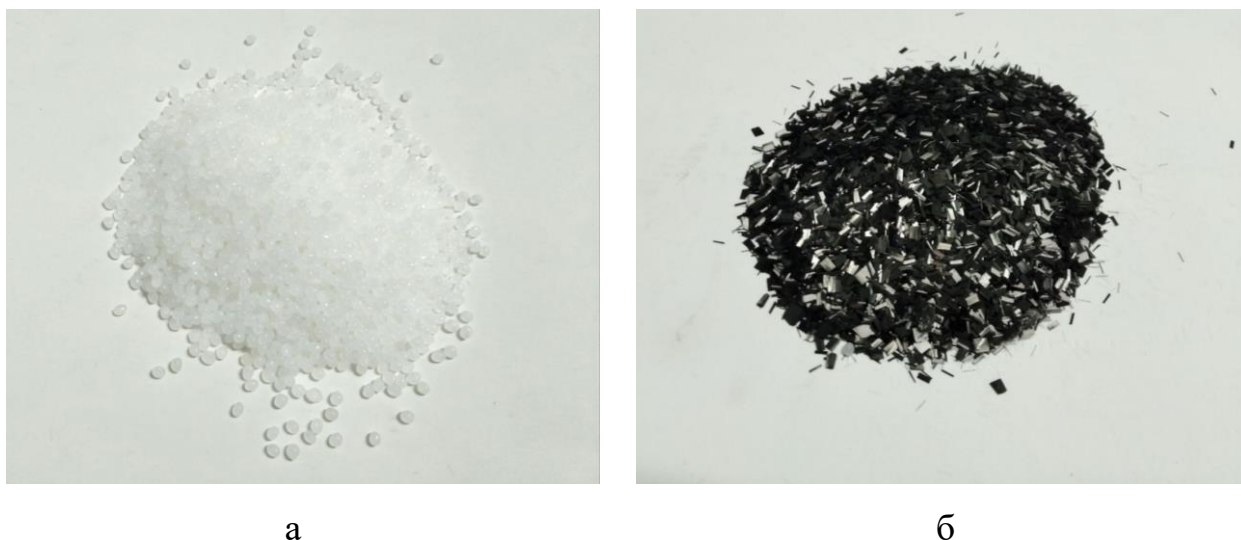


Рис. 2.1 – Основні компоненти ПКМ: а – поліамід-6, б – вторинне вуглецеве волокно

На першому етапі, в якості наповнювача для поліаміду 6, використовували тільки ВВ. Умовні позначення одержаних матеріалів отримали назви: УПА-6-10, УПА-6-15, УПА-6-20, з відповідним вмістом ВВ 10 мас. %, 15 мас. % та 20 мас. %. Крім того, в дослідженнях використовували ПКМ заводського закордонного виробництва – УПА-6-30. Умовні позначення та вміст компонентів в них представлено в табл. 2.1.

Умовні позначення ПКМ та співвідношення компонентів в них

№ з/п	Умовне позначення ПКМ	Вміст компонентів, мас. %	
		Поліамід-6	ВВ
1	УПА-6-10	90	10
2	УПА-6-15	85	15
3	УПА-6-20	80	20
4	УПА-6-30 (закордонного виробництва)	70	30

Вказані компоненти дозувалися, змішувалися та перероблялися на двокомпонентному екструдері (рис. 2.2). Одержані матеріали мали вигляд гранул діаметром 2...3 мм та довжиною 3...6 мм.



Рис. 2.2 – Двокомпонентний екструдер для полімерних матеріалів (пластиків)

Перед переробкою гранул у виробі (зразки), для видалення вологи з матеріалів, їх просушували в термошафі за температури 90...100 °С протягом щонайменше 2 годин (рис. 2.3).



Рис. 2.3 – Термошафа для полімерів СНОЛ 67/350

Необхідність видалення вологи з матеріалів обґрунтовано гігроскопічність їх матриці – поліаміду 6. Якщо не виконати даний підготовчий процес, то волога при нагріванні матеріалу перетворюється в пару та може створювати порожнини всередині готових деталей (зразків). В результаті чого значно погіршуються фізико-механічні характеристики матеріалів (неоднорідна структура).

Після підготовки матеріалів, для виготовлення експериментальних зразків, їх засипали в приймальну камеру ливарної машини (рис. 2.4).



Рис. 2.4 – Машина для переробки полімерних матеріалів литтям під  
ТИСКОМ

Виготовлення зразків відбувалося за такою технологією [30, 31]. ПКМ засипається у приймальний бункер (зону), з якої самоплинним потрапляє до нагрівального циліндру. В нагрівальній камері матеріал розігрівається до температури розплаву, для матеріалів на основі поліаміду 6 та ВВ, вона становить 235...250 °С. Температура контролюється за допомогою електронної системи керування з термопарами. Після досягання необхідної температури матеріалу в нагрівальному циліндрі, за допомогою гідроциліндра, що розташований у верхній частині, відбувається подача розплаву матеріалу в прес форму. Наступним етапом є витримка прес форми під тиском для проходження процесів усадки ПКМ. В середньому час витримки складає 25...40 с., і залежить від розмірів деталі та конструкції самої прес форми. Після чого прес-форму вручну розбирали та виймали готові зразки.

Зразки для дослідження фізико-механічних характеристик та абразивної зносостійкості мали вигляд представлений на рис. 2.5.



а



б

Рис. 2.5 – Експериментальні зразки для дослідження: а – фізико-механічних характеристик, б – абразивної зносостійкості

Час між литтям експериментальних зразків та проведенням досліджень характеристик та властивостей повинен становити не менше 48 год. Це обумовлено необхідністю повного завершення процесів усадки.

### 2.3 Методика дослідження міцнісних характеристик матеріалів

Визначення міцнісних характеристик досліджуваних матеріалів виконувалося, відповідно до вимог ГОСТ 4651-82, на випробувальній машині FP-100/1 (рис. 2.6).

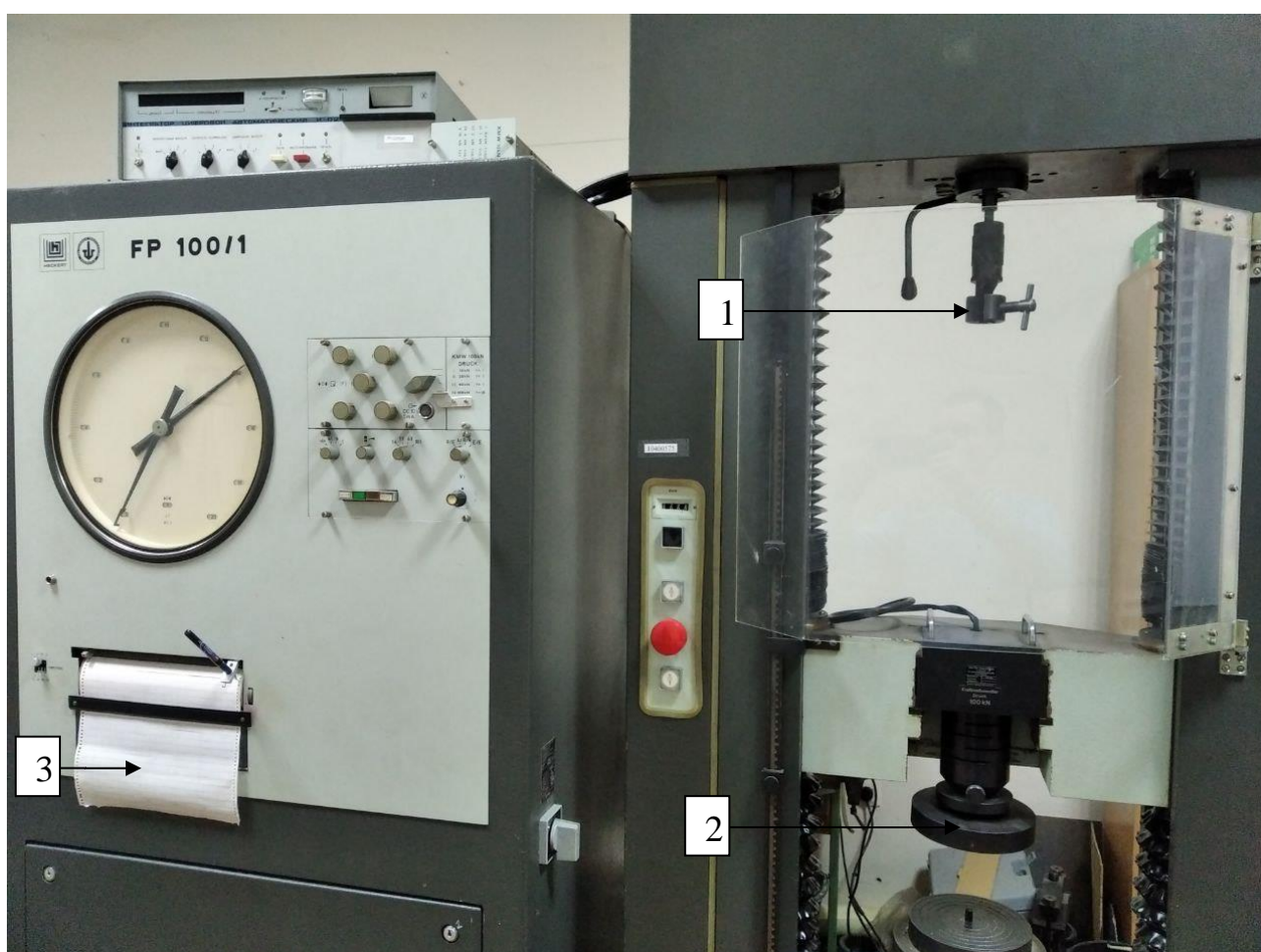


Рис. 2.6 – Машина випробувальна FP-100/1

1 – обладнання для дослідження матеріалів на розтяг; 2 – пристосування для випробування на стискання; 3 – самописець.

Для визначення напруження текучості при стисканні використовували стандартизовані зразки, що мають діаметр 10мм та висоту 15 мм. Перед

виконанням дослідження необхідно виконати підготовку вказаних зразків створенням паралельності між опорними площинами, з відхиленням не більше 0,1 %.

Межу напруження текучості при стисканні ( $\sigma_p$ ) визначали за виразом:

$$\sigma = P / F, \quad (2.1)$$

де  $P$  – навантаження, МПа

$F$  – середньо виважена площа поперечного перерізу експериментального зразка, мм<sup>2</sup>;

$$F = \pi d^2 / 4, \quad (2.2)$$

де  $d$  – діаметр зразка, мм.

Ударну в'язкість досліджували, відповідно до ГОСТ 4647-80, на маятниковому копрі КМ-0,4 за методом Шарпі [30, 31].

Випробування відбувалося за такою методикою. Перед виконанням робіт необхідно виконати сушіння зразків відповідно до умов з використання ПКМ. Після чого вимірюють ширину і товщину зразка в декількох місцях, зазвичай мінімум в 3 точках в центральній частині, та визначають середнє арифметичне значення розмірів.

Експериментальний зразок вкладається на опори, відстань між якими становить 40 мм. Зразок руйнується силою ударом молотка копра, що прикладається до середини між опорами. Копр фіксує енергію, що витрачається на руйнування досліджуваного зразку.

Ударну в'язкість експериментальних зразків розраховували за виразом, в кДж:

$$a_n = \frac{A_n}{b \cdot s \cdot 1000} \quad (2.3) \text{де } A_n \text{ – енергія удару, що}$$

затрачається копром на руйнування експериментального зразка, кДж/(кг/см<sup>2</sup>), знімається з циферблату приладу;

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

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

## 2.4 Методики визначення відносної абразивної стійкості

Експериментальні зразки для дослідження відносної абразивної стійкості виготовлені відповідно до вимог ГОСТ 23.208-79, з розмірами 53×29×7 мм.

Густина зразків  $\rho$  визначали методом гідростатичного зважування за ГОСТ 15139-69. Суть методу полягає у зважуванні зразку у повітрі та зважуванні зразку, який підвішений до коромисла терезів та повністю занурений у дистильовану воду (рис. 3.7).

Густина досліджуваних матеріалів розраховували за відношенням маси зразка у повітрі до різниці мас у повітрі та у воді:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} (\rho_p - \rho_n) + \rho_n \quad (2.4)$$

де:  $m_1, m_2$  – відповідно маса твердого тіла визначена при зважуванні в повітрі і рідині, г;

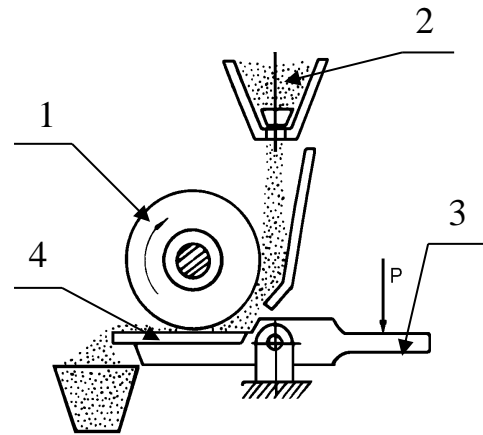
$\rho_p, \rho_n$  – густина відповідно рідини і повітря.



Рис. 3.7 – Аналітичні терези ВЛР-200



Дослідження абразивної стійкості проводили шляхом визначення величини зносу зразків за однакових умов. Для цього використовували машину для дослідження тертя та зношування СМЦ-2, зі встановленим спеціальним (рис. 2.7).



а

б

Рис. 2.7 – Машина СМЦ-2: а – з устаткування для подачі абразиву в зону тертя, б – схематичне зображення процесу абразивного зношування: 1 – ролик із гумовим ободком; 2 – електрокорунд (абразив); 3 – навантажувальний механізм; 4 – досліджуваний зразок

Дослідження відносної абразивної стійкості полягає в примусовому зношуванні еталонного зразку та досліджуваних зразків. Процес зношування базується на використанні не жорстко закріпленого абразиву, що безперервно подається в зону тертя із бункера та протягується гумовим роликом по досліджуваному зразку.

Перед випробуванням виконували притирання гумового ролика шляхом тертя його по спеціальному шліфувальному папері, зернистістю № 8П. Після завершення даного процесу гумовий ролик необхідно промити у бензині або спирті.

Умови дослідження відносної абразивної стійкості:

- кількість обертів ролика – 300 об.,
- навантаження – 44 Н,
- параметри ролика: ширина – 15 мм, діаметр – 50 мм.

Вагову величину зносу зразків визначали шляхом зважування до і після випробування за допомогою аналітичних терезів з високою дискретністю 0,0001 г (рис. 2.8).



Рис. 2.8 – Аналітичні терези METRINCO AB224

Відносну абразивну зносостійкість досліджуваних ПКМ визначали за виразом:

$$K_u = \frac{U_e \cdot \rho_d \cdot n_d}{U_d \cdot \rho_e \cdot n_e}, \quad (2.5)$$

де  $\rho_e$ ,  $\rho_d$  – густина еталонного матеріалу та матеріалу, що досліджується відповідно, кг/м<sup>3</sup>;

$n_e$ ,  $n_0$  – загальна кількість обертів ролика, відповідно для еталонного та досліджуваного матеріалу;

$U_e$ ,  $U_0$  – масовий знос відповідно еталонного та зразку з яким відбувається порівняння зразків, кг.

Для визначення відносної абразивної стійкості еталонним зразком обрано зразок УПА-6-15, величину зносу якого прийнято за одиницю.

## 2.5 Обладнання та методика дослідження поверхонь тертя

Дослідження поверхонь поверхонь тертя зразків, виконували з використанням мікроскопу МБИ-6 обладнаного окулярною камерою SIGETA MDC-500 та ноутбука (рис. 2.9).

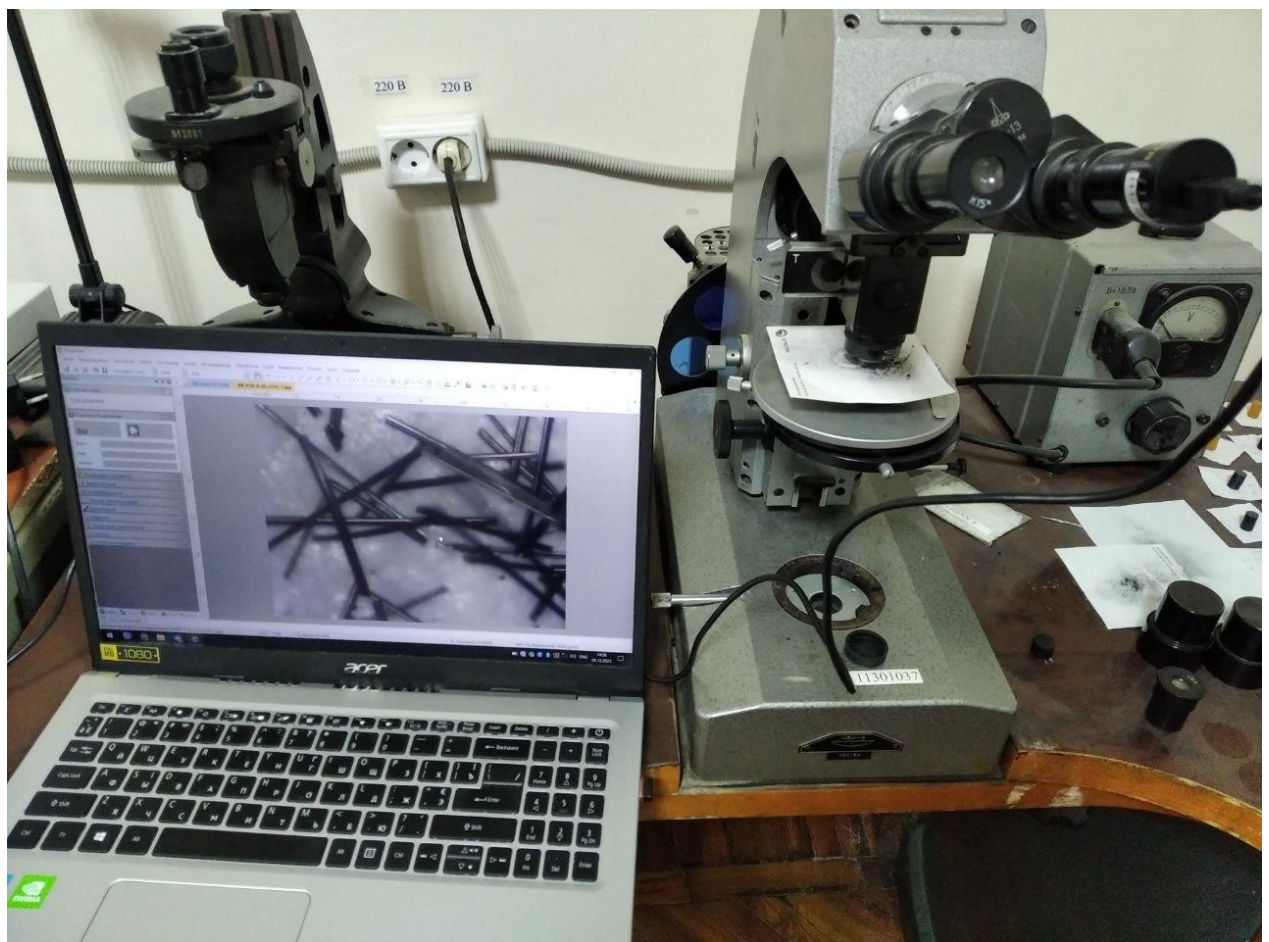


Рисунок 2.9 – Мікроскоп МБИ-6 з окулярною камерою та ПК

Для отримання зображення з окулярної камери та їх аналізу використовували програмне забезпечення Tour View. При цьому, збільшення фотознімків становило  $\times 135$  разів.

Відповідно до програми робіт та наведених методик виконані дослідження міцнісних характеристик та визначено відносну абразивну стійкість досліджуваних ПКМ. Отримані результати та їх аналіз висвітлені у наступному розділі даної роботи.

### **3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1 Результати дослідження міцнісних характеристик матеріалів**

Високі фізико-механічні характеристики ПКМ є основою для забезпечення працездатності елементів трибоспряжень за різноманітних режимів роботи. Проте, в більшості випадків, високі значення цих показників можна забезпечити введення дорогих наповнювачів до матриці полімерного матеріалу. Це призводить до зростання собівартості таких матеріалів та обмеження можливих конструкцій для їх впровадження. Зокрема, проста сільськогосподарська техніка (культиватори, сівалки, дискові борони та ін.) – машини, що мають відносно невисоку вартість. Зростання їх вартості може суттєво вплинути на їх конкурентоспроможність. Тому, виробники техніки не охоче йдуть на зміну конструкції, навіть за умови підвищення довговічності роботи машини в цілому.

Розробка вітчизняних ПКМ, в тому числі із вторинних компонентів дозволить зменшити собівартість таких матеріалів, у порівнянні із закордонними.

Першочерговим етапом дослідження ПКМ є визначення міцнісних характеристик, що повинні відповідати навантаженням, що діють на трибоспряження машин, в конструкцію яких планується впроваджувати дані матеріали.

Одними із основних фізико-механічних характеристик ПКМ є ударна в'язкість та напруження текучості при стисканні. Відповідні показники характеризують здатність матеріалу опиратися ударним навантаженням та сталому значенню навантаження без зміни геометричних розмірів та форм готових деталей.

Результати дослідження ударної в'язкості досліджуваних матеріалів наведено на рис. 3.1.

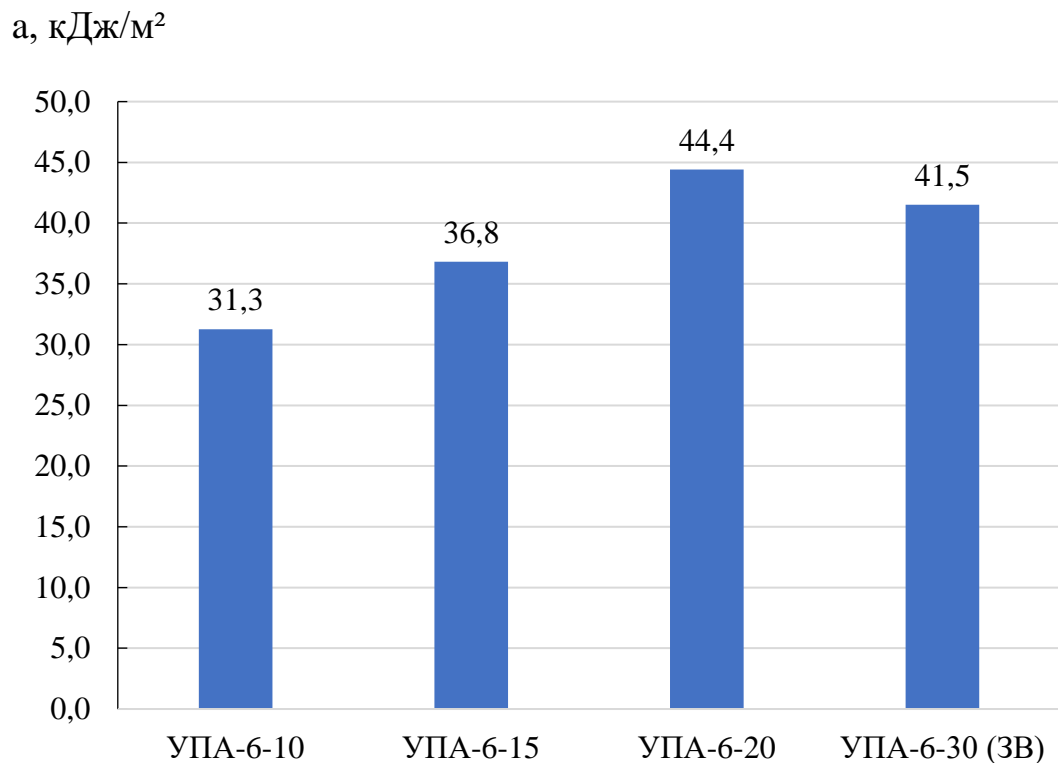


Рисунок 3.1 – Ударна в'язкість досліджуваних ПКМ

Проаналізувавши одержані результати (рис. 3.1), можна зробити висновок, що найбільшу ударну в'язкість має ПКМ УПА-6-20, що містить 20 мас. % ВВ – 44,4 кДж/м<sup>2</sup>. Подальше збільшення концентрації наповнювача призводить до зниження досліджуваного показника. Це обумовлено зменшенням обсягу матриці ПКМ – поліаміду-6, що виконує функції в'язучого. Навіть незначне зменшення концентрації ВВ на 5 %, до рівня 15 мас. %, призводить до суттєвого зменшення ударної в'язкості на 17,8 % - до 36,8 кДж/м<sup>2</sup>. При цьому, дане значення ударної в'язкості, в більшості випадків забезпечує працездатність ПКМ у трибоспряженнях сільськогосподарських машин. Подальше зменшення концентрації ВВ спричиняє поступове зменшення досліджуваного показника. При виборі конкретного ПКМ необхідно враховувати комплексно декілька фізико-механічних характеристик та властивостей.

Результати дослідження напруження текучості вказаних матеріалів наведено на рис. 3.2.

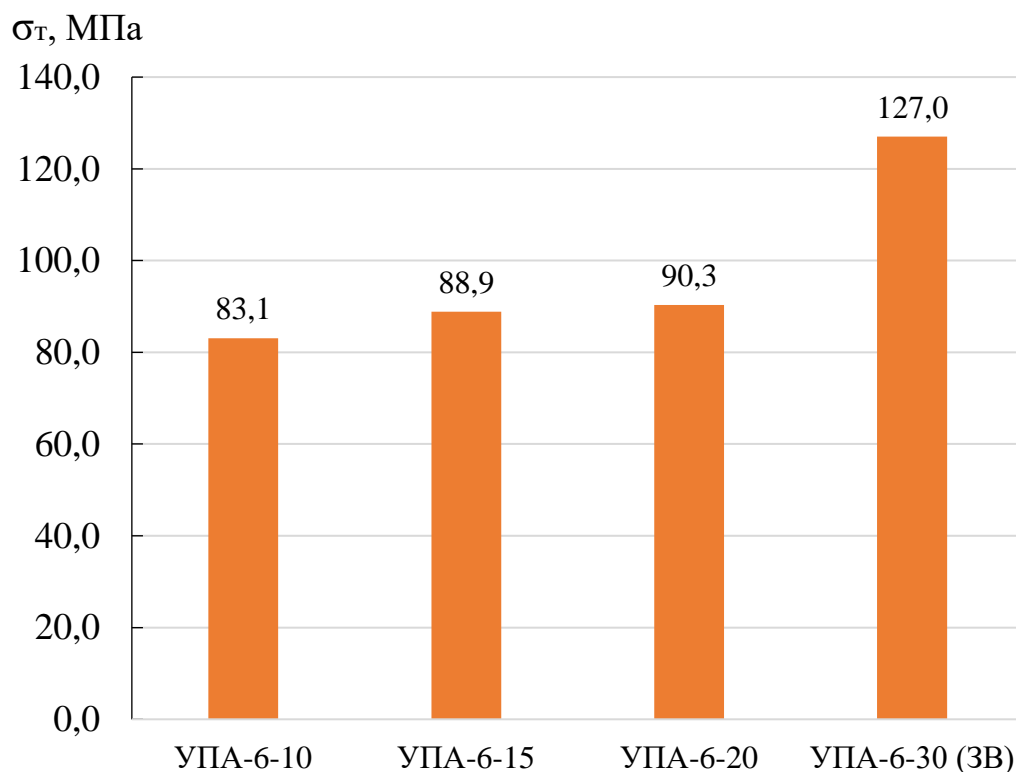


Рис. 3.2 – Напруження текучості досліджуваних полімерно-композитних матеріалів

Дослідженнями встановлено (рис. 3.2), що напруження текучості матеріалів в діапазоні концентрації ВВ в межах 15...20 % має майже однакові значення. Зменшення концентрації ВВ до 10 мас. % призводить до приблизно пропорційного зниження напруження текучості (на 6,5 %), у порівнянні із вмістом ВВ 15 мас. %. Суттєве зростання даного показника (майже на 70 %), зафіксовано для матеріалу, що містить 30 мас. % ВВ – УПА-6-30 (ЗВ). Таким чином, можна зробити висновок, що всі досліджувані матеріали власного виробництва мають достатні показники напруження текучості для використання в трибоспряженнях сільськогосподарських машин. Матеріал УПА-6-30 має значно вищі значення досліджуваного показника, так як ступінь наповнення вуглецевим волокном матриці поліаміду сягає 30 мас. % ВВ створює ефект армування, що дозволяє отримувати такі високі значення даного показника.

### 3.2 Результати визначення відносної абразивної стійкості

Для визначення густини досліджуваних матеріалів, їх масу визначали на терезах ВЛР-200, виконуючи зважування в повітрі та дистильованій воді (рис. 3.3). Тому, густину рідини у формулі (2.4) прийнято рівну одиниці. Масу нитки, за яку підвішували зразки з ПКМ до коромисла, не враховували у розрахунках.



Рис. 3.3 – Зважування зразку з ПКМ на аналітичних терезах в середовищі дистильованої води

Результати визначення густини досліджуваних ПКМ наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати визначення густини ПКМ

№ з/п	Назва (шифр) матеріалу	m повітр.	m у воді	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	УПА-6-10	8,39415	1,28420	1181
2	УПА-6-15	8,11860	1,33555	1197
3	УПА-6-20	8,36730	1,49000	1217
4	УПА-6-30 (ЗВ)	8,23850	1,53650	1229



Збільшення густини ПКМ (табл. 3.1) корелюється із зростанням вмісту ВВ у матриці поліаміду 6.

Величину абразивного зносу зразків визначали зважуванням до та після випробування на аналітичних терезах METRINCO AB224 (рис. 3.4).



Рис. 3.4 – Визначення маси зразку з ПКМ УПА-6-30 на аналітичних терезах після випробування

Зразки після дослідження на абразивне зношування мали вигляд представлений на рис. 3.5.

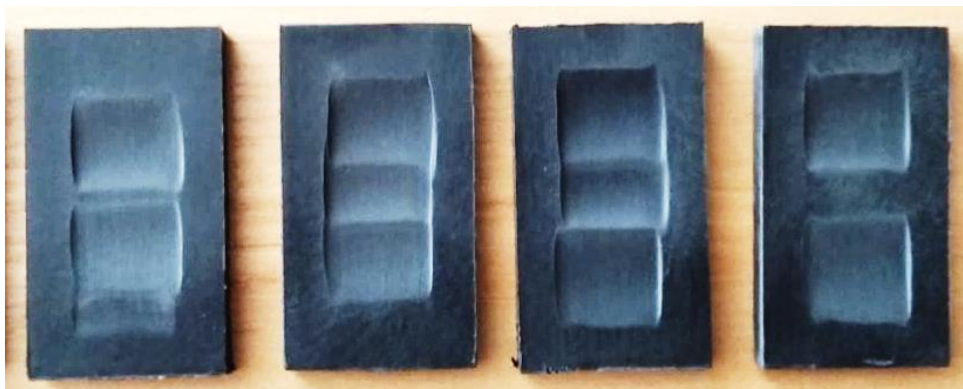


Рис. 3.5 – Загальний вигляд зразків з ПКМ після досліджень на абразивне зношування

Результати визначення зносу та відносної абразивної стійкості матеріалів наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати визначення відносної абразивної стійкості досліджуваних ПКМ

№ з/п	Шифр матеріалу	m0	m1	$\Delta m$	$\Delta m_{сер}$	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Відносна абразивна стійкість
1	УПА-6-10	8,3359	8,2137	0,1222	0,1196	1181	0,715
2		8,2137	8,1013	0,1124			
3		8,1013	7,9771	0,1242			
4	УПА-6-15	8,1124	8,0261	0,0863	0,0867	1197	1
5		8,0261	7,9337	0,0924			
6		7,9337	7,8522	0,0815			
7	УПА-6-20	8,3836	8,272	0,1116	0,1161	1217	0,759
8		8,272	8,1537	0,1183			
9		8,1537	8,0353	0,1184			
10	УПА-6-30 (ЗВ)	8,2418	7,9942	0,2476	0,2385	1229	0,373
11		7,9942	7,748	0,2462			
12		7,7480	7,5262	0,2218			

При визначенні відносної абразивної стійкості ПКМ за еталонний зразок прийнято матеріал УПА-6-15. Результати залежності досліджуваного показника від складу ПКМ наведено на рис. 3.6.

Встановлено (рис 3.6), що найбільшу абразивну зносостійкість має матеріал УПА-6-15. Деяко менші значення досліджуваного показника зафіксовано у ПКМ УПА-6-20 та УПА-6-10 – 0,759 та 0,715 відповідно.

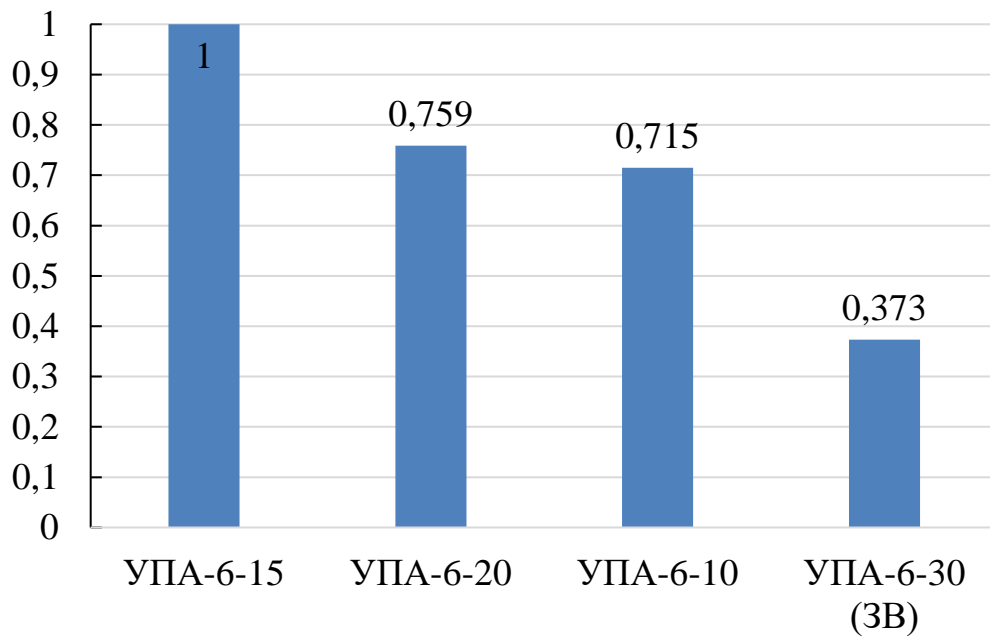


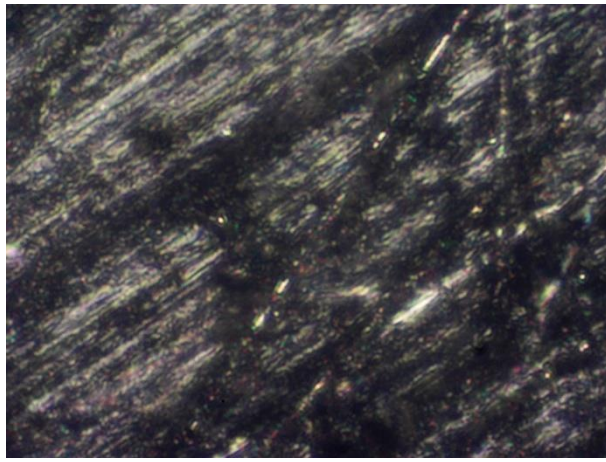
Рис. 3.6 – Відносна абразивна стійкість досліджуваних матеріалів (еталонним зразком прийнято ПКМ УПА-6-15)

Найменшу відносну абразивну стійкість має ПКМ УПА-6-30, тому його не рекомендовано використовувати у трибоспряженнях, що працюють за значної кількості абразивних частинок в зоні тертя.

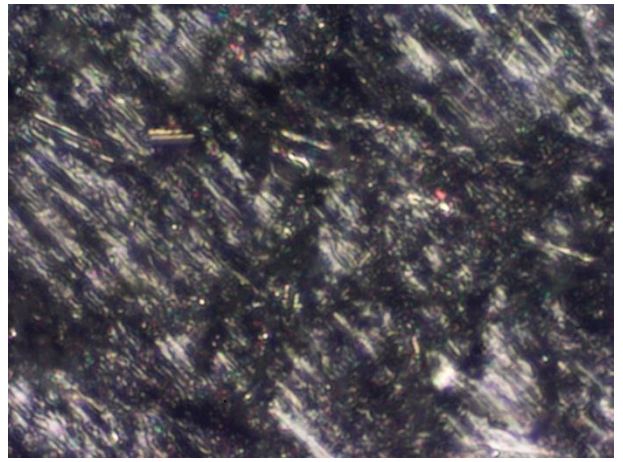
### 3.3 Результати досліджень поверхонь тертя

Дослідження поверхонь тертя виконували при відносно незначному збільшенні  $\times 135$ . Мікрофото поверхонь тертя після проведення досліджень на абразивні стійкість ПКМ представлено на рис. 3.7.

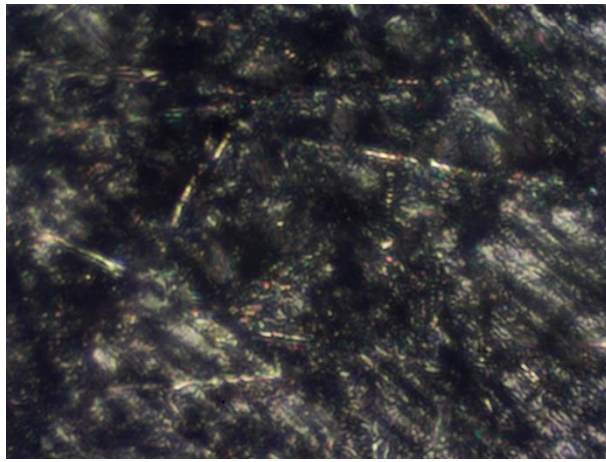
На всіх поверхнях візуально зафіксовано пошкодження у вигляді подряпин за рахунок дії на них абразивного матеріалу. У матеріалі УПА-6-10 на поверхні зафіксовано незначну кількість ВВ волокон, що розташовувалися вздовж напрямку руху абразивних частинок. Крім цього, присутні деякі ВВ, що мають перпендикулярне розташування до площини тертя, тому вони спостерігаються у вигляді незначних білих крапок (рис. 3.7, а).



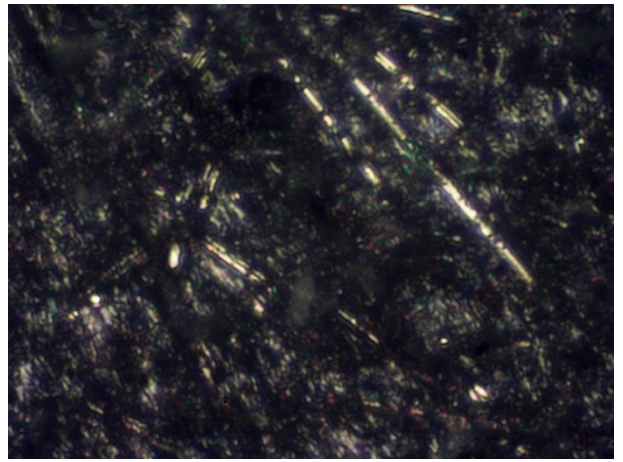
а



б



в



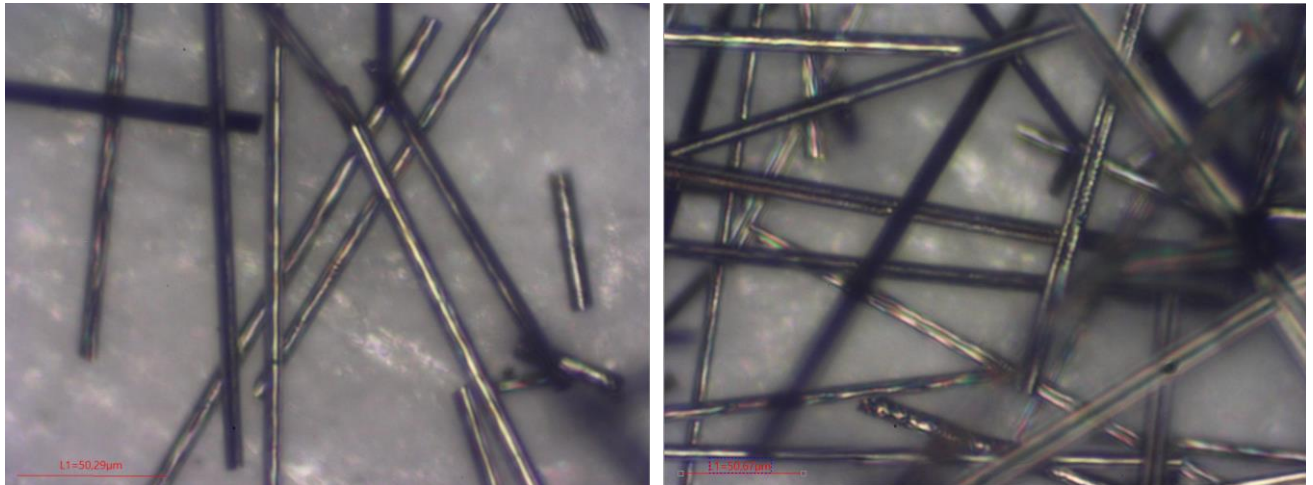
г

Рис. 3.7 – Мікрофото поверхонь тертя ПКМ після випробувань:

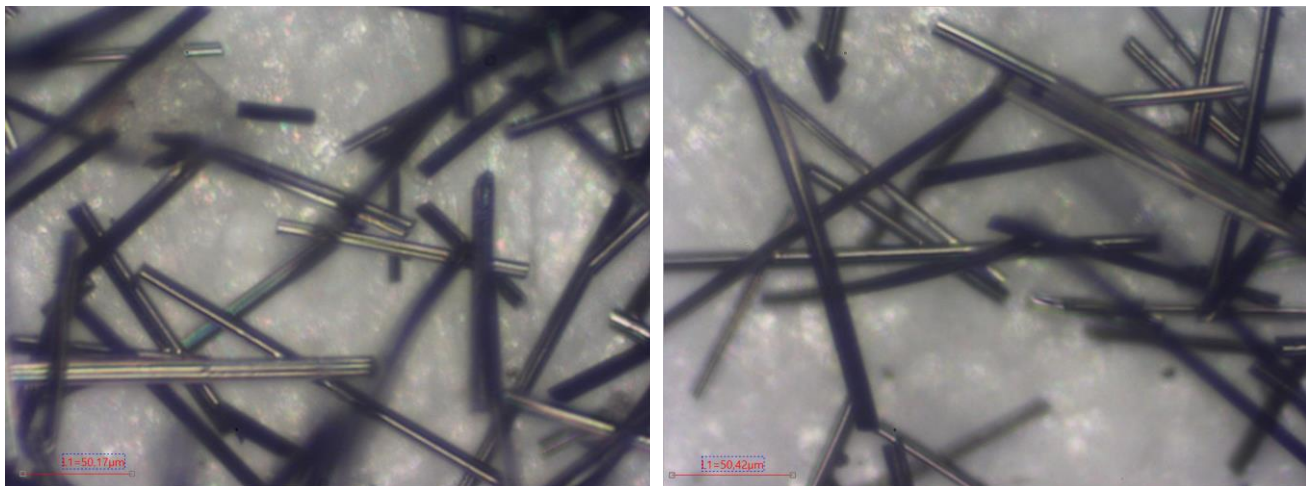
а – УПА-6-10, б – УПА-6-15, УПА-6-20, УПА-6-30

Для матеріалів, що мають вищу концентрацію ВВ спостерігається і відповідна більша кількість цих елементів на мікрофото. Слід звернути увагу, що величина ВВ після його введення у ПКМ власного виробництва та закордонного матеріалу промислового виробництва значно відрізняється. Хоча у технологічному процесі обох матеріалів використовується ВВ довжиною від 2 мм до 3 мм. Дослідженнями мікрофото встановлено, що ВВ у ПКМ власного виробництва мають значно більші розміри, у порівнянні з матеріалом промислового виробництва УПА-6-30. Тому в роботі вирішено виконати спалювання даних ПКМ для встановлення реального вмісту ВВ в них та визначення його орієнтовної довжини в готових гранулах матеріалу.

Для цього досліджувані матеріали зважували на аналітичних терезах перед та після процесу спалювання. Після чого ПКМ поміщали у муфельну піч та нагрівали їх до температури 500 °С, витримка за даної температури відбувалася протягом годин. В результаті чого поліамід повністю вигорав (випаровувався), а залишилися тільки вуглецеві волокна. Залишок після такої процедури зважували та визначали вміст ВВ. Крім того ВВ, що залишилися досліджували на мікроскопі (рис. 3.8).



а



б

Рис. 3.8 – Мікрофотографії вуглецевих волокон досліджуваних ПКМ:

а – УПА-6-20, б – УПА-6-30 ( $\times 135$ )

Аналізуючи отримані мікрофотографії (рис. 3.8), зафіксовано, що ВВ у матеріалу власного виробництва має значно більшу довжину, у порівнянні з

матеріалом закордонного виробництва УПА-6-30. Навіть візуально залишок, після спалювання, ПКМ УПА-6-30 мав фракцію ВВ меншого розміру.

### 3.4 Обґрунтування використання ПКМ в трибоспряженнях

Основний параметр за яким оцінюють працездатність ПКМ є фактор  $pv$  – фактор, що враховує швидкість ковзання та тиск, який припадає на зразок. Дослідженнями встановлено, що в механізмах копіювання сільськогосподарської техніки становить лінійна швидкість  $0,1...0,3$  м/с, а навантаження що діють на трибоспряження не перевищують  $3400$  Н. [31, 32].

В більшості конструкцій посівних та ґрунтообробних машин використовуються системи копіювання поверхні ґрунту типу паралелограм та повідкового типу. Типова розрахункова схема визначення режимів роботи рухомих з'єднань таких механізмів наведено на рис. 3.9.

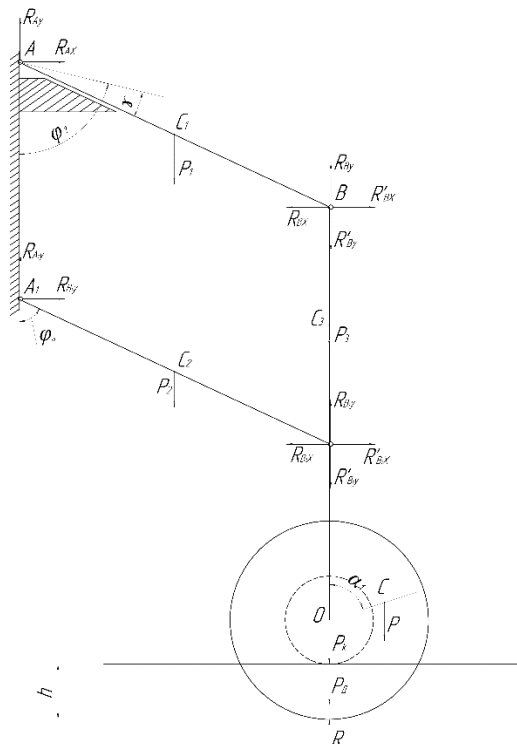


Рис. 3.9 – Типова розрахункова схема механізму копіювання посівних та ґрунтообробних машин паралелограмного типу

В таблиці 3.3 наведено дані щодо режимів роботи рухомих з'єднань деяких посівних та ґрунтообробних машин [31, 32]

Таблиця 3.3

Навантаження, що діють на рухомі з'єднання деяких механізмів копіювання сільськогосподарських машин

№ з/п	Марка та назва машини	Максимальні навантаження на трибоспряження, Н
1	Агро-Союз Turbosem II 19-60	2380
2	Maschio Gaspardo	1765
3	KINZE 3200	1340
4	John Deere 1895	2060
5	John Deere 2110	700

Враховуючи наведені вище дані, рекомендовано використовувати у трибоспряженнях механізмів копіювання культиваторів типу John Deere 2110 ПКМ, що має найвищу зносостійкість, а саме УПА-6-15. Крім того, конструкція механізмів культиваторів зазвичай виконана без додаткового захисту від абразивної дії ґрунту. Для машин, навантаження на рухомі з'єднання становить 1000....2000 Н рекомендується використовувати УПА-6-20, так як цей матеріал хоч і має дещо меншу абразивну стійкість, але його міцнісні характеристики є першочерговими. Для трибоспряжень, навантаження на які перевищує 2000 Н, необхідно застосовувати ПКМ УПА-6-30. Так як цей матеріал має високі міцнісні показники, що забезпечуються помірною абразивною стійкістю. З врахуванням геометрії елементів механізмів копіювання фактор  $\rho v$  в них не перевищує 0,3 МПа·м/с.

Враховуючи розміри деталей для наведених трибоспряжень, можна визначити тиск, що діє на елементи трибоспряження виготовлені з ПКМ. Це дозволяє на етапі проектування (модернізації) конструкції елементів рухомих з'єднань виконати адаптацію (зміну) їх геометричних розмірів для забезпечення оптимального режиму тертя.

У роботі [31] встановлено, що інтенсивність зношування деталей, які виготовлені з ПКМ, та мають вміст ВВ 30 мас. % складає  $0,1 \cdot 10^{-3}$  мм/га. Такі трибоспрямлення працюють у умовах значного абразивного середовища, тому для них бажано використовувати матеріали, що мають вищу абразивну стійкість та забезпечують міцнісні характеристики. Наприклад, матеріал на основі поліаміду 6, з наповненням ВВ – 20 % має меншу величину зносу на 51,3 %, у порівнянні з матеріалом УПА-6-30 (0,1161 та 0,2385 відповідно). З врахуванням отриманих даних (табл. 3.2) можна стверджувати, що використання розробленого матеріалу дозволить вдвічі підвищити довговічність за рахунок вищої абразивної стійкості запропонованого матеріалу.

**Висновки до розділу.** Виконані дослідження дозволили навести обґрунтовані рекомендації щодо використання полімерно-композитних матеріалів власного виробництва у конструкціях рухомих з'єднань сільськогосподарських машин. Встановлено, що найбільшу ударну в'язкість має ПКМ УПА-6-20, що містить 20 мас. % ВВ, – 44,4 кДж/м<sup>2</sup>. Подальше збільшення концентрації наповнювача призводить до зниження досліджуваного показника. Це обумовлено зменшенням обсягу матриці ПКМ – поліаміду-6, що виконує функції в'язучого. Навіть незначне зменшення концентрації ВВ на 5 %, до рівня 15 мас. %, призводить до суттєвого зменшення ударної в'язкості на 17,8 % - до 36,8 кДж/м<sup>2</sup>. Визначено, що найбільшу відносну абразивну стійкість має ПКМ, на основі поліаміду 6, наповнений 15 мас. % вуглецевим волокном, який обрано за еталон. Дещо менші значення досліджуваного показника, у порівнянні з УПА-6-15, зафіксовано у ПКМ які містять 20 мас. % та 10 мас. % ВВ – 0,759 та 0,715 відповідно. Найбільше значення напруження текучості досліджуваних матеріалів зафіксовано у матеріалу УПА-6-30, тому його рекомендується до впровадження у трибоспрямлення машин, на які діють найбільші навантаження.



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

### **4.1 Загальні положення охорони праці**

«Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності» [33].

В технологічних процесах, які пов'язані з переробкою ПКМ, використовується обладнання та устаткування, що є об'єктами підвищеної небезпеки. «Об'єкт підвищеної небезпеки – це об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру» [34]. «Шкідливий виробничий фактор – чинник трудового процесу та виробничого середовища, вплив якого на організм людини за умови недотримання гігієнічних нормативів може стати причиною зниження працездатності та погіршення здоров'я аж до появи професійного захворювання» [34]. «Небезпечний виробничий фактор – чинник трудового процесу та виробничого середовища, вплив якого на організм людини в певних умовах може призвести до травми або іншого раптового погіршення здоров'я» [34].

Тому, обов'язковим є дотримання вимог, щодо виконання робіт на кожному з етапів роботи, з такими матеріалами. Також слід максимально мінімізувати негативний вплив на працівників впровадженням організаційних заходів та використанням відповідних технічних засобів захисту.

## **4.2 Основні вимоги безпеки праці при проведенні експериментальних досліджень**

**Загальні положення.** Допуск до роботи з полімерами отримують особи старше 18 років, які пройшли інструктаж щодо виконання таких робіт та не мають протипоказань після медичного огляду [35, 36].

До роботи з електроустановками, обладнанням, що під'єднане до електромережі допускаються особи, які мають відповідну групу кваліфікації з електробезпеки.

Обов'язковим є забезпечення індивідуальними засобами захисту всіх учасників проведення експериментальних досліджень, незалежно від ступеню їх участі у роботі.

**Вимоги безпеки перед початком роботи.** Перед початком роботи необхідно впевнитися у наявності спеціальних захисних огорожень, щитків та ін. на елементах машин, що мають потенційну небезпеку (обертаються, переміщаються, нагріваються до високої температури). Також потрібно перевірити надійність кріплення заземлюючих кабелів (дротів) до обладнання, що під'єднане до електромережі. Перед початком роботи необхідно обов'язково використати всі засоби індивідуального захисту, передбачені вимогами щодо виконання відповідних робіт.

**Вимоги безпеки під час роботи.** При дослідженні міцнісних характеристик використовується таке обладнання як: маятниковий копр та розривна машина FP-100/1.

Визначення ударної в'язкості на маятниковому копрі передбачає руйнування (розбиття) зразків силою удару молотка копра. При виконанні таких робіт, частини зруйнованого зразка, за рахунок накопиченої кінетичної енергії, розлітаються в різні боки. Тому, обов'язковим є встановлення захисних кожухів або екранів. Дослідження напруження текучості матеріалів на машині FP-100/1 виконується шляхом прикладання навантаження до зразку у вертикальному напрямку. У випадку руйнування зразку або його

розтріскуванні, можливе розлітання частин у горизонтальному напрямку. Тому, конструкцією машини передбачено обов'язкове використання захисного екрану. Крім того, ці машини мають рухомі частини, які можуть нести потенційну небезпеку.

Визначення абразивної стійкості виконували на машині СМЦ-2. Під час виконання робіт у випробуванні використовується абразивний матеріал електрокорунд та задіяні механізми що мають обертальний рух. Серед небезпечних механізмів або частин даної машини слід зазначити такі: механізм створення навантаження на зразок, каретка із роликом, що обертається та електрообладнання машини. Освітлення робочого місця повинно відповідати класу виконуваної роботи.

#### **Вимоги безпеки в аварійних (надзвичайних) ситуаціях.**

Серед найбільш розповсюджених причин виникнення аварій на виробництві, що використовує шкідливі та вогнебезпечні речовини є порушення вимог безпеки при перевезенні та зберіганні матеріалів, порушення регламенту технологічних процесів, неуважність працівників або низький рівень трудової дисципліни та несправність обладнання або не правильне його розміщення.

У разі виникнення аварійної ситуації першочерговим завданням є убезпечення працівників від небезпечних зон та відключення обладнання чи лінію. Для аварійного вимкнення установок повинно бути передбачено спеціальні щити з дублюванням, на випадок відсутності безпечного доступу до одного з таких щитів. Другим етапом є негайне повідомлення відповідального чи керівника про аварійну ситуації та надання першої долікарської допомоги потерпілим.

Місце де трапилася аварійна ситуація потрібно огородити для можливості виконання аналізу ситуації, що трапилася спеціальною комісією з розслідування відповідних ситуацій.

У разі виникнення пожежі необхідно терміново повідомити службу з надзвичайних ситуацій та безпосереднього свого керівника.

**Вимоги безпеки після закінчення роботи.**

Після закінчення досліджень необхідно виконати такі дії:

- зняти навантаження на дослідний зразок;
- вимкнути подачу електричного струму до випробувальної машини;
- виконати очищення робочих поверхонь;
- перевірити комплектність обладнання;
- повідомити наукового керівника виконану роботу. У випадку зафіксованих недоліків в роботі обладнання (відхилень від режимів роботи) повідомити про них керівника;
- зняти засоби індивідуального захисту та вкласти їх на відповідні місця зберігання.

## 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУТУВАННЯ РОБОТИ

Одним із основних напрямків оцінки ефективності впровадження технічних рішень у конструкцію машин є порівняння за експлуатаційними показниками роботи базової та удосконаленої машини. Певні конструктивні рішення дозволяють отримати не тільки позитивний експлуатаційний ефект від впровадження, а й підвищити якість виконання операції. Підвищення якості передпосівного обробітку ґрунту та сівби дозволяє отримати одновікові рослини на всьому полі, що сприяє одержанню максимальної врожайності культур.

Більшість рухомих з'єднань посівної та ґрунтообробної техніки, при виконанні технологічних операцій, потребують ТО значної кількості рухомих з'єднань.

Тому, розглянемо окремо економічний ефект впровадження ПКМ з точки зору зменшення експлуатаційних витрат, а окремо від зростання урожайності.

Основними експлуатаційними показниками за якими виконаємо оцінку дипломної роботи приймаємо витрату палива, виробіток агрегату, затрати праці, та питомі витрати на експлуатацію МТА. Впровадження в конструкцію сільськогосподарських машин ПКМ потребує додаткових капіталовкладень. Тому, балансова вартість удосконаленої машин зростає.

Встановлено, що впровадження ПКМ у конструкцію сільськогосподарських машин, дозволяє значно зменшити затрати на ТО. Для визначення ефективності впровадження ПКМ обрано сівалку Horsch Maestro 24SW шириною захвату 16,8 м, яка агрегується з трактором CASE IH Magnum 380. У таблиці 5.1 наведені дані, щодо зміни кількості точок, що потребують ТО для базової машини та машини трибоспряження якої модернізовані ПКМ.

Впровадження запропонованих рішень дозволяє зменшити кількість точок ТО для обраної машини, при напрацюванні 100 год., з 254 до 62, при

цьому трудомісткість виконання робіт знижується з 2,82 люд.-год. до 0,69 люд.-год.

Таблиця 5.1

Кількість точок, що потребують ТО та середня трудомісткість ТО, при наробітку сівалки 100 год.

Виробник посівної техніки	Марка машини	Кількість точок ТО в залежності від модифікації		Середня трудомісткість робіт з ТО, люд.-год.	
		Без модернізації	Модернізована деталями з ПКМ	Без модернізації	Модернізована деталями з ПКМ
Horsch	Maestro 24SW	254	62	2,82	0,69

В таблиці 5.2 наведено основні вихідні дані для визначення ефективності запропонованого рішення.

Таблиця 5.2

Вихідні дані для визначення економічного ефекту роботи

Показник	CASE IH Magnum 380 + Horsch Maestro 24SW	CASE IH Magnum 380+ Horsch Maestro 24SW (ПКМ)
1	2	3
Темп робіт (річне середнє значення), га/год, $W$	12,8	13,3
Гектарна витрата палива, кг /га	4,5	4,0
Час зміни, год., $t$	7	7
Орієнтовне планове завантаження (річне)га, $T_{\text{п}}$	2688	2793
Чисельність основних та допоміжних працівників, чол.	1	1

Балансова вартість (на момент розрахунку), грн.:		
- CASE IH Magnum 380	3900000	3900000
- Horsch Maestro 24SW	5100000	5388000
Розмір оплати праці за 1 год, грн.	120	120
Ціна (з врахуванням витрат на мастильні матеріали) 1 кг пального, грн.	$\text{Ц}_{\text{к}}^{\text{б}} = 60$	$\text{Ц}_{\text{к}}^{\text{п}} = 60$

Зменшення гектарної витрати палива на 0,5 л/га обґрунтовано відсутністю люфту у трибоспряженнях, за рахунок чого незначно знижується тяговий опір машини. Зростання темпу робіт пов'язано із вивільненням додаткового часу, який у машини без модернізації витрачається на проведення ТО.

Виконаємо оцінку економічної ефективності впровадження запропонованого технічного рішення за типовою методикою [37].

Експлуатаційні витрати на одиницю виконаного обсягу робіт розраховуємо за формулою:

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

де,  $C_m$  – питомі експлуатаційні затрати для енергетичного засобу, що витрачаються на ремонт, реновацію, ТО, зберігання машини та заміну пневматичних шин, грн./га.

$C_{\text{м}}$  – витрати с.-г. машини на поточний ремонт, ТО, реновацію та зберігання с.-г. машини, грн./га.

$C_{\text{пмм}}$  – затрати на паливо та мастильні матеріали, грн./га;

$C_{\text{зн}}$  – затрати на заробітну плату працівникам, грн./га.

Витрати на експлуатацію трактора визначаємо за виразом:

$$C_m = \left[ \frac{B_m \cdot a_{pm} \cdot g_{za}}{100 \cdot G_H^{pik}} + \frac{(C_{nrm} + C_{ном} + C_{зм} + C_{изм})}{1000} \right] \cdot K_i, \quad (5.2)$$

де –  $B_m, a_{pm}$  – балансова ціна (грн.) (вказується у документації господарства) та нормативне значення відрахувань, що запланована на реновацію енергетичного засобу(%) відповідно, приймаємо для трактора CASE IH Magnum 380 – 11 %.

$C_{км}, C_{нрм}, C_{том}, C_{зм}, C_{изм}$  – питомі нормативні витрати, що заплановані на виконання капітального та поточного ремонту, проведення ТО та зберігання, (грн/га). Для спрощення розрахунків приймаємо сумарні питомі витрати на рівні 4 % від балансової ціни трактора;

$G_H^{pik}$  – нормативне значення річного навантаження енергетичного засобу, кг.

Враховуючи наведені дані, маємо для CASE IH Magnum 380, відповідно для базового та удосконаленого складу МТА:

$$C_m^{\sigma} = \left[ \frac{3900000 \cdot 11 \cdot 4,5}{100 \cdot 30000} + \frac{156000}{1000} \right] = 220,35 \text{ грн/га}$$

$$C_m^n = \left[ \frac{3900000 \cdot 11 \cdot 4,0}{100 \cdot 30000} + \frac{156000}{1000} \right] = 213,5 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні (питомі) затрати для Horsch Maestro 24SW розраховуємо за формулою:

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

де,  $B_m, a_{pm}$  – балансова ціна Horsch Maestro 24SW (грн.) та нормативне значення відрахувань на амортизацію та реновацію, приймаємо для Horsch Maestro 24SW – 10 %.

$C_{нрм}, C_{том}, C_{зм}$  – експлуатаційні нормативні (питомі) затрати на ПР, ТО та зберігання. Для серійної машини приймаємо – 9 %, для удосконаленої – 6,5 %;

$n_{зм}^m, G_H^{pik}$  – річне нормативне значення планового навантаження та річне завантаження МТА.



Для базової машини, маємо:

$$C_m = \left[ \frac{5100000 \cdot 10}{100 \cdot 30 \cdot 2688} + \frac{459000}{2688} \right] \cdot 1 = 177,08 \text{ грн/га}$$

Для удосконаленої машини:

$$C_m^n = \left[ \frac{5388000 \cdot 10}{100 \cdot 30 \cdot 2793} + \frac{350220}{2793} \right] \cdot 1 = 133,82 \text{ грн/га}$$

Затрати на ПММ визначаємо:

$$C_{пмм} = C_k \cdot g_{га} \cdot K_i \quad (5.4)$$

де  $C_k$  – комплексна ціна (з врахуванням затрат на мастильні матеріали) 1 кг палива;

$g_{га}$  – норма затрат палива, кг/га (приймаємо 4,5 кг/га та 4,0 кг/га відповідно для серійної та удосконаленої машини);

$K_i$  – коефіцієнт індексації цін, приймаємо – 1.

Відповідно вартість ПММ для двох варіантів становить:

$$C_{пмм}^b = 60 \cdot 4,5 \cdot 1 = 270,00 \text{ грн./га}$$

$$C_{пмм}^n = 60 \cdot 4,0 \cdot 1 = 240,00 \text{ грн./га}$$

Затрати на заробітну плату визначаємо за виразом:

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

де 1,49 і 1,02 – нормативні коефіцієнти нарахувань на заробітну працю;

$K_{нк}$  – показник, що враховує класність працівника, для розрахунків приймаємо – 1,2;

$m_{мех}$  – кількість персоналу, що обслуговує агрегат з врахування допоміжних працівників;

$f_{мех}$  – нормативне значення оплати праці встановлене в господарстві, грн./зм.;

$W_{3M}$  – середній змінний виробіток агрегату, га;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує інфляцію, приймаємо рівний одиниці.

Враховуючи наведені вище дані, для двох варіантів отримаємо:

$$C_{zn}^{\delta} = \frac{1,49(1,2 \cdot 1 \cdot 840) \cdot 1,02 \cdot 1}{89,6} = 17,09 \text{ грн/га}$$

$$C_{zn}^n = \frac{1,49(1,2 \cdot 1 \cdot 840) \cdot 1,02 \cdot 1}{93,1} = 16,45 \text{ грн/га}$$

Загальні експлуатаційні затрати при використанні двох складів МТА складуть для серійного та модернізованого відповідно:

$$C_{num}^{\delta} = 220,35 + 177,08 + 270,00 + 17,09 = 684,52 \text{ грн./га}$$

$$C_{num}^n = 213,50 + 133,82 + 240,00 + 16,45 = 603,77 \text{ грн./га}$$

Обсяг капіталовкладень розраховуємо за формулою:

$$K^{сер} = \frac{B_m \cdot a_{pm}}{100 \cdot G_n^{pik}} + \frac{B_m \cdot a_{pm}}{100 \cdot G_n^{pik}}, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

Питомий обсяг капіталовкладень становить, для серійного та удосконаленого (проектного) МТА, відповідно:

$$K^{\delta} = \frac{3900000 \cdot 11}{100 \cdot 30000} + \frac{5100000 \cdot 10}{100 \cdot 2688} = 204,03 \text{ грн/га}$$

$$K^n = \frac{3900000 \cdot 11}{100 \cdot 30000} + \frac{5388000 \cdot 10}{100 \cdot 2793} = 207,21 \text{ грн/га}$$

Величину приведених затрат розраховуємо за виразом:

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

де  $E = 0,15$  – нормативне значення коефіцієнту ефективності використання капіталовкладень.

Отже маємо відповідно для двох варіантів:

$$P_{\delta}^{\delta} = 684,52 + 0,15 \cdot 204,03 = 715,12 \text{ грн./га}$$

$$P_{\delta}^n = 607,77 + 0,15 \cdot 207,21 = 638,85 \text{ грн./га}$$

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

Величину економічного ефекту можна визначити, як різниця між питомими затратами запропонованого рішення та базового:

$$E_{e,za} = \Pi_6^n - \Pi_6^b = 715,12 - 638,85 = 76,27 \text{ грн./га}$$

З врахування планового значення річного завантаження удосконаленої сівалки річний економічний ефект складе:

$$E_e^{dik} = F \cdot (\Pi_6^n - \Pi_6^b) = 2793 \cdot (715,12 - 638,85) = 213022,11 \text{ грн}$$

Термін окупності затрачених коштів на реалізацію технічного рішення:

$$T_{ок} = K / \Pi \quad (5.7)$$

Отже, термін окупності капіталовкладень складе:

$$T_{ок} = 288000 / 213022,11 = 1,35 \text{ року}$$

### **Висновки**

Встановлено, що питомі витрати на експлуатацію сівалки Horsch Maestro 24SW у складі МТА, з модернізованими рухомими з'єднаннями, зменшуються 80,75 грн/га. З врахуванням додаткових обсягів капіталовкладень, експлуатація удосконаленої машини дозволяє зменшити приведені витрати на 76 грн/га. Річний економічний ефект становить – 213022 грн. Термін окупності запропонованого технічного рішення щодо впровадження деталей з полімерно-композитних матеріалів у конструкцію сівалки Horsch Maestro 24SW складає 1,35 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що останні роки дві третини від необхідного обсягу первинних пластиків та полімерів Україна отримували за рахунок імпорту. Виробництво первинних пластиків становило в різні роки незначну частку у загальній структурі хімічної промисловості – всього 10...14 %. В той час, як обсяги виробництва виробів із полімерів чи пластмас в структурі виробництва готової продукції хімічної промисловості, сягають 70...83 %. Наведені шляхи підвищення довговічності трибоспряжень мають, як свої переваги, так і недоліки. Основним недоліком всіх наведених заходів є значні затрати коштів або на стадії проектування, або під час експлуатації механізмів та машин. Використання полімерно-композитних матеріалів дозволяє значно підвищити довговічність трибоспряжень, при цьому забезпечити незначні зміни конструкції (або навіть без змін) та невисоку собівартості технічного рішення в цілому.

2. Висвітлено програма, розглянуто обладнання та методики виконання досліджень міцнісних характеристик та відносної абразивної стійкості матеріалів.

3. Виконані дослідження дозволили навести обґрунтовані рекомендації щодо використання полімерно-композитних матеріалів власного виробництва у конструкціях рухомих з'єднань сільськогосподарських машин. Встановлено, що найбільшу ударну в'язкість має ПКМ УПА-6-20, що містить 20 мас. % ВВ, – 44,4 кДж/м<sup>2</sup>. Подальше збільшення концентрації наповнювача призводить до зниження досліджуваного показника. Це обумовлено зменшенням обсягу матриці ПКМ – поліаміду-6, що виконує функції в'язучого. Навіть незначне зменшення концентрації ВВ на 5 %, до рівня 15 мас. %, призводить до суттєвого зменшення ударної в'язкості на 17,8 % - до 36,8 кДж/м<sup>2</sup>. Визначено, що найбільшу відносну абразивну стійкість має ПКМ, на основі поліаміду 6, наповнений 15 мас. % вуглецевим волокном. Деякі менші значення досліджуваного показника, у порівнянні з УПА-6-15, зафіксовано у ПКМ які

містять 20 мас. % та 10 мас. % ВВ – 0,759 та 0,715 відповідно. Найбільше значення напруження текучості досліджуваних матеріалів зафіксовано у матеріалу УПА-6-30, тому його рекомендується до впровадження у трибоспряження машин, на які діють найбільші навантаження за незначної кількості абразиву в околі тертя.

4. Розглянути загальні питання охорони праці та основні вимоги при роботі з полімерними матеріалами та виконанні експериментальних досліджень.

5. Встановлено, що питомі витрати на експлуатацію сівалки Horsch Maestro 24SW у складі МТА, з модернізованими рухомими з'єднаннями, зменшуються 80,75 грн/га. З врахуванням додаткових обсягів капіталовкладень, експлуатація удосконаленої машини дозволяє зменшити приведені витрати на 76 грн/га. Річний економічний ефект становить – 213022 грн. Термін окупності запропонованого технічного рішення щодо впровадження деталей з полімерно-композитних матеріалів у конструкцію сівалки Horsch Maestro 24SW складає 1,35 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nuchtings I.M. Abrasion in wear and manufacturing processes. *Metal. Ital.* – 2002 (94), № 2, 17-21.
2. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с
3. <https://agrotest.com/article/tekstura-mehanichnyj-sklad-gruntu/>
4. А.В. Захаров, І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, О.В. Сайчук. Дослідження зношуючої здатності ґрунтів та її вплив на довговічність робочих органів ґрунтообробних машин. *Науковий вісник ТДАТУ*, Вип. 13, том 1.
5. Singh J., Chatha S.S, Sidhu B.S. Effect of Surface Alloying on Wear Behaviour of En-Steel. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 21, Part 2. P. 1340–1349.
6. Борак К.В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки: дис. канд. тех. наук: 05.02.04 - тертя та зношування в машинах / Борак Костянтин Вікторович. - Харків, 2013. – 217 с
7. Дворук В.І., Борак К.В., Дабранський С.С. Дослідження зносостійкості сталі з різними фізико-механічними властивостями при зношуванні в абразивній масі. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 2016, вип. 46, С. 213-223.
8. Технічний сервіс в АПК : навчально-методичний комплекс : навч. посіб. для студентів інжен. спец. на осв.-кваліф. рівні «Бакалавр» напрямку «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, О.В. Козаченко та ін. за ред. С.М. Грушецького, І.М. Бендери. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я.І., 2014. – 680 с.
9. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук:

05.02.04 / Аулін Віктор Васильович; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2015. – 36 с.

10. Блезнюк В. М. Підвищення строку служби підшипників ковзання гичкозбиральних машин конструкторсько- технологічним методом/ В. М. Блезнюк, В. Я. Гладченко, О. П. Лобанов. – С. 275-278.

11. Підшипникові вузли SKF.  
[https://galp.com.ua/supload/cms/Products/special-solutions/002-AGRY/PDF/10249\\_RU\\_Agricultural\\_Y-bearings.pdf](https://galp.com.ua/supload/cms/Products/special-solutions/002-AGRY/PDF/10249_RU_Agricultural_Y-bearings.pdf)

12. Підшипники HARP AGRO. <https://harp.ua/ua/brands/harp-agro>

13. Dykha, A., Svidersky, V., Danilenko, I., Bilichenko, V., Kukurudzyak, Yu., Kirichenko L. Design and study of nanomodified composite fluoropolymer materials for tribotechnical purposes. (2020). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/12 (107), pp. 38-48.

14. Aulin V., Derkach O., Makarenko D., Hrynkiv A., Pankov A., Tykhyi A. Analysis of tribological efficiency of movable junctions "polymeric-composite materials - steel". (2019). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (12-100), 6-15.

15. Kabat O., Sytar V., Sukhyu K. Antifrictional Polymer Composites Based on Aromatic Polyamide and Carbon Black. (2018). Chemistry & Chemical Technology. Vol. 12, No. 3, pp. 326–330

16. Деркач О. Д., Артемчук В.В., Муранов Є.С., До питання технологічності отримання деталей з полімерних композитів для посівної техніки. Х: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2017. – № 181. – С. 157–166.

17. У полоні пластику: чи зможе Україна слідом за ЄС скоротити небезпечні відходи. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/u-poloni-plastiku-chi-zmozhe-ukrayina-slidom-za-yes-skorotiti-nebezpechni-vidhodi-1328319.html> (дата звернення 23.10.2023).

18. Пластикова епідемія: рух на знищення планети. URL: <https://ecolog-ua.com/news/plastykova-epidemiya-ruh-na-znyshchennya-planety-chy-mozhlyvo-shche-zapobigty-nablyzhennyu>.

19. Закон України від 20 червня 2022 року № 2320-IX «Про управління відходами».

20. Francesco La Mantia. Handbook of plastic recycling. Parpa Technology Limited, Shewsbury, Shropshire, SY4 4NR, United Kingdom, 2006.

21. Державна служба статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua/>

22. Ковеня Т.В. Хімічна промисловість та хімічний ринок України у 2021 році: факти, оцінка стану, тенденції, прогноз. Аналітична записка. – Черкаський НДІТЕХІМ. 2022. – 69 с. [http://www.nditekhim.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/2021pidsumky\\_-zakl\\_-08-02-2022.pdf](http://www.nditekhim.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/2021pidsumky_-zakl_-08-02-2022.pdf)

23. Життя без поліетиленових пакетів. <https://suspilne.media/239954-vid-souz-nerusimyj-do-odna-ukraina-edinij-narod-akou-ludinou-buv-leonid-kravcuk>

24. <https://ukrvtorma.com.ua>

25. Сортування полімерних матеріалів методом повітряної сепарації / І. В. Коваленко, А. В. Корчовний. // Екологія. Людина. Суспільство. – 2015. – С. 102–103.

26. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини: монографія. – К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. – 265 с.: іл. – Бібліогр.: с. 239– 262.

27. Михайлова Є. О. Аналіз методів перероблення пластикових відходів / Є. О. Михайлова, Д. М. Дейнека, Г. М. Панчева // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2021. – № 1 (7). – С. 80-89.

28. <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/11/24/706966/>

29. Закон України «Про управління відходами» № 2849-IX зі змінами від 13.12.2022



30. Деркач, О.Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Тернопіль, 2006. – 182с.

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

32. Derkach O.D., Makarenko D.O., Litvintseva Yu.O. et al. Upgrading of machines for surface tillage (for cultivators). Collected Scientific Papers «GeoTechnical Mechanics». 2018. № 138. P. 260–270

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

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

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

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

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

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

# ДОДАТКИ