

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛАСТИКІВ ДЛЯ
РУХОМИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІз-1-23
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Макарчук Костянтин Миколайович

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)

« _____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**Макарчуку Костянтину Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Обґрунтування складу конструкційних пластиків для рухомих деталей сільськогосподарської техніки»

керівник роботи Макаренко Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ДДАЕУ від

«11» листопада 2024 року № 3769

2. **Строк подання студентом роботи** 11.12.2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Умови роботи деталей рухомих з'єднань посівних та ґрунтообробних машин та факторів, що впливають на їх надійність. Розробки щодо зниження негативного впливу зовнішнього середовища на рухомі з'єднання сільськогосподарських машин. Аналіз наукової літератури за тематикою роботи.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) Умови експлуатації рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на них. Розглянути переваги застосування полімерно-композитних матеріалів у вказаних трибоспряженнях. Програма виконання досліджень, методики та обладнання для їх виконання. Виконати дослідження характеристик полімерно-композитних матеріалів, проаналізувати одержані результати та надати рекомендації щодо використання обраних матеріалів. Вимоги безпеки щодо виконання робіт на обладнанні для

дослідження міцнісних характеристик матеріалів. Виконати економічну оцінку роботи.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

Тема роботи її мета та основні завдання (2 аркуші, А4). Шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на робочі поверхні деталей машин. (2 аркуші, А4). Вихідні матеріали та обладнання для виконання досліджень (1 аркуш, А4). Загальний вигляд експериментальних зразків (1 аркуш, А4). Результати досліджень фізико-механічних характеристик (2 аркуші, А4). Результати дослідження вологопоглинання матеріалів (1 аркуш, А4). Економічна ефективність 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		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 05.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз з обраної тематики	до 18.09.2024 року	виконано
2	Програма, обладнання та методика виконання досліджень	до 07.10.2024 року	виконано
3	Результати досліджень	до 28.10.2024 року	виконано
4	Охорона праці	до 22.11.2024 року	виконано
5	Економічна частина	до 02.12.2024 року	виконано
6	Демонстраційний матеріал	до 10.12.2024 року	виконано

Студент

(підпис)

Костянтин МАКАРЧУК

((ім'я та прізвище))

Керівник роботи

(підпис)

Дмитро МАКАРЕНКО

((ім'я та прізвище))

УДК 631

АНОТАЦІЯ

Макарчук К.М. Обґрунтування складу конструкційних пластиків для рухомих деталей сільськогосподарської техніки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2024 р.

В дипломній роботі проаналізовано умови експлуатації рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на них. Розглянуто переваги застосування полімерно-композитних матеріалів у вказаних трибоспряженнях. Розроблено програму виконання досліджень, наведено методики та обладнання для їх реалізації. Виконано дослідження характеристик полімерно-композитних матеріалів, проаналізовано одержані результати та надано рекомендації щодо використання обраних матеріалів. Розглянуто основні вимоги безпеки щодо виконання робіт на обладнанні для дослідження міцнісних характеристик матеріалів. Виконано оцінку економічної ефективності дипломної роботи.

Ключові слова: деталі рухомих з'єднань, умови експлуатації, сільськогосподарські машини, полімерно-композитні матеріали, фізико-механічні характеристики, вологопоглинання.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ОГЛЯД УМОВ ВИКОРИСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЇХ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ	10
1.1 Аналіз умови використання сільськогосподарських машин та факторів, що впливають на їх надійність	10
1.2 Шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на рухомі з'єднання сільськогосподарських машин	13
1.3 Переваги застосування полімерно-композитних матеріалів у трибоспряженнях	20
1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи	23
2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Завдання та програма роботи	25
2.2 Технологія одержання полімерно-композитних матеріалів та зразків для виконання досліджень їх характеристик	26
2.3 Методика дослідження фізико-механічних характеристик розроблених матеріалів	30
2.4 Методика визначення вологопоглинання матеріалів	33
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Результати визначення фізико-механічних характеристик та властивостей матеріалів	36
3.2 Результати визначення вологопоглинання розроблених матеріалів	43
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	49
4.1 Основні положення	49
4.2 Вимоги безпеки праці при обслуговуванні обладнання та виконанні досліджень на машині FP-100/1	50

	7
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59
ДОДАТКИ	65

ВСТУП

Сучасне машинобудування, окрім звичайних полімерів та пластиків, активно застосовує полімерно-композитні матеріали (ПКМ). Такі матеріали можна використовувати для ущільнення вузлів тертя (щоб захистити їх від агресивного середовища), як елементи цих вузлів або ж як частини основних конструкцій механізмів і машин. ПКМ відкривають нові можливості для сільськогосподарського машинобудування завдяки своїм унікальним властивостям. Їх висока міцність, зносостійкість і можливість адаптації фізико-механічних характеристик роблять ПКМ ідеальними для роботи в складних умовах, які притаманні аграрному сектору. Основною перевагою ПКМ є те, що вони дозволяють збільшити ресурс роботи машин і механізмів при одночасному зниженні ваги та підвищенні стійкості до корозії і дії агресивних середовищ.

На відміну від традиційних металів, ПКМ легше піддаються модифікації, що дозволяє створювати матеріали з заданими властивостями, які відповідають конкретним умовам роботи. Введення наповнювачів різного типу (наприклад, скловолокна, вуглецевих волокон, кераміки) до полімерної матриці дозволяє регулювати жорсткість, зносостійкість, міцність і інші параметри. Це особливо важливо для вузлів тертя (трибоспряжень) сільськогосподарських машин, де ПКМ можуть виконувати захисну функцію, знижуючи негативний вплив абразивного середовища і запобігаючи швидкому зносу.

Дослідження характеристик ПКМ дозволяє обґрунтовано застосовувати їх у вузлах тертя, враховуючи умови роботи кожного конкретного з'єднання. Це сприяє підвищенню надійності роботи всіх механізмів і машин загалом. Використання ПКМ у вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванні обмежується високою вартістю таких матеріалів. Це спричинено не лише дороговизною самого матеріалу, а й технологічними витратами на його обробку та виготовлення деталей. У той час, як зарубіжні виробники вже активно використовують ПКМ і досягають таким чином підвищення надійності і

довговічності своїх машин, вітчизняна галузь потребує оптимізації витрат на виробництво ПКМ або підтримки на рівні державних програм для здешевлення цих технологій.

Для того, щоб знайти ефективне співвідношення між вартістю і надійністю, необхідно адаптувати склад ПКМ, зосереджуючись на специфічних умовах експлуатації сільськогосподарських машин. В тому числі необхідно звертати увагу на забезпечення захисту деталей з ПКМ від впливу зовнішнього середовища.

Тому, метою дипломної роботи є обґрунтування складу конструкційних пластиків для рухомих деталей сільськогосподарської техніки з врахування режимів їх експлуатації.

Мету роботи досягали вирішенням таких завдань:

1. Проаналізувати умови експлуатації рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на них. Розглянути переваги застосування полімерно-композитних матеріалів у вказаних трибоспряженнях.

2. Навести програму виконання досліджень, методики та обладнання.

3. Виконати дослідження характеристик полімерно-композитних матеріалів, проаналізувати одержані результати та надати рекомендації щодо використання обраних матеріалів.

4. Розглянути основні вимоги безпеки щодо виконання робіт на обладнанні для дослідження міцнісних характеристик матеріалів та порядок проведення обслуговування цього обладнання.

5. Провести оцінку економічної ефективності дипломної роботи.

Об'єкт дослідження. Процес зміни фізико-механічних характеристик композитних матеріалів, в залежності від типу та концентрації наповнювача в них.

Предмет дослідження. Закономірності зміни напруження текучості та ударної в'язкості ПКМ від типу та вмісту компонентів в них.

1. ОГЛЯД УМОВ ВИКОРИСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЇХ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ

1.1 Аналіз умови використання сільськогосподарських машин та факторів, що впливають на їх надійність

Аналіз умов роботи рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки є важливим етапом для забезпечення високої їх надійності, довговічності та ефективності. Сільськогосподарська техніка, така як трактори, комбайни, сівалки та обприскувачі, працює в умовах, які можуть призводити до швидкого зносу і поломок з'єднань, що обумовлює необхідність оптимального вибору матеріалів, конструкції та обслуговування цих вузлів.

Всі фактори які в тій чи іншій мірі впливають на довговічність та стан трибоспряжень сільськогосподарської техніки можна поділити на окремі групи: тип навантаження, умови роботи, температурні режими, вид зносу, мастильне середовище та його особливості, технічне обслуговування та раціональний вибір конструкційних матеріалів. Виконаємо детальний огляд кожної групи вказаних вище факторів.

Тип навантаження. Сільськогосподарська техніка працює за різноманітних навантажень: механічне, статичні та динамічні навантаження. Механічні навантаження – це основний чинник, який впливає на стан рухомих з'єднань. Сільськогосподарська техніка працює в умовах нерівних поверхонь, що створює підвищене навантаження на деталі. Під час руху або обробки ґрунту, з'єднання піддаються різким ударним навантаженням, які сприяють поступовому зносу і деформації деталей. Статичні навантаження – навантаження, що є постійними під час роботи техніки, наприклад, вага підйомних механізмів, робочих органів або окремих частин машини. Динамічні навантаження – змінні за величиною і напрямком навантаження, які виникають під час руху техніки або роботи рухомих деталей. Зокрема, динамічні навантаження виникають під час запуску чи зупинки руху, що може викликати

«розхитування» та послаблення з'єднань. Динамічні навантаження майже постійно присутні при роботі машин, що взаємодіють із ґрунтом або вирощуваною культурою.

Середовище експлуатації є одним із вагомим чинником, що зумовлює зниження надійності техніки. Сільськогосподарська техніка працює в відкритих і часто агресивних умовах середовища. Наприклад, вологість, бруд і пил значно впливають на з'єднання, часто призводячи до пришвидшеного їх зносу. Підвищена вологість повітря або середовища (ґрунту) під час роботи на впливає на рухомі з'єднання, піддаючи їх корозії, що викликає зниження міцності металів. Щоб зменшити ризик корозії, використовують захисні покриття, такі як фарби, емалі або спеціальні антикорозійні мастила. Присутній пил та інші абразивні частинки, в робочій зоні, потрапляють у механізми, сприяючи швидкому зносу. Щоб запобігти цьому, використовують пильники, ущільнювачі та регулярно чистять вузли для уникнення надмірного зношування.

Температурні режими роботи також мають вплив на довговічність техніки. Під час роботи техніка може нагріватися до високих температур. Такі коливання температур створюють додаткові напруження в матеріалах з'єднань, особливо якщо вони виготовлені з різних за походженням матеріалів з різними коефіцієнтами теплового розширення. Низькі температури, наприклад взимку, також створюють проблеми. Метал може стати більш крихким при низьких температурах, і з'єднання стають більш чутливими до ударних навантажень. Для зменшення впливу температурних коливань використовують спеціальні матеріали, що витримують великі перепади температур, а також термостійкі мастильні матеріали.

Величина зносу рухомих з'єднань сільськогосподарських машин суттєво залежить від виду зносу, якому вони піддаються. Найбільш розповсюдженими видами зносу трибоспряжень с.-г. машин є абразивний та адгезійний зноси. Абразивний знос є наслідком безпосереднього тертя між поверхнями деталей. Частинки пилу та бруду діють як абразиви, які прискорюють знос поверхонь.

Використання захисних кожухів і регулярне очищення з'єднань зменшують абразивний знос. Адгезійний знос виникає коли металеві поверхні контактують під великим тиском без належного мастила, між ними можуть утворюватися «зварювальні» мікрозони. Це викликає підвищене тертя і може призвести до руйнування поверхонь при розриванні контакту.

Мастильні матеріали є критично важливими для зменшення тертя і забезпечення плавної роботи рухомих з'єднань. Якісне мастило знижує знос, запобігає перегріванню і зменшує вплив корозії. Тип мастила залежить від умов експлуатації: для сухих та запиленних умов застосовують густі мастила, а для роботи за низьких температур – спеціальні низькотемпературні змащувальні матеріали. Частота мащення залежить від інтенсивності використання техніки. Чим інтенсивніше використовують техніку, тим частіше потрібно проводити змазування, оскільки мастило поступово витрачається або забруднюється, що знижує його ефективність.

Саме тому, регулярне проведення технічного обслуговування може забезпечити необхідний ресурс роботи рухомих з'єднань. Регулярна діагностика і технічне обслуговування зменшують ризик аварій та дорогих ремонтів. Заміна зношених деталей, на ранніх стадіях зносу, продовжує термін експлуатації всієї техніки. Профілактичне обслуговування виконується на регулярній основі і передбачає очищення, змащення та перевірку всіх з'єднань. Це дозволяє вчасно виявляти зношені частини, а також запобігти корозії та забрудненню. Оперативне обслуговування виконується за необхідності, у випадку поломок. Це може включати заміну елементів з'єднань та інші роботи з ремонту пошкоджених частин.

Для забезпечення бажаної надійності трибоспряжень та с.-г. машин в цілому необхідно виконувати оптимальний вибір матеріалів для кожного спряження. Матеріали з високою зносостійкістю призначені для рухомих з'єднань, які піддаються постійним механічним навантаженням, обирають сталі з підвищеним вмістом хрому, молібдену або марганцю. Ці компоненти підвищують міцність та стійкість до зносу. Для деталей, що часто контактують

із вологою, застосовують спеціальні захисні покриття – гальванічне покриття (наприклад, оцинковане), емаль або порошкове фарбування, які захищають від корозії. У деяких рухомих з'єднаннях, особливо там, де є контакт з зовнішнім середовищем, та робота за високих навантажень, застосовують полімери або композити, що мають високу міцність і є стійкими до корозії, що підходить для роботи в агресивному середовищі.

Комплексний підхід до аналізу умов експлуатації та вибору матеріалів рухомих з'єднань дозволяє сільськогосподарській техніці ефективніше працювати навіть у важких умовах. Правильний вибір матеріалів, технічне обслуговування і відповідне мастило допомагають збільшити термін служби обладнання, зменшити витрати на ремонт і підвищити продуктивність техніки.

За умови якісного виготовлення деталей, правильного підбору матеріалу для них основний вплив на надійність с.-г. машин будуть мати режими експлуатації та зовнішнє середовище. Якщо режими експлуатації майже однотипні, в межах України, то мінливість зовнішнього середовища дуже значна. Певні зони пов'язані із роботою с.-г. машин в умовах підвищеної вологості, інші із значною запиленістю, або ж і те, і інше разом. Тому, особливу увагу необхідно приділяти зменшенню негативного впливу зовнішнього середовища на рухомі з'єднання сільськогосподарських машин.

1.2 Шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на рухомі з'єднання сільськогосподарських машин

Для зменшення негативного впливу зовнішнього середовища на рухомі з'єднання сільськогосподарських машин, використовують комплекс технічних та конструктивних рішень, які підвищують довговічність та надійність техніки, зменшують частоту ремонту і витрати на обслуговування. Конструкторські рішення сучасного машинобудування свідчить про активний розвиток досліджень у цьому напрямку.

Захисні покриття на металевих поверхнях допомагають знизити ризик корозії, викликані вологою, солями, мінеральними добривами. Застосовують гальванічні покриття (оцинкування та хромування), порошкове фарбування для щільного, стійкого до пошкоджень захисного шару, а також полімерні покриття (поліуретан, епоксидні смоли), що запобігають хімічному та механічному зносу. Нітридні та оксидні покриття також підвищують міцність поверхні та стійкість до абразивного зносу.

У наукових роботах багатьох авторів розглядаються ефективні методи та матеріали, які допомагають продовжити термін служби техніки та знизити її експлуатаційні витрати. Одним із таких напрямків є нанесення захисних покриттів на поверхні деталей.

Значна кількість досліджень присвячені ефективності цинкових і хромових покриттів у захисті сільськогосподарської техніки від корозії [1-3]. В них доведено, що ці покриття створюють надійний бар'єр для вологи та агресивних речовин (рис. 1.1).



а



б

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталей з нанесеними захисними покриттями:

а – на основі хрому; б – на основі цинку

Культиватори, посівні машини та поворотні плуги зазвичай містять окремі елементи, що захищені такими покриттями, наприклад штоки гідроциліндрів (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Культиватор та плуг із гідроциліндрами, штоки яких мають нанесення покриття на основі хрому

В роботах [1-3] детально описано процеси нанесення таких покриттів та їхню стійкість у польових умовах, що дозволяє значно зменшити ризик корозії навіть за підвищеної вологості.

Інші наукові роботи, зокрема в роботі [4] розглядають полімерні покриття, такі як поліуретан та епоксидні смоли, які створюють міцний та еластичний захисний шар. Загальний вид деяких деталей з нанесеним поліуретановим покриттям наведено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Деталі із поліуретановим покриттям робочих поверхонь

У роботі [4] доведено, що ці покриття зберігають свої властивості навіть при ударах і терті, що є важливим для рухомих деталей. Автор наголошує, що такі покриття підходять для з'єднань, які працюють в умовах змінних механічних навантажень.

У роботах [5-7] проаналізовано ефективність нітридних та оксидних покриттів для захисту поверхонь, що піддаються абразивному зносу. Доведено, що ці покриття мають високу твердість і стійкість до тертя, що особливо актуально для елементів, які взаємодіють із ґрунтом і стикаються з абразивними частинками. Зазначено, що такі покриття можуть бути перспективними для широкого застосування у виробництві сільськогосподарської техніки, особливо для робочих органів машин.

Застосування змащувальних матеріалів захищає поверхні від тертя. Використовують водостійкі мастила для захисту від корозії, термостійкі – для роботи при значних температурних коливаннях, а консистентні мастила з протизносними чи антифрикційними присадками особливо ефективні у

запилених умовах. Важливим є регулярне змащування, оскільки з часом мастило пересихає або забруднюється, що знижує його захисні властивості.

Використання сучасних змащувальних матеріалів показує, що консистентні мастила з водовідштовхувальними та антикорозійними властивостями є одним із найефективніших методів захисту рухомих з'єднань [8, 9]. Вони обґрунтовують застосування мастил на основі синтетичних матеріалів, які витримують екстремальні температури, високий тиск та є стійкими до вимивання водою. Це особливо важливо для техніки, що працює в умовах високої вологості та частого контакту з ґрунтом, наприклад сівалки чи ґрунтообробна техніка (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Сівалки та точки мащення їх рухомих з'єднань

Дослідження [9] розглядає переваги термостійких мастил для вузлів, що зазнають великих температурних коливань. Встановлено, що такі мастила дозволяють зберігати змащувальні властивості у широкому діапазоні температур, знижуючи ризик перегріву і зносу. Особливо важливими виявилися мастила з додаванням графітових або молібденових присадок, які зменшують тертя і продовжують строк служби з'єднань.

Для захисту від пилу, бруду та вологи широко застосовують ущільнювачі та пильники. Резинові ущільнювачі запобігають проникненню забруднень у з'єднання, тоді як пильники (металеві чи гумові кожухи) захищають від потрапляння сторонніх часток у з'єднання, особливо важливі для робочих

органів, що контактують з ґрунтом. Манжети і сальники також забезпечують захист внутрішніх частин вузлів, що потребують постійного змащування (рис. 1.4). Застосування таких елементів конструкції дозволяє суттєво підвищити довговічність трибоспряжень механізмів та машин.



Рисунок 1.4 – Захисні елементи рухомих з'єднань для захисту їх від впливу зовнішнього середовища

Особливу увагу звертають на резинові ущільнювачі, манжети, сальники, а також металеві і гумові пильники, які забезпечують надійну ізоляцію з'єднань від зовнішнього середовища. Застосування таких ущільнень особливо важливе для робочих органів сільськогосподарської техніки, що контактують з ґрунтом. Це дозволяє зменшити абразивне зношування і підвищити загальну надійність техніки. Крім цього, необхідно пам'ятати про важливість підтримання чистоти і регулярного обслуговування ущільнень, що допомагає запобігти проникненню бруду та пилу [10]. Автор наводить дані про зниження зносу деталей завдяки використанню багатошарових ущільнювачів, які краще ізолюють внутрішні частини вузлів навіть за частих контактів з вологим і запиленим середовищем.

Одним із шляхів підвищення довговічності деталей, що працюють в умовах з підвищеним запиленням є використання зносостійких матеріалів та сплавів.

У роботах [11, 12] проаналізовано застосування легованих сталей, зокрема з додаванням хрому та молібдену, що підвищує стійкість до корозії та зносу. Він обґрунтовує, що леговані сталі мають високу міцність і забезпечують

тривалий термін служби навіть за інтенсивної експлуатації. У роботах авторів наведені дані про ефективність таких матеріалів для деталей, що працюють у вологих умовах і контактують з агресивними речовинами.

Крім того, використання композитних матеріалів та полімерів для рухомих з'єднань є важливим напрямом [13-18]. У вказаних роботах автори звертають увагу на те, що полімерні матеріали можуть значно зменшити вагу конструкцій і мають природну стійкість до корозії, що робить їх придатними для застосування в умовах підвищеної вологості. Наведено дані про те, що композити та пластики зберігають міцність і не піддаються впливу агресивних речовин, які часто використовуються в сільському господарстві.

Спеціальні конструктивні рішення також сприяють захисту рухомих з'єднань. Наприклад, закриті підшипники мають вбудовані ущільнення, що захищають їх від бруду і вологи. Конструкції з мінімальним зазором знижують проникнення забруднень у з'єднання, а з'єднання із самозмащувальних матеріалів (бронзові втулки, підшипники з графітовим покриттям) забезпечують змащування навіть без додаткового мастила.

Додаткові конструкційні кожухи надають захист деталям, що контактують з агресивним середовищем. Вони підходять для шарнірів, осей і валів, які постійно контактують із ґрунтом та вологою. Кожухи також обмежують доступ до механізмів, знижуючи ймовірність механічного пошкодження та проникнення бруду і води.

Сільськогосподарська техніка часто працює в агресивному середовищі, що може містити добрива, пестициди та інші хімічні речовини, які сприяють корозії і швидкому зносу. Щоб уникнути цих впливів, застосовують спеціальні хімічно стійкі покриття, наприклад, полімерні або керамічні, а також хімічно стійкі матеріали, як-от нержавіючу сталь або пластики, для деталей, що часто контактують з агресивними речовинами.

Таким чином, поєднання захисних заходів, таких як антикорозійні покриття, змащувальні матеріали, ущільнювачі, зносостійкі матеріали, а також регулярне обслуговування і чистка дозволяє зменшити негативний вплив

зовнішнього середовища. Це забезпечує довговічність рухомих з'єднань і надійність сільськогосподарської техніки, що необхідно для її стабільної та ефективної роботи навіть у важких умовах.

Проте, реалізація вище вказаних технічних рішень, для більшості рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки, не застосовується або застосовується досить обмежено. Пов'язано це насамперед із необхідністю забезпечення низької вартості таких трибоспряжень.

Тому, одним із рішень є застосування конструкційних матеріалів з незначною вартістю, що здатні працювати в запиленних умовах, без створення захисних елементів конструкції або постійного середовища мащення. Серед значного різноманіття матеріалів, саме полімерні композити можуть задовольнити всі вище вказані вимоги.

1.3 Переваги застосування полімерно-композитних матеріалів у трибоспряженнях

Застосування полімерно-композитних матеріалів у конструкціях сільськогосподарської техніки стає все більш актуальним через їх численні переваги: стійкість до корозії, низьку вагу, високу міцність та здатність ефективно працювати в агресивних середовищах. Огляд літератури та досліджень у цьому напрямку підтверджує, що полімерно-композитні матеріали стають одним із ключових рішень для рухомих з'єднань техніки, яка піддається інтенсивному навантаженню та складним умовам експлуатації.

Розглянемо основні переваги застосування ПКМ у конструкції с.-г. машин. Значна перевага полімерно-композитних матеріалів, таких як скловолокно, вуглецеве волокно і поліамід, полягає у їхній природній стійкості до корозії. Роботи [13, 14, 19] показують, що ці матеріали мають високу стійкість до добрив, пестицидів та вологи, що дозволяє знизити частоту ремонту та заміни зношених деталей. На відміну від металів, які швидко піддаються корозії у вологих умовах, полімери не вступають в реакцію з

агресивними хімічними сполуками, що робить їх ідеальними для застосування в сільськогосподарській техніці, де контакт із добривами та водою є постійним.

Композитні матеріали, особливо на основі вуглецевого волокна, мають значно меншу вагу порівняно з традиційними металами, такими як сталь чи чавун [20-23].

Таблиця 1.1 – Характеристики деяких сталей та ПКМ [20]

Параметр	Назва матеріалу і значення		
	СКММ-40Н	СКММ-30М	Сталь 20
Щільність, г / см ³	1,2	1,14	7,8
Ударна в'язкість, кДж/м ²	35	39	140
Межа міцності при стисканні, МПа	166	128-148	410
Коефіцієнт тертя:			
- тертя без змащування	0,16...0,24	0,18-0,26	0,75-0,8
- при змащуванні водою	0,02...0,03	0,06...0,08	-
- при змащуванні оливою	0,01	0,018...0,03	0,03-0,05
Здатність до рециклінгу (повторної переробки)	Здатні		Не здатна

У роботах [21-23] підкреслюється, що зниження ваги рухомих з'єднань дозволяє зменшити енергоспоживання техніки, що особливо важливо для великогабаритних машин. Менша вага сприяє зниженню навантаження на двигун та інші енергетичні системи, що підвищує загальну ефективність роботи техніки та знижує витрати на паливо.

Також серед переваг ПКМ є підвищення зносостійкості та низький коефіцієнт тертя, у порівнянні зі сталями чи сплавами. Більшість ПКМ мають низький коефіцієнт тертя, що є особливо корисним для рухомих з'єднань, які працюють у запилених та забруднених умовах. Завдяки цьому знижується абразивний знос, а також мінімізується потреба у частому змащуванні. Композити з добавками, такими як графіт або молібден, демонструють підвищену зносостійкість у порівнянні з металевими матеріалами [24, 25]. Ці

добавки утворюють природну антифрикційну поверхню, знижуючи тертя і подовжуючи термін служби з'єднань.

Однією із властивістю, що суттєво відрізняє ПКМ від сталей є можливість одержання матеріалів, що мають самозмащувальні властивості. Наприклад, у дослідженнях [26, 27]. розглянуто використання полімерів із вмістом графітових часток, які забезпечують ефект самозмащування. Це дозволяє зменшити або повністю виключити необхідність у додатковому змащуванні рухомих з'єднань. Такий підхід значно скорочує експлуатаційні витрати, підвищує екологічність техніки та зменшує ризик забруднення навколишнього середовища мастильними матеріалами.

Полімерні матеріали та композиції на їх основі можуть мати високу стійкість до механічних навантажень та деформацій [28-30]. Такі матеріали не тільки мають високу ударостійкість, але й демонструють здатність до деформації без розривів, що підвищує надійність з'єднань у важких умовах експлуатації. Вчені зазначають, що з'єднання, виготовлені з полімерних композитів, витримують навіть сильні удари та вібрації, що часто зустрічаються під час польових робіт.

ПКМ мають високу технологічність і гнучкість у процесі виробництва, що дозволяє створювати складні за формою деталі з мінімальними витратами [31]. В роботі розглядається здатність полімерно-композитних матеріалів адаптуватися до різних форм і конфігурацій, що робить їх ідеальними для застосування в нестандартних конструкціях. Це дозволяє виготовляти рухомі з'єднання з потрібними характеристиками за міцністю, розмірами та навіть кольором, що підвищує функціональність техніки та знижує витрати на виробництво.

Крім вище наведеного, ПКМ крім переваг, мають й певні недоліки. Серед основних це обмежений температурний діапазон експлуатації та для деяких з них гігроскопічність. Якщо перший з недоліків, для більшості деталей с.-г. машин не суттєвий, так температура їх експлуатації не перевищує 60...70 °С навіть при роботі в літню спеку на сонці. То другий, досить серйозно може

вплинути на довговічність деталей з ПКМ. Крім цього, для забезпечення мінімальної вартості таких деталей, їх характеристики повинні бути адаптовані до режимів експлуатації трибоспряжень.

1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи

Проведений аналіз свідчить, що полімерно-композитні матеріали мають великий потенціал для застосування в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки. Їхні антикорозійні властивості, висока міцність, здатність до самозмащування та зниження ваги роблять їх важливими компонентами для підвищення довговічності та зниження експлуатаційних витрат техніки. Завдяки цьому полімерні композити можуть значно підвищити ефективність та надійність сільськогосподарських машин у складних польових умовах.

Обґрунтування складу ПКМ відповідно до режимів роботи має велике значення, оскільки саме склад і структурні характеристики матеріалу визначають його фізико-механічні властивості, такі як міцність, зносостійкість, стійкість до температурних і хімічних впливів. Різні режими експлуатації вимагають адаптації складу матеріалу, щоб забезпечити оптимальну ефективність і довговічність конструкцій.

ПКМ часто використовуються в умовах, що вимагають спеціальних характеристик: стійкості до агресивного середовища, високих температур або високих механічних навантажень. Наприклад, додавання армуючих частинок чи волокон (скловолокна, вуглецевих волокон) підвищує жорсткість і міцність матеріалу, що важливо для виробів, які працюють при високих навантаженнях. Для забезпечення тривалого строку служби ПКМ важливо врахувати потенційні фактори деградації, такі як ультрафіолетове випромінювання, окислення чи механічне зношування. Наприклад, стабілізатори, антиоксиданти та інші модифікуючі добавки захищають матеріал від передчасного старіння, що є критичним для зовнішніх елементів конструкцій.

Обґрунтування складу дозволяє знизити витрати на матеріали без втрати експлуатаційних характеристик, а також мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Додавання вторинних або перероблених компонентів у полімерні композити сприяє зниженню витрат та підвищенню екологічності виробництва.

Тому, метою дипломної роботи є обґрунтування складу конструкційних пластиків для рухомих деталей сільськогосподарської техніки з врахування режимів їх експлуатації.

Завдання дипломної роботи:

1. Проаналізувати умови експлуатації рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на них. Розглянути переваги застосування полімерно-композитних матеріалів у вказаних трибоспряженнях.

2. Навести програму виконання досліджень, методики та обладнання.

3. Виконати дослідження характеристик полімерно-композитних матеріалів, проаналізувати одержані результати та надати рекомендації щодо використання обраних матеріалів.

4. Розглянути основні вимоги безпеки щодо виконання робіт на обладнанні для дослідження міцнісних характеристик матеріалів та порядок проведення обслуговування цього обладнання.

5. Провести оцінку економічної ефективності дипломної роботи.

2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Завдання та програма роботи

Адаптація складу конструкційних матеріалів до специфічних умов роботи с. г. техніки та собівартість деталей, з таких матеріалів, є ключовим аспектом для досягнення надійності, довговічності та економічної ефективності використання ПКМ. У таких механізмах матеріали піддаються впливу різних факторів: інтенсивних механічних навантажень, частого контакту з абразивними частинками (наприклад, пилом і землею), впливу вологи та температурних коливань. Ці умови сприяють значному зносу матеріалів, що може швидко виводити деталі з ладу. Тому, адаптований склад ПКМ допомагає забезпечити стійкість до цих навантажень, що дозволяє деталям зберігати свої робочі властивості протягом тривалого часу.

Налагодження виробництва конструкційних пластиків на національному рівні сприятиме імпортозаміщенню та зміцненню незалежності підприємств від зовнішніх постачань. Застосування оптимального складу ПКМ також сприяє досягненню балансу між міцністю, термостійкістю та собівартістю. Вибір матеріалів, здатних витримувати навантаження та забезпечувати високу зносостійкість, водночас повинен враховувати їхню економічну доступність, щоб зменшити загальні витрати на виробництво.

Програма експериментальних досліджень містила наступні етапи:

- підготовка складових ПКМ та одержання матеріалів методом екструзії;
- підготовка одержаних ПКМ та їх переробка у вироби (зразки для досліджень);
- визначення фізико-механічних характеристик ПКМ;
- дослідження вологопоглинання одержаних матеріалів;
- обробка отриманих результатів досліджень, обґрунтування оптимальних складів ПКМ для рухомих з'єднань с.-г. машин.

2.2 Технологія одержання полімерно-композитних матеріалів та зразків для виконання досліджень їх характеристик

В якості вихідних матеріалів обрано поліамід 6, вуглецеве волокно (ВВ) та силіконове мастило марки ПМС-400 (рис. 2.1)



а



б



в

Рисунок 2.1 – Компоненти ПКМ: а – поліамід-6 (матриця матеріалу), б – вуглецеве волокно довжиною 3 мм; в – мастило ПМС-400

Так як, одержання композиту виконували на двокомпонентному екструдері, то мастило додавали у полімерну матрицю та добре перемішували в спеціальній ємності до одержання рівномірного його розподілу по поверхні гранул поліаміду.

Матеріали одержували шляхом екструзії компонентів за допомогою екструдера ЕКГ-45 (рис. 2.2). Крім базових механізмів дозування, даний екструдер містить розроблену систему дозованої подачі вуглецевого волокна. Дана система унеможлиблює його зависання в бункері та дозволяє одержувати рівномірну подачу ВВ в зону змішування компонентів. Необхідність розробки такої системи обґрунтована ефектом розпушення ВВ та його зв'язування між собою, що призводить до пульсуючої його подачі або взагалі її відсутності. Як результат на виході екструдера одержується неякісний та нестабільний за характеристиками матеріал.



Рисунок 2.2 – Екструдер із системою для подачі вуглецевого волокна із високою точністю дозування

Система складається: із бункера, який підвішений та вільно рухається у всіх напрямках; двох вібраторів, що забезпечують проходження ВВ з бункеру до дозуючого пристрою та його рух по похилому жолобі; та шнека для дозування ВВ.

Поліамід 6 – гігроскопічний матеріал, тому перед завантаженням його у бункер, для видалення волого, необхідно виконувати його сушіння. Виконували дану процедуру у спеціальній термошафі з конвекцією при температурі 80 °С не менше 3 годин.

Готовий матеріал у вигляді гранул також потребує процесу сушіння, так як у технологічному процесі його одержання, стренги проходять через ванну з водою, і відповідно вбирають її.

Перед виготовленням зразків із одержаних матеріалів необхідно також виконувати його сушіння та підігрівання прес-форм до температури не менше 60 °С.

Зразки для дослідження характеристик ПКМ виготовляли методом лиття під тиском на вертикальній гідравлічній машині для лиття пластмас (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Машина для литтям пластмас під тиском

Технологія виготовлення зразків із полімерного композиційного матеріалу починається з того, що ПКМ засипається в приймальний бункер, звідки самопливом потрапляє в циліндр навколо якого розташовані нагрівальні елементи [32]. У нагрівальній камері матеріал розігрівається до температури розплаву (для ПКМ, на основі поліаміду 6 та ВВ, ця температура знаходиться в діапазоні 230...240 °С), яка контролюється електронною системою з термопарами. Коли матеріал досягає необхідної температури, він подається у завчасно підігріту прес-форму за допомогою гідроциліндра, розташованого у верхній частині установки. Після заповнення прес-форми матеріалом відбувається витримка прес-форми під тиском, щоб забезпечити усадку матеріалу, що може тривати від 10 до 40, інколи й більше секунд, залежно від розмірів деталі та конструкції прес-форми. Завершальним етапом є ручне розбирання прес-форми та виймання готових зразків.

Загальний вигляд зразків, із розроблених ПКМ, для дослідження фізико-механічних характеристик наведено на рис. 2.4

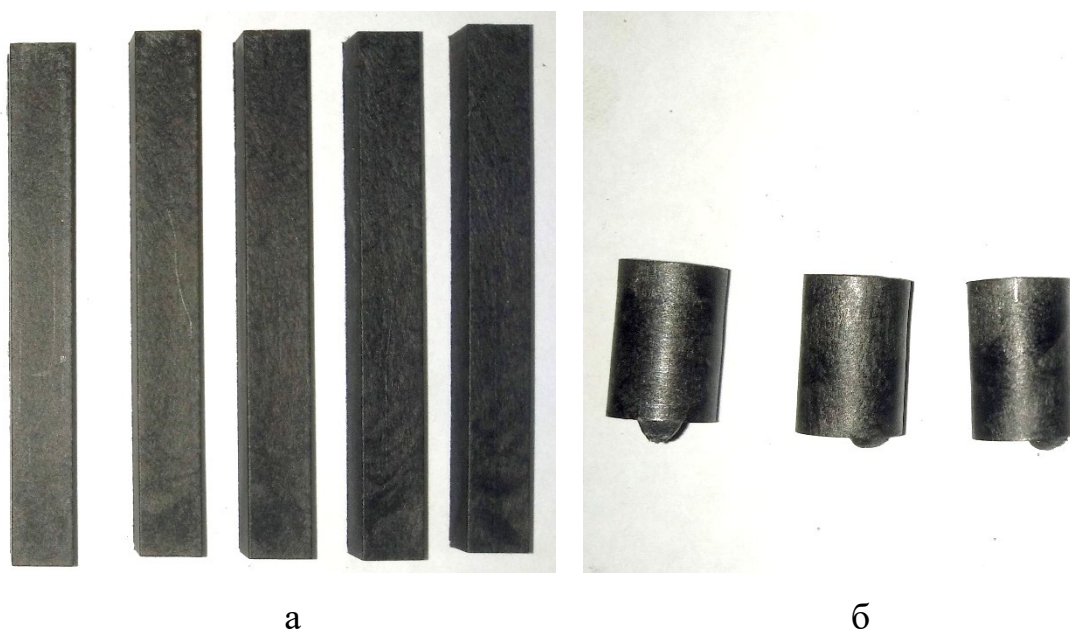


Рисунок 2.4 – Зразки для дослідження: а – ударної в'язкості, б – межі текучості при стисканні

Зразки для визначення вологопоглинання ПКМ виготовлені у формі прямокутника зі сторонами 70×42 мм, товщиною 5 мм (рис. 2.5).

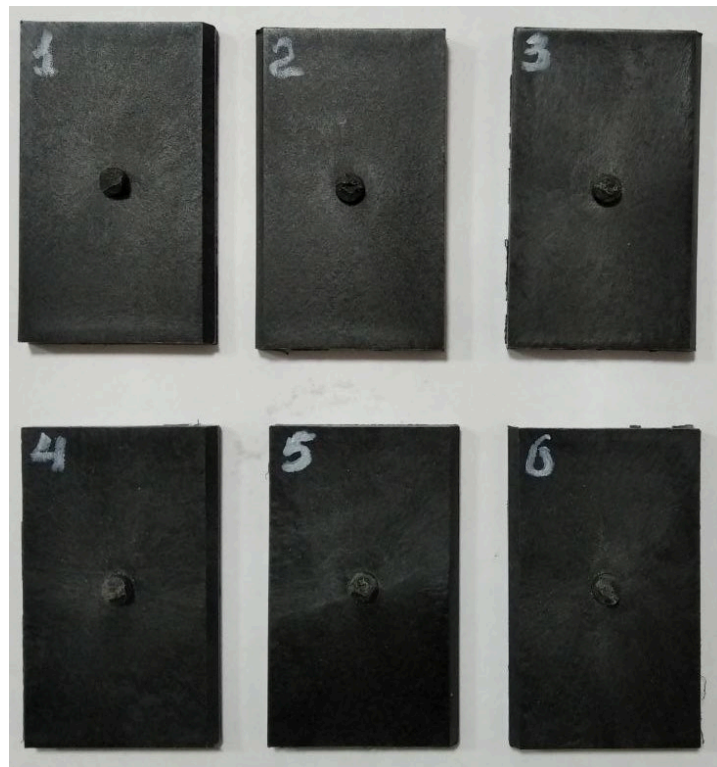


Рисунок 2.5 – Зразки для визначення вологопоглинання матеріалів

Необхідно щоб після одержання зразків (лиття) та початком дослідження їх характеристик минуло не менше двох діб. В цей час завершується повністю процес усадки та матеріал має стабільні характеристики та властивості.

2.3 Методика дослідження фізико-механічних характеристик розроблених матеріалів

Однією із важливих характеристик матеріалі конструкційного призначення є межа міцності до руйнування або межа текучості матеріалу (безповоротна втрата форми). В залежності від притаманних властивостей для різних ПКМ необхідно визначати або дві вказані вище характеристики або тільки одну – межу текучості матеріалу (для матеріалів, що не руйнуються при стисканні, а тільки деформуються). Межу міцності руйнування зразків та межу текучості матеріалу визначали відповідно до ДСТУ EN ISO 604:2019 [33] за допомогою машини FP-100/1 (рис. 2.6).

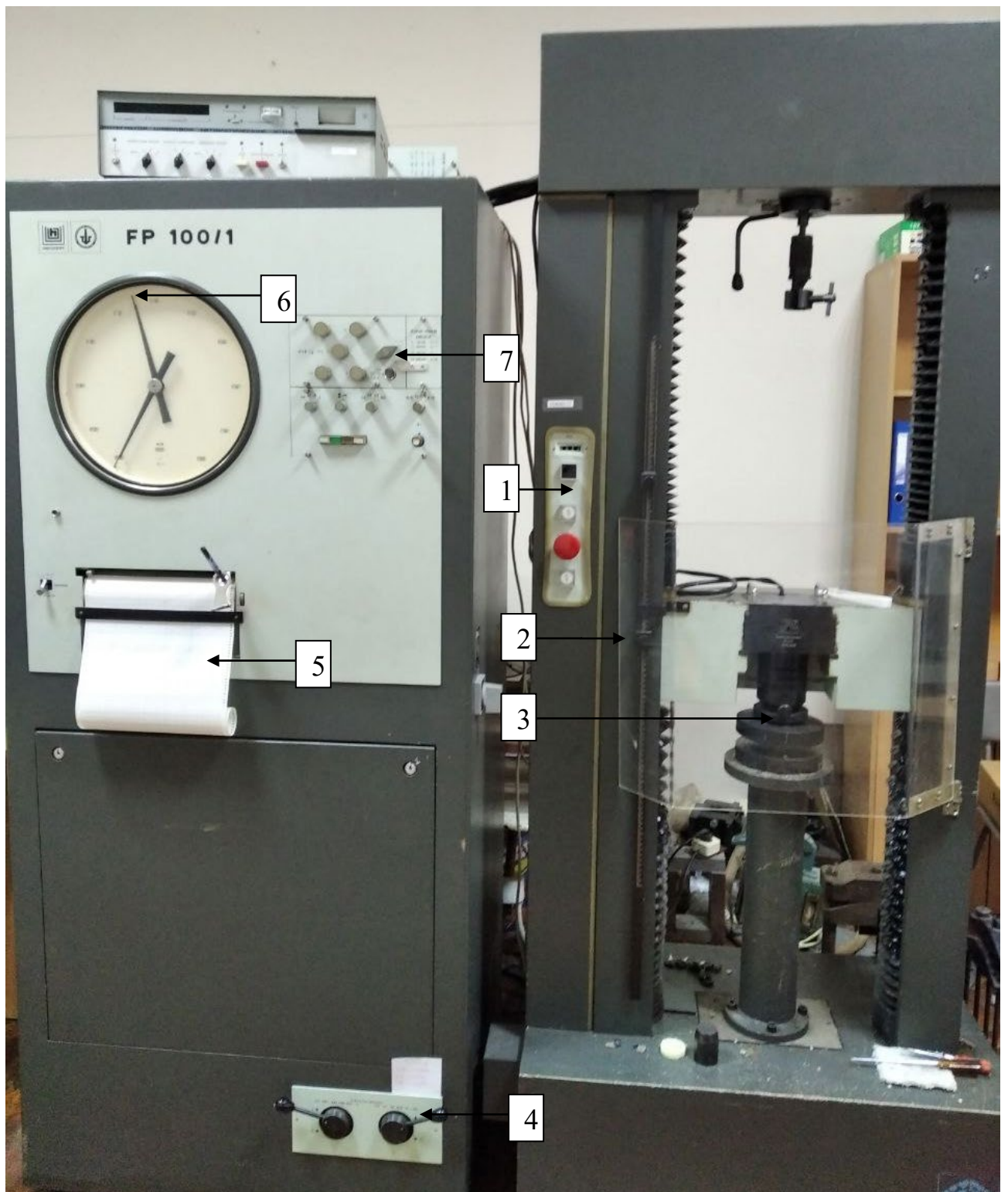


Рисунок 2.6 – Машина випробувальна FP-100/1

1 – пульт керування; 2 – захисне скло; 3 – пристосування для дослідження зразків на стискання; 4 – механізм перемикання швидкості руху траверси; 5 – самописець; 6 – показчик навантаження; 7 – блок налаштування

Зразки для дослідження матеріалів на стиск мали такі орієнтовні розміри: діаметр 10 мм, висота циліндрів – 15 мм. Для одержання адекватних результатів досліджень необхідно забезпечити паралельність опорних поверхонь вказаних зразків.

Напруження текучості матеріалу при стисканні (σ_p) розраховували за формулою:

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

де P – питомий тиск, що припадає на зразок, МПа

F – середнє значення площі поперечного перерізу, визначене на основі не менше трьох вимірювань у різних паралельних площинах, мм²;

Ударну в'язкість матеріалів визначали за методом Шарпі, відповідно до ISO 179:1993, на маятниковому копрі КМ-0,4 [32, 34].

Після виготовлення зразків обов'язково необхідно виконати зняття залишків матеріалу (так званий облой). Як і для всіх матеріалів поліамідної групи, зразки для дослідження на ударну в'язкість, потребують сушіння перед випробуваннями. Якщо виготовлення зразків відбувається методом лиття під тиском, то допускається виконувати вимірювання розмірів 5 зразків для кожного матеріалу. Середнє значення із одержаних вимірювань приймають за остаточний результат.

Досліджуваний зразок встановлюють на опори з відстанню між ними – 40 мм. Після чого відбувається відпускання молотка копру, який падаючи вниз, повертається та вдаряє посередині досліджуваного зразку. Датчик приладу фіксує енергію, яку затрачено на руйнування зразку.

Ударну в'язкість (в кДж) визначали за формулою:

$$a_n = \frac{A_n}{b \cdot s \cdot 1000} \quad (2.2) \text{де } A_n \text{ – енергія}$$

(кДж/(кг/см²)), яка витрачається приладом для руйнування досліджуваного зразку удару. Вказується вимірювальним елементом копра;

b – ширина досліджуваного зразку, мм;

s – товщина досліджуваного зразку, мм.

2.4 Методика дослідження волого поглинання матеріалів

Визначення вологопоглинання виконували у холодній воді відповідно до вимог EN ISO 62 [29, 35].

Обладнання та інструмент, який використовується при виконанні досліджень: аналітичні терези з точністю $\pm 0,1$ мг (рис. 2.7); піч з примусовою конвекцією та підтримкою температури в межах $(50,0 \pm 2,0)$ °C; контейнери, що містять дистильовану воду; Ексикатор із осушувачем (P2O5); засоби вимірювання розмірів досліджуваних зразків з точністю $\pm 0,1$ мм.

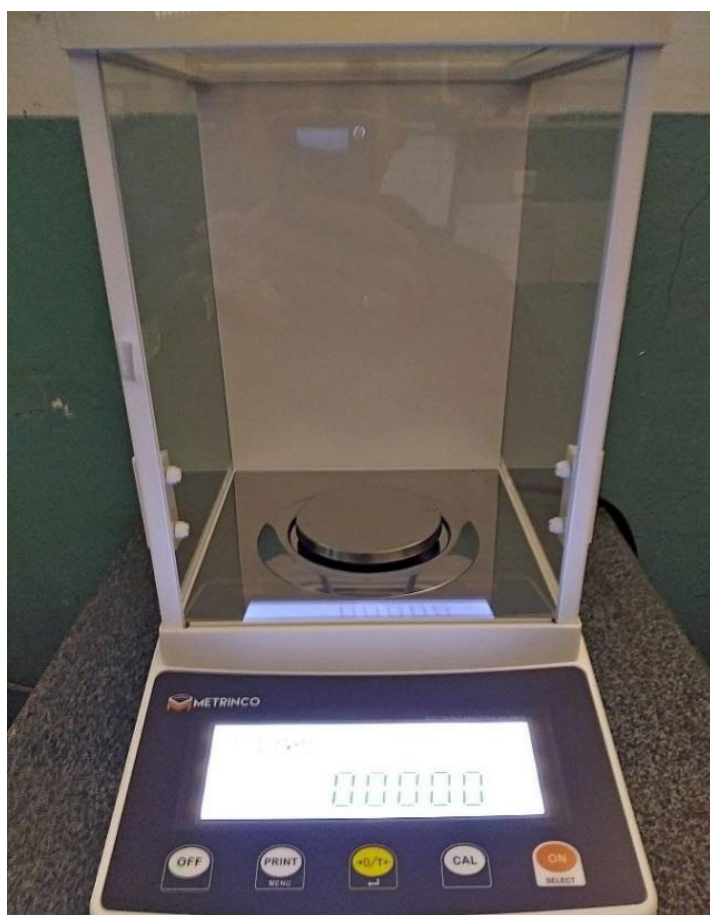


Рисунок 2.7 – Терези аналітичні METRINCO AB224

Для кожного досліджуваного матеріалу необхідно підготувати мінімум три зразки, щоб забезпечити репрезентативність результатів. Зразки повинні мати відповідні розміри, які можна досягти методом формування або екструзії. Всі методи, що застосовуються для підготовки зразків до випробувань, мають бути детально задокументовані у протоколі тестування.

При проведенні тестування важливо враховувати можливі поверхневі ефекти, які можуть впливати на результати, особливо для матеріалів, що демонструють різницю у водопоглинанні між формованими зразками та тими, які були вирізані з більших листів. Для забезпечення точності вимірювань потрібно видаляти будь-які забруднення з поверхні зразків, які можуть впливати на водопоглинання. Очищення здійснюється за допомогою мийного засобу, що не пошкоджує пластик.

Після очищення зразки мають сушитися в умовах температури $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносної вологості 50% протягом не менше 2 годин. Під час роботи з підготовленими зразками необхідно використовувати чисті рукавички, щоб запобігти їх повторному забрудненню.

Зразки повинні мати форму диску або квадрату та товщиною зразка $1,0 \pm 0,1$ мм. Зразки можуть виготовлятися методом лиття під тиском.

Для певних матеріалів, таких як поліаміди, полікарбонати та деякі види армованих пластиків, товщина 1 мм може бути недостатньою для отримання точних результатів. Для деяких матеріалів, таких як поліаміди, полікарбонати та деякі армовані пластики, допускається використання зразків товщиною більше 1 мм, так як їх вологопоглинання може мати незначні величини, яке складно зафіксувати при незначних розмірах. Поверхні зразків повинні бути рівними та чистими.

Методика проведення дослідження волого поглинання наступна: Спочатку необхідно висушити всі зразки в сушильній шафі при температурі $(50 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом не менше 24 годин, після чого необхідно дати їм охолонути до кімнатної температури в ексикаторі. Після цього виконували зважування зразків з точністю до 0,1 мг і повторювали процес сушіння та зважування, доки маса зразків не стане постійною з похибкою $\pm 0,1$ мг. Потім поміщають зразки в ємність з дистильованою водою з температурою $23,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ з допуском $\pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (або $\pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, якщо інше вказано в специфікаціях). Після цього виконували занурення зразків на 24 години (± 1 година) у воду. Після вказаного часу зразки виймали з ємності та видаляли поверхневу воду чистою сухою тканиною або

фільтрувальним папером. Одразу після цього необхідно виконати зважування зразків з точністю до 0,1 мг, не пізніше, як протягом 1 хвилини після вилучення з води. Для визначення вмісту води при насиченні, необхідно повторно занурити зразки у воду та зважувати їх через задані інтервали часу, наприклад, через 24 години.

Вологопоглинання визначають у відсотках зміни маси зразків після витримки їх у воді та до цього.

Результати досліджень, виконані за розглянутими методиками, та їх аналіз, наведено у 3 розділі дипломної роботи.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати визначення фізико-механічних характеристик та властивостей матеріалів

Введення того чи іншого наповнювача, в матрицю матеріалу, потребує визначення його оптимальної концентрації в структурі готового ПКМ. Саме від кількості наповнювача залежить не тільки характеристики матеріалу, а й його вартість, що відіграє одне із вирішальних значень, при обґрунтуванні того чи іншого матеріалу для використання в конкретних трибоспряженнях сільськогосподарської техніки. Тому, спочатку визначимо вплив концентрації ВВ на міцнісні характеристики ПКМ.

Однією із важливих характеристик ПКМ є межа текучості матеріалу за умови статичного навантаження або знакозмінного динамічного навантаження. Величина навантаження за якого відбувається втрата форми (текучість матеріалу) дозволяє оптимізувати конструкцію готових деталей з врахуванням їх режимів роботи.

Високі значення міцнісних характеристик конструкційних матеріалів є основним при обґрунтуванні доцільності його застосування у трибоспряженнях. Основна частина наукових досліджень спрямована на підвищення цих характеристик, в той час як вартість технологій та самих матеріалів відсувається на другий план. В результаті чого, часто виникає ситуація коли є матеріали, що мають високі міцнісні характеристики, а їх широке впровадження обмежує значна собівартість готових деталей. Тому, необхідно виконувати дослідження з точки зору майбутнього застосування одержаних ПКМ.

Для одержаних матеріалів розроблено шифри (умовні назви), які базуються на вказані вмісту у мас. % ВВ та мастила ПМС-400 у полімерній матриці. Шифри або назви цих матеріалів наведено в табл. 3.1.

Назви одержаних матеріалів та структура компонентів у них

№ з/п	Назва матеріалу	Вміст компонентів, мас. %		
		Поліамід-6	ВВ	Мастило ПМС-400
1	ВПА-6-15	85	15	-
2	ВПА-6-20	80	20	-
3	ВПА-6-30	70	30	-
4	ВПА-6-20+0,5	79,5	20	0,5
5	ВПА-6-20+1	79	20	1
6	ВПА-6-20+2	78	20	2

Результати досліджень одержували на діаграмному папері у вигляді залежності навантаження від деформації зразка (рис. 3.1).

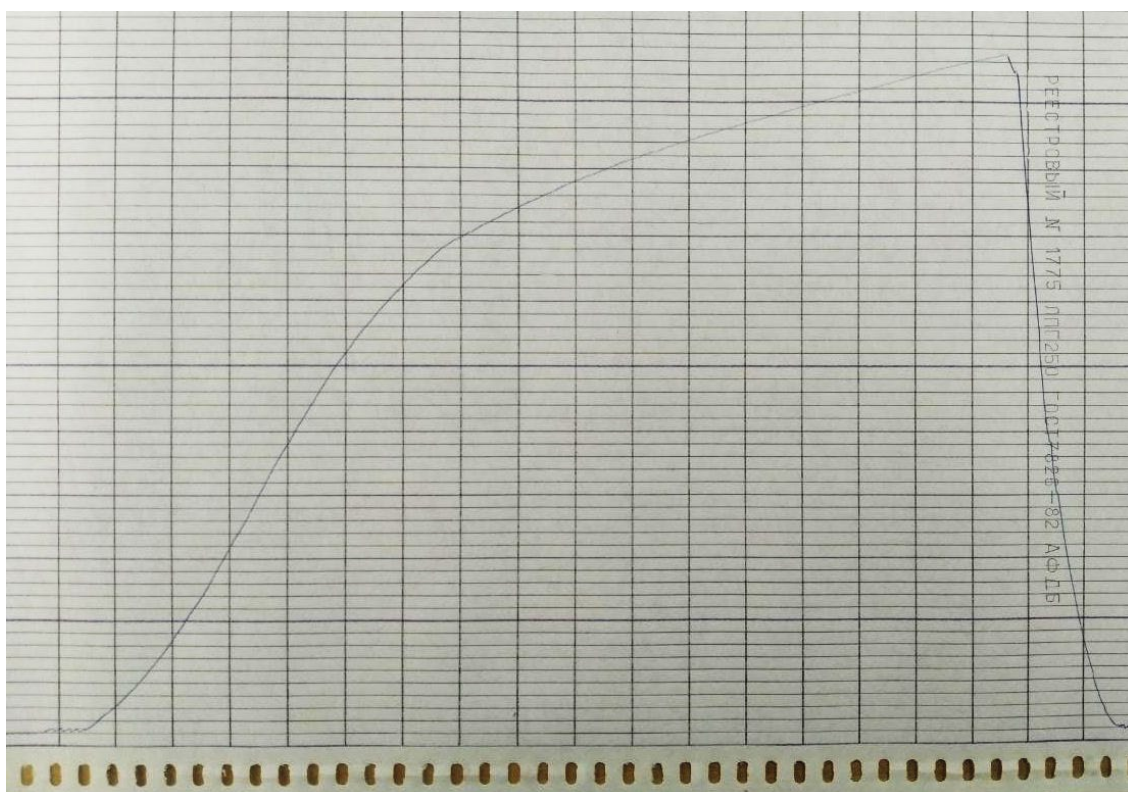


Рисунок 3.1 – Графік залежності навантаження від деформації одержаний на діаграмному папері на машині FP-100/1 при дослідженні матеріалів на стискання

Досліджувані зразки не мали характерного руйнування під час досліджень на стиск (рис. 3.2).

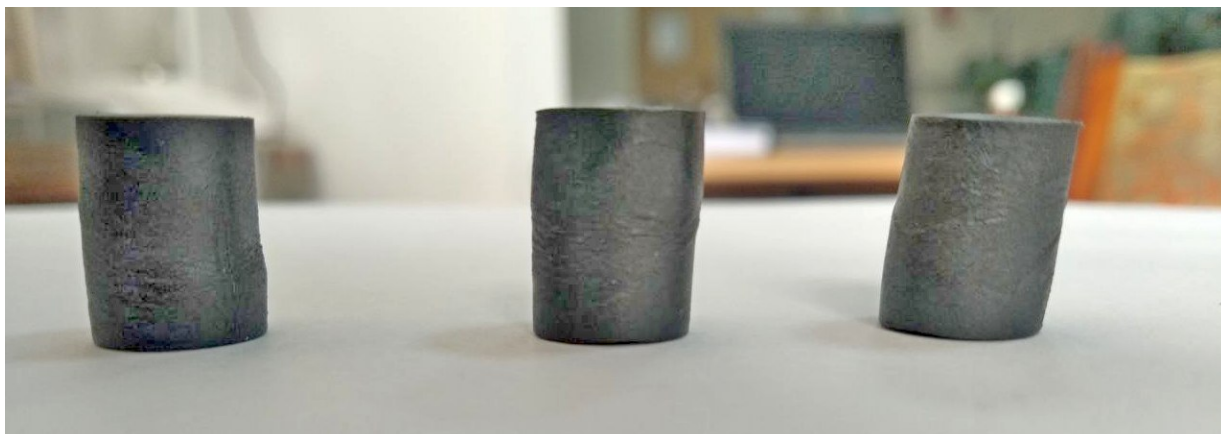


Рисунок 3.2 – Зразки після випробування на стиск

Зразки при прикладанні навантаження деформувалися та змішувалися їх шари відносно вертикальної осі, без виникнення руйнування (тріщин) зразка в цілому. Саме це вказує на необхідність визначення межі текучості, а не міцності для досліджуваних зразків.

Результати впливу концентрації ВВ мас. % на межу текучості ПКМ на основі поліаміду 6 наведені на рис. 3.3

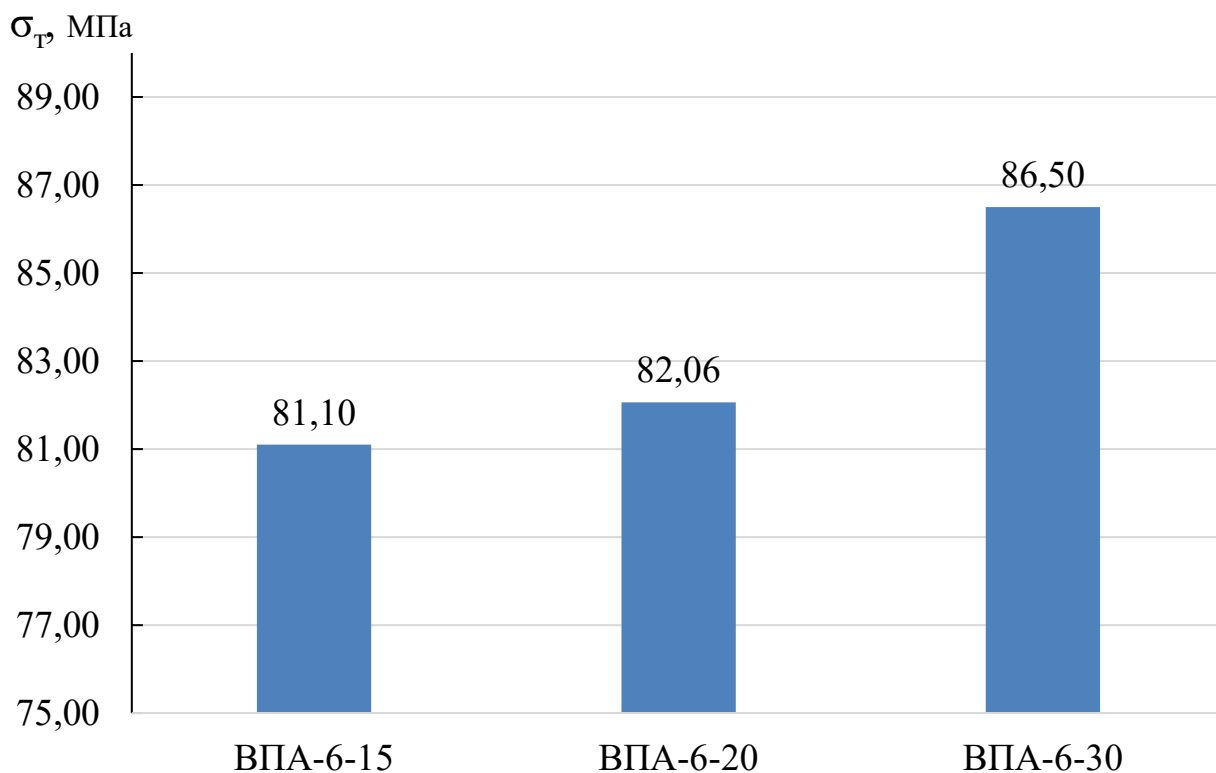


Рисунок 3.3 – Вплив концентрації ВВ мас. % на межу текучості ПКМ

Встановлено, що збільшення вмісту ВВ, призводить до зростання межі текучості ПКМ. Слід зауважити, що зростання концентрації вуглеволокна з 15 до 20 мас. % спричиняє зростання досліджуваного показника з 81,1 МПа до відповідно 82,06 або у відсотковому значенні зростання становить всього 1,1 %. Підвищення концентрації до 30 мас. % дозволяє одержати матеріал із значно вищою межею текучості – 86,5 МПа, що на 6,6 % більше, у порівнянні із вмістом ВВ 15 %, що вказує на суттєве зростання при значній концентрації наповнювача. Такий ефект може бути пов'язаний із тим що ВВ має значно вищі показники щодо межі міцності, та виконує функцію армуванням матриці поліаміду.

При цьому, слід згадати, що високі показники міцності не завжди необхідні для забезпечення працездатності трибоспряжень с.-г. машин. Збільшення ж концентрації ВВ неодмінно спричиняє суттєве зростання собівартості одержаного ПКМ.

Деталі рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки, зокрема ґрунтообробної та посівної, працюють в умовах значних ударних навантажень. Такі режими роботи пов'язані із взаємодією робочих вказаних машин із ґрунтом. Нерівномірність структури ґрунту та наявність каміння призводить до ударних навантажень на трибоспряження. Навантаження від робочих органів машин передається на рухомі з'єднання, які повинні ці навантаження витримувати без руйнування або мікро тріщини. Тому, однією із важливих характеристик ПКМ є величина ударної в'язкості. Крім того, ударна в'язкість є дуже «чутливою» характеристикою, яка суттєво змінюється навіть за незначних змінах в структурі більшості ПКМ.

Результати дослідження величини ударної в'язкості в залежності від вмісту вуглецевого волокна в матриці полімерного матеріалу наведено на рис. 3.4.

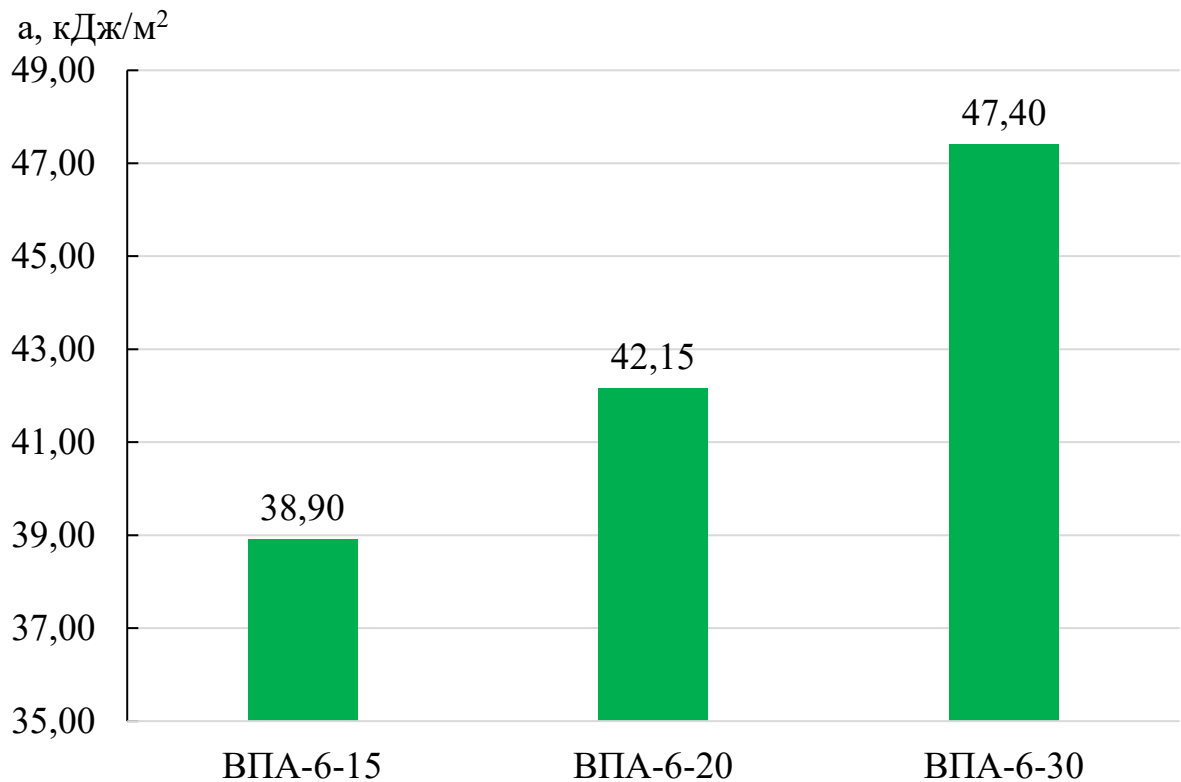


Рисунок 3.4 – Вплив ВВ на ударну в'язкість ПКМ

Встановлено, що збільшення вмісту ВВ у матриці полімерного матеріалу призводить до зростання ударної в'язкості. У випадку з концентраціями 15 та 20 мас. %, величина ударної в'язкості відрізняється на 8,3 % більша для вищої концентрації ВВ. При подальшому збільшенні вмісту ВВ, спостерігається значне зростання вказаного показника. Для матеріалу ВПА-6-30, ударна в'язкість зростає на 13 %, у порівнянні з матеріалом ВПА-6-20. Слід зауважити, що вартість ВВ досить висока – 2700 грн/кг, тому навіть незначне зростання його вмісту в ПКМ, призводить до суттєвого зростання вартості матеріалу.

У наукових дослідженнях [18, 20, 29, 32] встановлено, що величина питомого тиску на деталі трибоспряжень сільськогосподарських машин не перевищує 2...5 МПа. Тому, таких рухомих з'єднань достатньо буде матеріалу, із вмістом ВВ на рівні 20 мас. %.

Крім забезпечення міцнісних характеристик для деталей сільськогосподарських машин важливе значення має необхідність захисту ПКМ

від негативного впливу факторів робочого середовища. Зокрема такі як, абразивні частинки (пил) та волога (із повітря чи у вигляді дощу).

В якості захисту трибоспряжень від абразивних частинок, використовують різноманітні захисні конструкції пильників чи внесення спеціальних мастильних матеріалів. ПКМ на основі поліаміду та ВВ здатен працювати в умовах із підвищеною кількістю абразивних частинок. При цьому, проблема захисту таких матеріалів від вологи із зовнішнього середовища є актуальною задачею.

Тому, в роботі виконано введення силіконового мастила в структуру ПКМ ВПА-6-20, і виконано дослідження впливу вказаного компонента на характеристики та властивості одержаних матеріалів.

Для досліджень обрано мастило марки ПМС-400, так як воно має стабільні властивості за температури до 400 °С та відносно невисоку вартість. Залежність межі текучості, композитного матеріалу ВПА-6-20, при внесенні до його складу мастила ПМС-400 наведено на рис. 3.5.

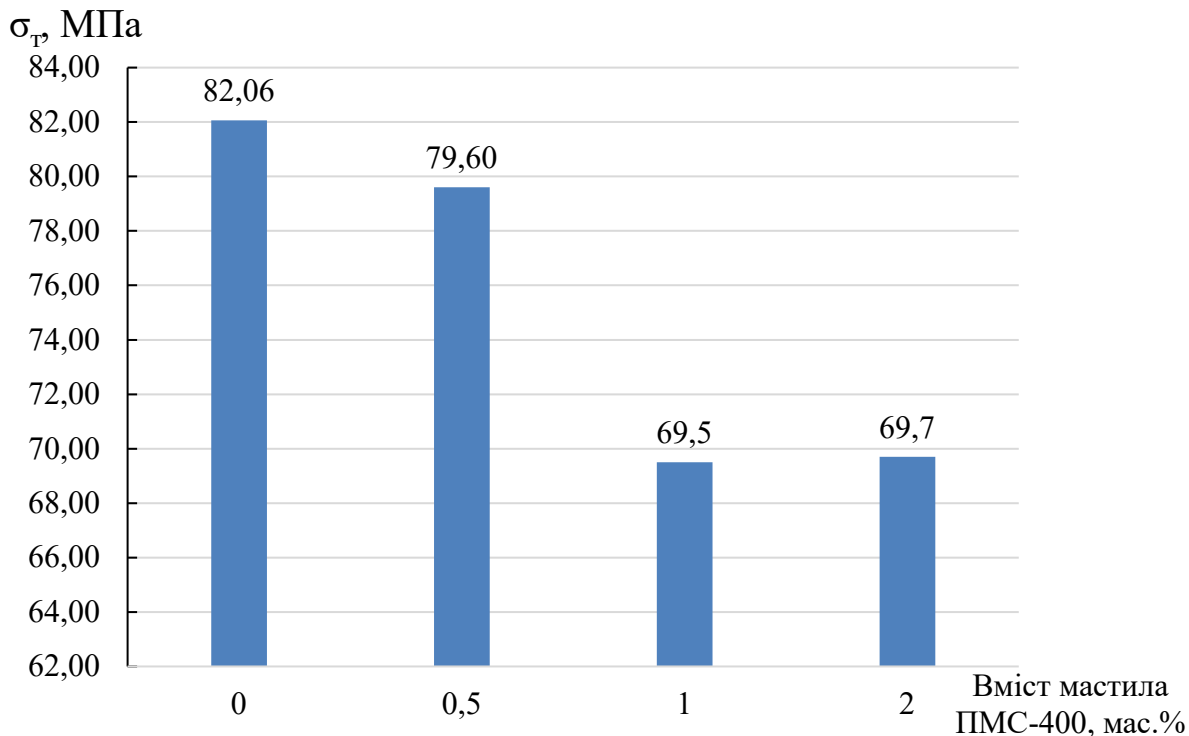


Рисунок 3.5 – Вплив концентрації силіконового мастила на межу текучості ПКМ ВПА-6-20

На основі одержаних даних можна зробити висновок, що використання обраного мастила, як наповнювача до ПКМ ВПА-6-20 спричиняє зниження межі текучості отриманих матеріалів. Слід зауважити, що незначне внесення мастила у кількості 0,5 мас. % несуттєво пливає на досліджуваний показник – межа текучості знижується менш ніж на 3 % (82,06 та 79,6 відповідно). Подальше зростання вмісту даного компоненту призводить до більш кардинальної зміни вказаної характеристики матеріалів. За умови внесення 1 мас. % та 2 мас. % ПМС-400 до ПКМ межа текучості одержаних матеріалів знижується на 15,3 % та 15,1 % відповідно у порівнянні із матеріалом, що не містить даного компоненту.

Незначна зміна межі текучості при концентраціях 1 % 2 % обумовлена тим, що ПКМ не може втримати в собі значну кількість мастила, і воно «витискається» з матеріалу при його переробці литтям під тиском у готові вироби лиття.

Вплив введення мастила у структуру ПКМ на ударну в'язкість представлено на рис. 3.6.

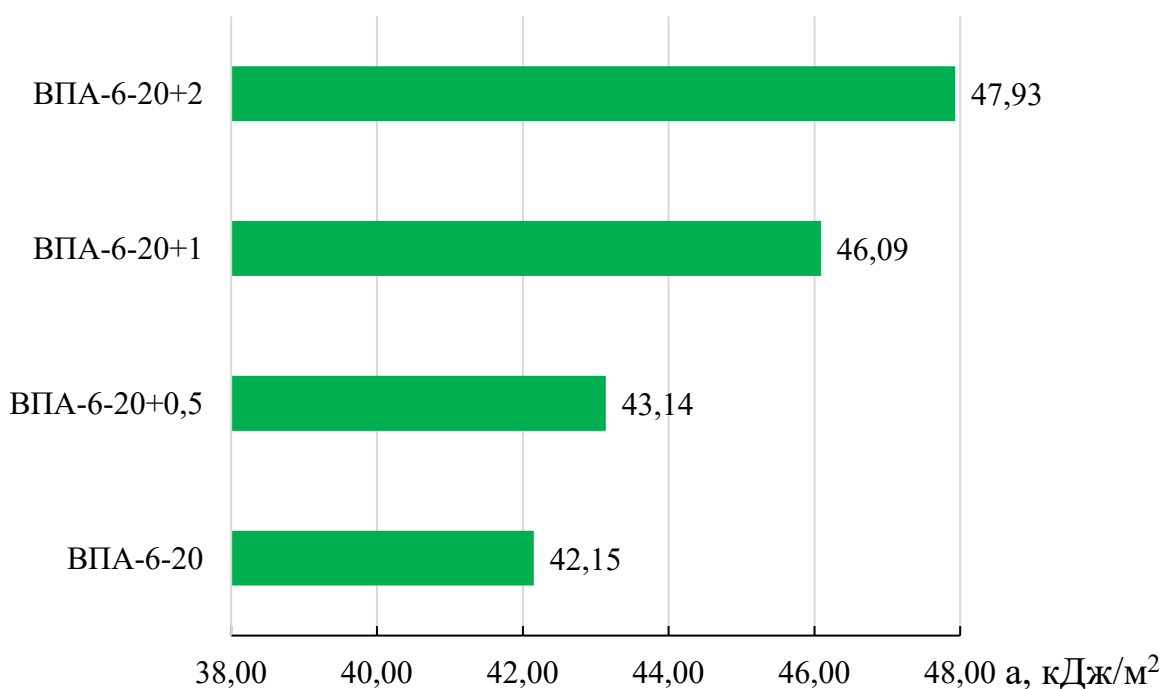


Рисунок 3.6 Вплив мастила ПМС-400 на ударну в'язкість ПКМ ВПА-6-20

Одержані результати (рис. 3.6), дозволяють зробити обґрунтований висновок, що внесення силіконового мастила до ПКМ сприяє збільшенню ударної в'язкості, у порівнянні із вихідним матеріалом. Введення 0,5 мас. % мастила призводить до незначного зростання досліджуваного показника, всього на 2,3 % (з 42,15 до 43,14 кДж/м²). Подальше збільшення концентрації даного наповнювача до 1 мас. % та 2 мас. % дозволяє одержати ПКМ, що мають ударну в'язкість вищу, у порівнянні з ненаповненим матеріалом на 9,3 % та 13,7 % відповідно. Таке зростання ударної в'язкості можна пояснити ефектом зняття концентраторів напружень за рахунок введення мастила в структуру ПКМ.

Виходячи із одержаних даних можна рекомендувати до використання матеріал ВПА-6-20+0,5, що містить крім 20 мас. % ВВ, ще й 0,5 мас. % силіконового мастила. Вказаний матеріал забезпечує високі показники межі текучості 79,6 МПа та достатню ударну в'язкість – 43,14 кДж/м².

Крім міцнісних показників, важливе значення має величина вологопоглинання ПКМ на основі поліаміду 6, так як цей матеріал має негативну властивість – гігроскопічність.

3.2 Результати визначення вологопоглинання розроблених матеріалів

Зразки для вологопоглинання після підготовки, методика якої наведена у розділі 2, швидко зважували та поміщали у скляну ємність із перфорованою вставкою на дні (рис. 3.7).

Зразки в скляній ємності (рис. 3.7) розміщено таким чином, щоб жоден із них не мав контакту із іншими експериментальними зразками та стінками посудини. Фактично зразки опираються на решітчасту вставку виконану із нержавіючою сталі, щоб мінімізувати їх взаємодію.

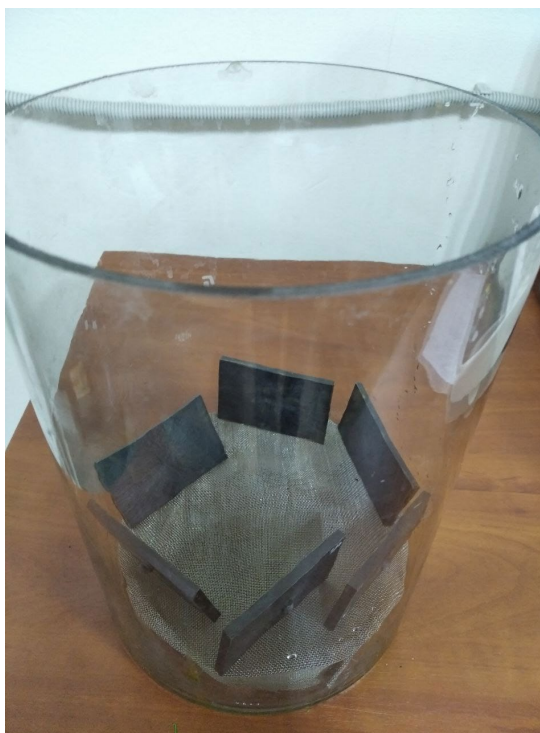


Рисунок 3.7 – Зразки, що занурені у воду для визначення їх вологопоглинання

Зразки після 24 годин перебування у холодній воді (без нагрівання) швидко виймали, обтирали від води та зважували.

Результати визначення маси зразків до та після занурення у воду на 24 години наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати визначення маси зразків з ПКМ до занурення у воду та після перебування у воді протягом 24 год

№ з/п	Назва матеріалу	Маса зразку до занурення у воду, г	Маса зразків після перебування у воді, г		Вологопоглинання, %	
			24 год	48 год	24 год	48 год
1	ВПА-6-20	16,6966	16,8197	16,8679	0,737	1,026
2	ВПА-6-20+0,5	17,3971	17,5175	17,5654	0,692	0,967
3	ВПА-6-20+1	17,0159	17,1381	17,1897	0,718	1,021
4	ВПА-6-20+2	16,8439	16,9646	17,0149	0,717	1,015

Залежність вологопоглинання у % за масою від вмісту мастила в полімерно-композитному матеріалі наведено на рис. 3.8.

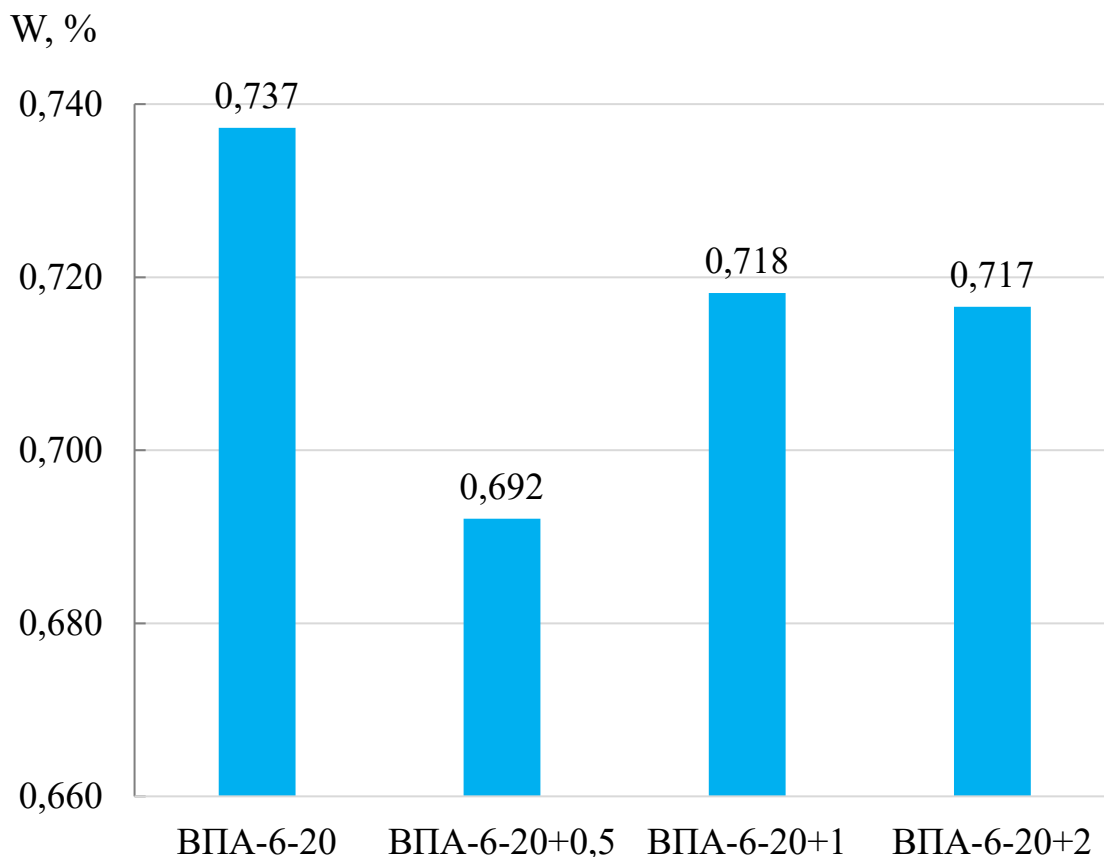


Рисунок 3.8 – Вологопоглинання ПКМ на основі ВПА-6-20

Враховуючи наведені одержані результати, можна зробити висновок, що введення мастила ПМС-400 в структуру ПКМ ВПА-6-20 суттєво не впливає на його вологопоглинання. Найменше значення величини вологопоглинання зафіксовано при додаванні 0,5 мас. % мастила до ПКМ ВПА-6-20 – 0,69 %, для базового матеріалу ця величина становила майже 0,74 %. Різниця одержаних результатів знаходиться в межах похибки, тому можна вважати, що цей компонент не впливає на властивість ПКМ щодо накопичення вологи із зовнішнього середовища. При цьому, слід зазначити, що введення мастила ПМС-400 в структуру ПКМ дозволяє суттєво підвищити ударну в'язкість при незначному зменшенні межі текучості композитного матеріалу.

3.3 Обґрунтування використання розроблених конструкційних пластиків для рухомих деталей с.-г. техніки

Для забезпечення працездатності матеріалів неметалевого походження використовується фактор p_v . Це комплексний показник, що дозволяє врахувати основні параметри режимів роботи, а саме тиск, що припадає на трибоспряження та лінійну швидкість ковзання деталей рухомого з'єднання. Відповідно результатів до наукових та кваліфікаційних робіт [18, 29, 32, 36-37], встановлено орієнтовні швидкості руху деяких трибоспряжень сільськогосподарських машин: сівалок, культиваторів, зернозбиральних комбайнів, ланцюгово-планчастих транспортерів та ін. Лінійна швидкість руху для ПКМ на основі поліаміду та вуглецевого волокна не суттєво впливає на довговічність деталей з ПКМ. В більшій мірі, суттєвий вплив має саме навантаження. Крім того, необхідно обов'язково враховувати особливість системи допусків та посадок для ПКМ, так як вона відрізняється від типової для сталей. Тому, розглянемо наведені вище параметри та режими роботи деяких трибоспряжень с.-г. техніки.

Лінійні швидкості ковзання та навантаження, що діють на трибоспряження деяких трибоспряжень с.-г. техніки наведено в табл. 3.3.

Величину питомого тиску, що діє на трибоспряження можна розрахувати за формулою:

$$p = \frac{R_{max}}{l \cdot d}, \quad (3.1)$$

де p – тиск, що діє деталь трибоспряження, Н/м²;

R_{max} – величина навантаження яке припадає на елементи рухомого з'єднання, Н

d – робочий діаметр деталі з композитного матеріалу, м;

l – висота (довжина) деталі з ПКМ, м.

З врахуванням розмірів деталей трибоспряжень механізмів копіювання культиваторів та сівалок наведених у табл. 3.2 величина питомого тиску знаходиться в межах 1,5...2,5 МПа.

Лінійні швидкості ковзання та навантаження деяких
трибоспряжень с.-г. машин

Назва с.-г. машини	Навантаження (максимальне), що діє на трибоспряження механізмів копіювання, Н	Максимальна лінійна швидкість ковзання, м/с
Сівалка Turbosem II 19-48	2400	0,104
Сівалка Vesta-8 Profi	1720	0,095
Культиватор КСП-8МП	910	0,087
Культиватор John Deere 2110	700	0,102
Сівалка John Deere 7000 (1890)	2100	0,110

Таким чином з врахуванням діапазону зміни лінійної швидкості рухомих з'єднань з ПКМ, фактор pv для вказаних с.-г. машин буде становити від 0,13 до 0,35 МПа·м/с. Даний показник значно менший, у порівнянні з максимально можливим режимом експлуатації матеріалу ВПА-6-20, який сягає 2,5 МПа·м/с. Тому, можна зробити висновок, що розроблений композитний матеріал забезпечує працездатність для всіх вище вказаних с.-г. машин.

З врахуванням того, що більшість с.-г. машин у різних виробників мають однотипну конструкцію, можна вважати, що розроблений матеріал забезпечить працездатність більшості трибоспряжень механізмів копіювання сівалок та культиваторів.

Для більш широкого впровадження розроблених матеріалів в конструкцію промислового обладнання необхідно виконувати розрахунки та дослідження щодо визначення режимів їх роботи.

Висновки до розділу. Встановлено, що збільшення вмісту ВВ, призводить до зростання межі текучості ПКМ. Слід зауважити, що зростання

концентрації вуглеволокна з 15 до 20 мас. % спричиняє зростання досліджуваного показника з 81,1 МПа до відповідно 82,06 або у відсотковому значенні всього 1,1 %. Підвищення концентрації до 30 мас. % дозволяє одержати матеріал із значно вищою межею текучості – 86,5 МПа, що на 6,6 % більше, у порівнянні із вмістом ВВ 15 %, що вказує на суттєве зростання при значній концентрації наповнювача. Величина ударної в'язкості має певну кореляцію із межею текучості, та у випадку з концентраціями 15 та 20 мас. %, величина ударної в'язкості зростає на 8,3 %. При подальшому збільшенні вмісту ВВ, спостерігається значне зростання вказаного показника. Для матеріалу ВПА-6-30 ударна в'язкість зростає на 13 %, у порівнянні з матеріалом ВПА-6-20.

В роботі встановлено, що незначне внесення мастила у кількості 0,5 мас. % несуттєво пливає на межу текучості ПКМ. Подальше зростання вмісту ПМС-400 до 1 мас. % та 2 мас. % призводить до зменшення межі текучості одержаних матеріалів на 15,3 % та 15,1 % відповідно у порівнянні із матеріалом, що не містить даного компоненту. Ударна в'язкість має протилежну тенденцію - введення 0,5 мас. % мастила призводить до незначного зростання досліджуваного показника, всього на 2,3 % (з 42,15 до 43,14 кДж/м²). Збільшення концентрації даного наповнювача до 1 мас. % та 2 мас. % дозволяє одержати ПКМ, що мають ударну в'язкість вищу, у порівнянні з ненаповненим матеріалом на 9,3 % та 13,7 % відповідно. Введення мастила ПМС-400 в структуру ПКМ ВПА-6-20 суттєво не впливає на його вологопоглинання.

З врахуванням режимів роботи деталей трибоспряжень с.-г машин рекомендується використовувати матеріал ВПА-6-20+0,5. Даний матеріал має оптимальні міцнісні характеристики та невисоку вартість за рахунок незначної концентрації одного з дорогих компонентів, а саме вуглецевого волокна.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Основні положення

Створення безпечних умов проведення експериментальних робіт є основною задачею щодо організації наукових досліджень в цілому. «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» [38].

При виконанні експериментальних досліджень в умовах наукової лабораторії учасники процесів можуть працювати з певним обладнанням, що може бути об'єктом 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» [39]. Крім самих об'єктів в зоні проведення досліджень можуть бути присутні та небезпечні виробничі фактори. «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» [39]. «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» [39].

Використання обладнання для досліджень потребує проведення його технічного обслуговування. Тому, працівники повинні дотримуватися вимог не

тільки безпеки праці при проведенні робіт, а й при виконанні робіт з обслуговування обладнання.

4.2 Вимоги безпеки праці при обслуговуванні обладнання та виконанні досліджень на машині FP-100/1

Основна задача проведення технічного обслуговування – це забезпечення захисту машини FP-100/1 від значного впливу пилу та вологи. Залишки досліджуваного зразку необхідно видалити одразу після проведення досліджень. Необхідно почистити лакову поверхню за допомогою вологою ганчірки. Всі не захищені, хромовані деталі необхідно покрити маслянистою плівкою. На шафі управління необхідно мінімізувати стирання клинового пасу.

З інтервалом 2000 год. роботи необхідно контролювати рівень мастила в механізмі перемикачів та обох черв'ячних передачах пристосування навантаження, а також після 10000 годин роботи замінити мастило. Контроль та заміну масла в приводах (рис. 4.1) виконують у такій послідовності.

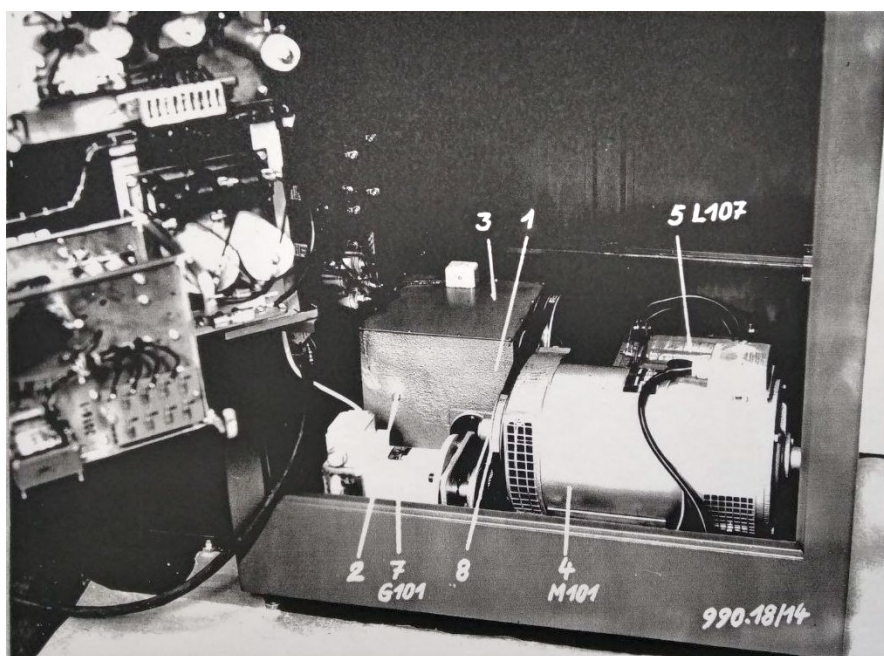


Рисунок 4.1 – Пристрій приводу в шафі керування: 1 – чотири ступеневий механізм перемикачів передач; 2 – пробка контролю рівня оливи; 3 – кришка механізму перемикачів; 4 – двигун постійного струму; 5 – згладжуваний дросель; 6 – вентилятор; 7 – тахогенератор; 8 – клиновий пас

Для контролю рівня мастила необхідно відкрити задній клапан шафи управління та викрутити пробку рівня оливи (рис. 4.1, поз. 2) на задній стороні механізму перемикачів. Якщо олива не витікає із різьбового отвору, то необхідно її долити до рівня, коли вона почне вільно витікати з контрольного отвору. Для заміни оливи необхідно демонтувати механізм перемикачів передачі. Для цього потрібно зняти клинові паси, роз'єднати з'єднання до подвійного шарніру (рис. 4.1, поз. 1) та викрутити важіль рубильника. Після цього можна витягнути передачу та випустити оливу за рахунок відкриття кришки. Передача встановлюється знову та заливається новою оливою до рівня контрольного отвору.

Вимоги безпеки при виконанні робіт на машині FP-100/1.

Основна конструкція машини поставляється для лабораторії без захисного пристосування, так як більшість досліджень не вимагає такого захисту.

Захисний пристрій (рис. 2.5, поз. 2) для машини FP-100/1 рекомендовано використовувати при виконанні таких досліджень:

- дослідження стандартних гумових кілець;
- дослідженні крихких матеріалів, які можуть розлітатися при зломі, наприклад: скло, кераміка, бетон, крихкі матеріали зі сталі чи сплавів.

Для таких досліджень необхідно застосовувати пристосування для захисту робочої зони (рис. 4.2), яке поставляється в якості додаткового обладнання до машини.

Захисний щиток фіксується на машині FP-100/1 за допомогою направляючих на її стійках. Щиток має можливість встановлюватися в декілька положень: в робочу зону при дослідженні на стиск та на розтяг. Даний захисний елемент здатен захистити працівника від уламків матеріалів, що розлітаються при руйнуванні досліджуваних матеріалів.



Рисунок 4.2 – Захисне пристосування до машини FP-100/1

Це пристосування необхідно вмонтувати на машину до механізму навантаження так, щоб при проведенні досліджень воно закривало зону стискання досліджуваного зразку.

Необхідно у відповідності до інструкції з безпеки забезпечувати, щоб при проведенні робіт, ніхто не перебував позаду машини. Обов'язково необхідно закрити всі двері та люки перед включенням головного рубильника, для виключення можливого контакту працівників із струмопровідними елементами.

Після заміни затискних пристосувань необхідно контролювати верхнє та нижнє кінцеві положення при повільній швидкості руху траверси.

Перед початком роботи необхідно перевірити відсутність пошкоджень електропроводки машини та дротів її заземлення.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний аналіз впровадження композитних матеріалів в конструкцію механізмів та машин необхідно оцінювати за сукупним економічним ефектом від їх застосування. Зазвичай, для цього проводять порівняння техніко-експлуатаційних показників роботи машини зі стандартним виконанням та модернізованої. Необхідно враховувати, що модернізація с.-г. машин призводить не тільки до підвищення їх технічного рівня, довговічності, а може дозволити підвищити якість виконання технологічної операції. Наприклад, модернізація рухомих з'єднань механізму копіювання поверхні ґрунту культиватора призводить до підвищення рівномірності обробітку ґрунту по глибині. Це позитивно впливає проведення наступної операції сівби, в результаті чого підвищується врожайність культур. Модернізація рухомих з'єднань механізмів копіювання посівних машин дозволяє забезпечувати високу якість сівби, що також позитивно впливає на врожайність с.-г. культур.

В даній роботі виконано обґрунтування складу ПКМ для трибоспрямих с.-г. машин з врахування необхідних фізико-механічних характеристик. Оптимальним ПКМ обрано ВПА-6-20+0,5ПМС, що містить 20 мас. % вуглецевого волокна та 0,5 мас. % мастила ПМС-400. Зменшення кількості ВВ у складі композитного матеріалу дозволяє зменшити його вартість

Вихідні дані визначення економічної ефективності наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані щодо визначення економічної ефективності роботи

Показник	Значення
Продуктивність екструдера, кг/год	8
Затрати електроенергії, кВт/год	30
Ціна електроенергії, грн/кВт/год	7
Кількість працівників, чол.	4
Тариф оплати праці, грн/год	210
Ціна поліаміду-6, грн/кг	220
Ціна вуглецевого волокна, грн/кг	2600

Розрахунки щодо визначення вартості одержання матеріалів виконаємо на основі типових методик [40, 41].

В табл. 5.1 вказані ціни на основні компоненти ПКМ станом на кінець 2024 року. Слід зауважити, що при розрахунках вартості одержання матеріалу не враховано вартість підготовчих робіт. До підготовчих робіт входить виконання таких видів, як виконання налаштування екструдера для роботи з даними вихідними компонентами, сушіння компонентів ПКМ, підготовка навісок кожного з компонентів.

Розрахунки щодо вартості електричної енергії визначаємо шляхом множення ціни електроенергії грн/кВт·год на обсяг електроенергії який витрачається на одержання одного кг ПКМ. Оплату праці, також визначаємо з врахування затрат часу люд.-год. на одержання одного кілограма ПКМ та тарифної годинної ставки персоналу, що обслуговує екструдер.

Вартість вихідних компонентів, що входять до ПКМ визначаємо за формулою:

$$V_{ПКМ} = \sum_{i=1}^n V_n = V_1 + V_2 + \dots + V_n, \text{ грн/кг} \quad (5.1)$$

де $V_{ПКМ}$ – вартість ПКМ, грн/кг;

V_1, V_2, V_n – вартість кожного з компонентів, що входять до складу композитного матеріалу, грн/кг;

Вартість компонентів в ПКМ визначаємо за виразом:

$$V_n = C_n \cdot Q_n, \text{ грн/кг} \quad (5.1)$$

Де C_n – ціна 1 кг певного компоненту, що входить до складу ПКМ, грн/кг;

Q_n – маса компоненту у розрахунку на 1 кг готового ПКМ, кг.

З врахуванням ціни матеріалів (табл. 5.1) та їх вмісту компонентів, що входять до ПКМ отримаємо таку вартість матеріалів для одержання ПКМ:

$$V_{ВПА-6-30} = 220 \cdot 0,7 + 2600 \cdot 0,3 = 934,0 \text{ грн/кг}$$

$$V_{ВПА-6-20+0,5} = 220 \cdot 0,795 + 2600 \cdot 0,2 + 0,005 \cdot 329 = 696,5 \text{ грн/кг}$$

Крім вказаних вище затрат необхідно враховувати відрахування на реновацію та амортизацію обладнання, яке використовується при виготовленні

ПКМ. Серед такого обладнання основним є екструдер. Вартість лінії для що складається з екструдера та подрібнювача становить 836000 грн. Відрахування на реновацію та амортизацію приймаємо – 15 %. Тривалість мінімального часу використання екструдера протягом року становить 192 зміни. Мінімальна продуктивність 6 кг/год.

З врахуванням вище наведених даних відрахування на реновацію та амортизацію складуть:

$$V_{\text{ренов+аморт}} = 836000 \cdot 0,15 / (192 \cdot 6) = 108,85 \text{ грн/год}$$

З врахуванням продуктивності при виготовленні даних ПКМ – 8 кг/год, маємо:

$$V_{\text{ренов+аморт(ПКМ)}} = 108,85 / 8 = 13,61 \text{ грн/кг}$$

Вартість одержання ПКМ з врахуванням вмісту компонентів та затрат на їх одержання наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок орієнтовної вартості одержання ПКМ на екструдері
(без ПДВ)

Показник	Базовий ПКМ ВПА-6-30	Проектний ПКМ ВПА-6- 20+0,5ПМС
Вартість електроенергії для одержання ПКМ, грн/кг	26,25	26,25
Оплата праці, грн/кг	105,00	105,00
Вартість вихідних компонентів, грн/кг	934,00	696,50
Відрахування на реновацію та амортизацію обладнання, грн/кг	13,61	13,61
Загальна вартість ПКМ (без ПДВ), грн/кг	1078,86	841,36
Економічний ефект від використання розробленого ПКМ, грн/кг	-	237,5
Зменшення вартості ПКМ, %	-	22

Висновки до розділу. Розрахунками встановлено, що вартість виготовлення ПКМ ВПА-6-20+0,5ПМС на двокомпонентному екструдері на 237,5 грн/кг менша у порівнянні з іншим матеріалом, що мають близькі між собою характеристики. Затрати на одержання запропонованого оптимального за складом ПКМ на 22% менші у порівнянні з матеріалом ВПА-6-30. Це дозволяє забезпечувати необхідну довговічність деталей трибоспряжень с.-г. техніки з одночасним зниженням вартості матеріалів для їх виготовлення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Сільськогосподарська техніка часто працює в агресивному середовищі, що може містити добрива, пестициди та інші хімічні речовини, які сприяють корозії і швидкому зносу. Встановлено, що поєднання захисних заходів, таких як антикорозійні покриття, змащувальні матеріали, ущільнювачі, зносостійкі матеріали, а також регулярне обслуговування і чистка дозволяє зменшити негативний вплив зовнішнього середовища. Реалізація вище вказаних технічних рішень, для більшості рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки, не застосовується або застосовується досить обмежено. Пов'язано це насамперед із необхідністю забезпечення низької вартості таких трибоспряжень. Проведений аналіз свідчить, що полімерно-композитні матеріали мають великий потенціал для застосування в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки. Їхні антикорозійні властивості, висока міцність, здатність до самозмащування та зниження ваги роблять їх важливими компонентами для підвищення довговічності та зниження експлуатаційних витрат при використанні техніки.

2. Наведено програму виконання досліджень, розглянуту основні методики та обладнання для визначення характеристик та властивостей розроблених композитних матеріалів.

3. Проведені дослідження дозволили виконати обґрунтування оптимального складу ПКМ, що забезпечує необхідні фізико-механічні характеристики для застосування у конструкціях трибоспряжень с.-г. машин. Встановлено, що збільшення вмісту ВВ, призводить до зростання межі текучості ПКМ. Слід зауважити, що зростання концентрації вуглеволокна з 15 до 20 мас. % спричиняє зростання досліджуваного показника всього 1,1 %. Підвищення концентрації до 30 мас. % дозволяє одержати матеріал із значно вищою межею текучості – 86,5 МПа, що на 6,6 % більше, у порівнянні із вмістом ВВ 15 %. Величина ударної в'язкості має певну кореляцію із межею текучості, та у випадку з концентраціями 15 та 20 мас. %, величина ударної

в'язкості зростає на 8,3 %. При подальшому збільшенні вмісту ВВ, спостерігається значне зростання вказаного показника. Для матеріалу ВПА-6-30 ударна в'язкість зростає на 13 %, у порівнянні з матеріалом ВПА-6-20.

В роботі встановлено, що незначне внесення мастила у кількості 0,5 мас. % несуттєво впливає на межу текучості ПКМ. Подальше зростання вмісту ПМС-400 до 1 мас. % та 2 мас. % призводить до зменшення межі текучості одержаних матеріалів на 15,3 % та 15,1 % відповідно у порівнянні із матеріалом, що не містить даного компоненту. Ударна в'язкість має протилежну тенденцію – введення 0,5 мас. % мастила призводить до незначного зростання досліджуваного показника, всього на 2,3 %. Збільшення концентрації даного наповнювача до 1 мас. % та 2 мас. % дозволяє одержати ПКМ, що мають ударну в'язкість вищу, у порівнянні з ненаповненим матеріалом на 9,3 % та 13,7 % відповідно. Введення мастила ПМС-400 в структуру ПКМ ВПА-6-20 суттєво не впливає на його вологопоглинання. З врахуванням режимів роботи деталей трибоспряджень с.-г машин рекомендується використовувати матеріал ВПА-6-20+0,5. Даний матеріал має оптимальні міцнісні характеристики та відносно невисоку вартість.

4. Розглянуто основні вимоги безпеки щодо виконання робіт на обладнанні для дослідження міцнісних характеристик матеріалів та порядок проведення обслуговування цього обладнання.

5. Розрахунками встановлено, що вартість виготовлення ПКМ ВПА-6-20+0,5ПМС на двокомпонентному екструдері на 237,5 грн/кг менша у порівнянні з іншим матеріалом, що мають близькі між собою характеристики. Затрати на одержання запропонованого оптимального за складом ПКМ на 22% менші, у порівнянні з матеріалом ВПА-6-30. Це дозволяє забезпечувати необхідну довговічність деталей трибоспряджень с.-г. техніки з одночасним зниженням вартості матеріалів для їх виготовлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Остапович, В. В., & Роп'як, Л. Я. (2011). Електрохімічні дослідження захисної дії та роботоздатності гальванічних покриттів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, (2), 71-75.
2. Майзеліс, А. О., & Артеменко, В. М. (2018). Умови формування цинк-нікелевого сплаву з аміакатно-гліцинатного електроліту низької концентрації. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*, (39), 19-22
3. Найдіч, Ю. В., Габ, І. І., Стецюк, Т. В., & Костюк, Б. Д. (2018). Кінетика диспергування хромових наноплівочок, нанесених на оксидні матеріали, під час відпалу їх у вакуумі. *Адгезія розплавів і пайка матеріалів*, (51), 54-61.
4. Шидловський, М. С., Заховайко, О. П., Тимошенко, О. В., & Мусієнко, О. С. (2018). Нові матеріали. Частина I: Міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні.
5. Лобачова, Г. Г., & Іващенко, Є. В. (2019). Структура та властивості Cr-, Zr-, Ti-електроіскрових покриттів на залізі. *Металознавство та обробка металів*, (1), 26-28.
6. Костюк, Г. І., Сисоєв, Ю. О., & Мелкозьорова, О. М. (2017). Наукові основи створення високоентропійних нітридних, карбідних, боридних та оксидних нанопокриттів на твердому сплаві T12A.
7. Хижняк В.Г., Курило Н.А. Будова та механічні властивості карбідних та нітридних покриттів титану, ванадію та хрому на сталі У8А. *Металознавство та обробка металів*. – 2007, - №3 – с. 17 – 21.
8. Ранський, А. П., Гордієнко, О. А., Худоярова, О. С., Крикливий, Р. Д., & Іванівська, В. М. (2018). *Композиційні матеріали та консистентні мастила з підвищеними трибологічними властивостями*. Матеріали VI-ої міжнародної конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 13 - 15 вересня 2018 року: збірник наукових праць. Частина 1. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 101 с.

9. Якобчук О.Є. Підвищення зносостійкості пар тертя локальних контактів в нестационарних умовах роботи вибором мастильних матеріалів з заданими триботехнічними властивостями. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» (13 – Механічна інженерія). – Національний авіаційний університет, Київ, 2024. - 248 с.

10. Романенко, В. В., Пасько, С. В., Остимчук, В. П., Бурко, С. І., Погореляк, О. А., & Чудновський, С. М. (2013). Досвід по забезпеченню високої якості та категорії чистоти поверхні збірних залізобетонних конструкцій. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, (26), 408-412.

11. Шевченко, С. М., Терлецький, О. С., Горова, О. П., Соболев, О. В., Протасенко, Т. О., Реброва, О. М., ... & Реброва, Е. М. (2020). Комп'ютерне моделювання перерозподілу азоту в технологіях комплексного іонного азотування легованих сталей.

12. Шевченко, О. М., Максимова, Г. О., Даниленко, М. І., Ковиляєв, В. В., & Фірстов, С. О. (2015). Карбідні перетворення в процесі отримання хромової карбідосталі евтектичного типу. *Доповіді Національної академії наук України*, (6), 83-91.

13. Іваненко І.М. Конструкційні матеріали у виробництвах неорганічних речовин [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 242 с.

14. Рево С. Л., Авраменко Т. Г., Мельниченко М. М., Іваненко К. О. Фізико-механічні характеристики наноконструкційних матеріалів на основі фторопласту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка Серія фізико-математичні науки*. 2021, 3. С. 107-110.

15. Лузан С. О. Захисні покриття деталей машин на основі композиційних матеріалів, отриманих з використанням самопоширюваного

високотемпературного синтезу [Електронний ресурс] / С. О. Лузан, П. А. Ситников // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали 20-ї Міжнар. наук.-техн. конф., [01-03 вересня 2022 р.], Краматорськ – Тернопіль / [заг. ред. В. Д. Ковальова] ; Донбас. держ. машинобуд. акад. ; Тернопіль. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. – Електрон. текст. дані. – Краматорськ : ДДМА, 2022. – С. 137.

16. Перспективні матеріали та процеси в прикладній електрохімії - 2018: монографія / В. З. Барсуков, Ю. В. Борисенко, В. Г. Хоменко, О. В. Лінючева; за заг. ред. В. З. Барсукова. – Київ: КНУТД, 2018. – 290 с.

17. Деркач О.Д. Кабат О.С., Макаренко Д.О. Розробка трибосистеми типу «полімерний композит-сталь» у системах копіювання поверхні ґрунту. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: XI Міжнар. наук.-практ. конф. 1-3 листопада 2017 р. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 147-149.

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

19. Деркач О.Д. До питання впливу вологи на деякі характеристики вуглепластиків / О.Д. Деркач, Д.О. Макаренко // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: X Міжнар. наук.-практ. конф., 5-6 листопада 2015 р. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 63-64.

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

21. Сторожик, Д. М., Коваленко, І. В., & Власенко, Н. Є. (2023, January). Композиційні наноматеріали: добування, властивості, використання в матеріалознавстві. In *The 11 th International scientific and practical conference*

“Modern research in world science”(January 29-31, 2023) SPC “Sci-conf. com. ua”, Lviv, Ukraine. 2023. 1579 p. (p. 288).

22. Коваленко, І. В. Конструювання з композиційних матеріалів [Електронний ресурс] : навчальний посібник / І. В. Коваленко ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 5,44 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2012.

23. Горобець, П. І., Казуров, В. М., Хоменко, А. В., & Шевченко, О. А. (2001). Дослідження характеристик міцності та жорсткості вуглепластиків з різними схемами армування. *Proceedings of National Aviation University*, 10(3), 50–54. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.10.12105>

24. Гальчук, Т. Н., & Божко, Т. Є. (2017). Аналіз факторів, що впливають на зношування композиційних матеріалів. *Наукові нотатки*, (58), 64-68.

25. Яблонь, Л. С., Будзуляк, І. М., Карпець, М. В., Стрельчук, В. В., Будзуляк, С. І., Яремій, І. П., ... & Морушко, О. В. (2016). Структура та фізичні властивості композитів, сформованих на основі сульфиду молібдену. *Журнал нано- та електронної фізики (Journal of nano- and electronic physics)*. Том 8 № 2, 02029(7cc) (2016).

26. Новак, Д. С., Будащ, Ю. О., Шостак, Т. С., Пахаренко, В. О., Богатирьова, Г. П., Олійник, Н. О., & Базалій, Г. А. (2012). Структурні дослідження поліетиленових композицій, наповнених обмідненим графітом та вуглецевими нанотрубками. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения*, (15), 388-393.

27. Borshchov, V. ., Listratenko, O. ., Protsenko, M. ., Tymchuk, I. ., Kravchenko, O. ., Syddia, O. ., Slipchenko, M. ., & Chichkov, V. . (2022). High-thermally conductive composite polyimide materials. *Radiotekhnika*, 3(210), 150–159. <https://doi.org/10.30837/rt.2022.3.210.12>

28. Буря О. І., Єр'оміна К. А., Лисенко О.Б., Кончиць А.А., Морозов О.Ф. Полімерні композити на основі термопластичних в'язучих: монографія. – Дніпро: Середняк Т.К., 2019. – 239 с.

29. 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.

30. Кобець А.С., Деркач О.Д., Чигвінцева О.П., Кабат О.С., Рула І.В., Дудін В.Ю., Макаренко Д.О., Бойко Ю.В. Застосування полімерних композитів в АПК. Монографія. Дніпро: Журфонд, 2022. 356 с.

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

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

33. ДСТУ EN ISO 604:2019 Пластмаси. Визначення властивостей під час стискання. Наказ від 21.08.2019 № 269 Про прийняття та скасування національних стандартів.

34. ISO 179:1993. Пластмаси. Визначення ударної міцності за Шарпі.

35. EN ISO 62:2008. Plastics – Determination of water absorption.

36. Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Муранов Є.С., Лободенко А.В. Підвищення довговічності рухомих з'єднань посівних машин впровадженням прогресивних конструкційних матеріалів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного [Електронний ресурс]. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2.

37. Derkach O.D., Makarenko D.O., Litvintseva Yu.O., Derkach V.D. Upgrading of machines for surface tillage (for cultivators). Геотехнічна механіка. Міжвідомчий збірник наукових праць. Випуск №138.

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

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

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

41. Кобець А.С. Дипломне проектування з машиновикористання у рослинництві / А.С Кобець, В.Ю. Ільченко, В.Г., П.М. та ін. – ДДАУ, Дніпропетровськ, 2007. – 288 с.

42. 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

Додаток А – Демонстраційний матеріал до дипломної роботи

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ КОНСТРУКЦІЙНИХ
ПЛАСТИКІВ ДЛЯ РУХОМИХ ДЕТАЛЕЙ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**
Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІз-1-23

Макарчук Костянтин Миколайович

Керівник: к.т.н., доцент

Макаренко Дмитро Олександрович

ДНІПРО 2024

Метою дипломної роботи є обґрунтування складу конструкційних пластиків для рухомих деталей сільськогосподарської техніки з врахування режимів їх експлуатації.

Завдання роботи:

- Проаналізувати умови експлуатації рухомих з'єднань с.-г. машин та шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на них. Розглянути переваги застосування полімерно-композитних матеріалів у вказаних трибоспряженнях.
- Навести програму виконання досліджень, методики та обладнання.
- Виконати дослідження характеристик полімерно-композитних матеріалів, проаналізувати одержані результати та надати рекомендації щодо використання обраних матеріалів.
- Розглянути основні вимоги безпеки щодо виконання робіт на обладнанні для дослідження міцнісних характеристик матеріалів та порядок проведення обслуговування цього обладнання.
- Провести оцінку економічної ефективності дипломної роботи.

Шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на робочі поверхні деталей сільськогосподарських машин



а



б

Рис. 1 – Деталі із нанесеними захисними покриттями: а – на основі хрому; б – на основі цинку



Рис. 2 – плуг із гідроциліндрами, штоки яких мають нанесення покриття на основі хрому



Рис. 3 – Деталі із поліуретановим покриттям робочих поверхонь

**Шляхи зниження негативного впливу зовнішнього середовища на робочі поверхні
деталей сільськогосподарських машин**

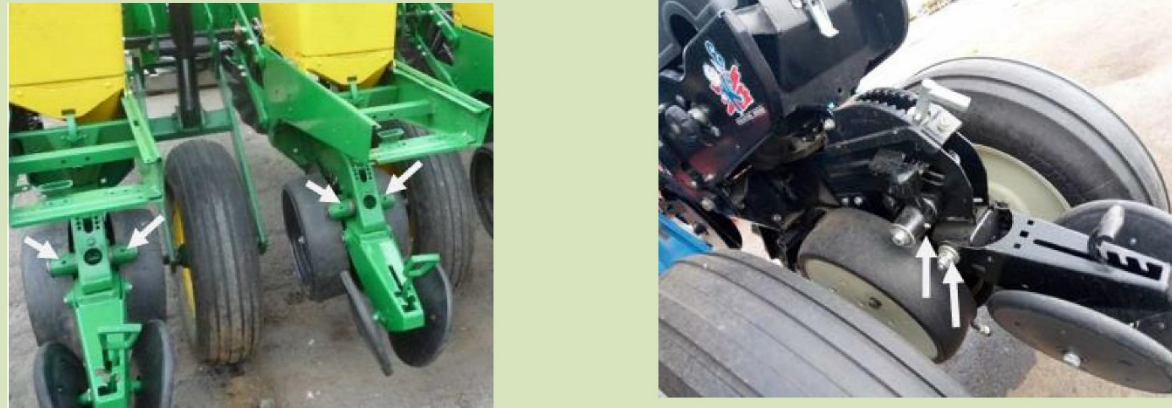


Рис. 4 – Секції сівалки та точки мащення їх рухомих з'єднань



Рис. 5 – Захисні елементи рухомих з'єднань для захисту їх від впливу
зовнішнього середовища

Обладнання для проведення досліджень

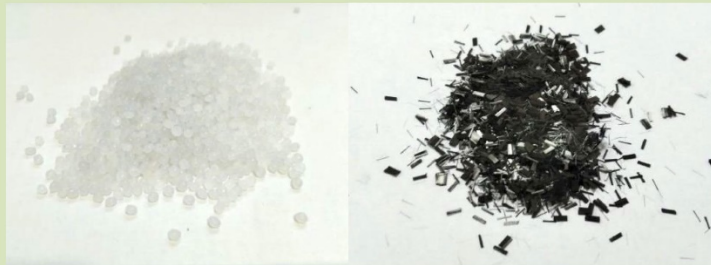


Рис. 6 – Вихідні компоненти ПКМ



Рис. 7 – Екструдер із системою для подачі вуглецевого волокна із високою точністю дозування



Рис. 8 – Машина для лиття пластиків під тиском

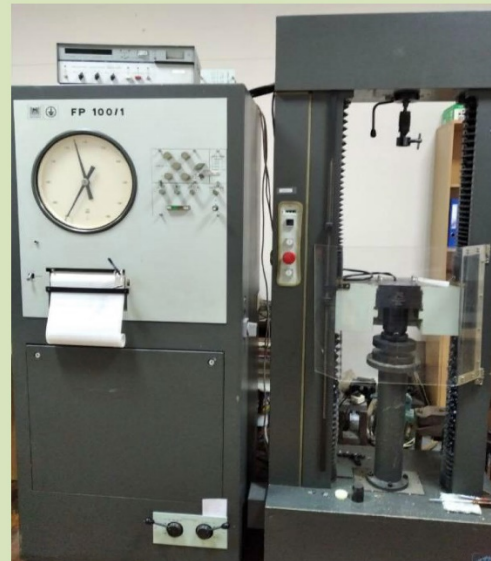


Рис. 9 – Машина FP-100

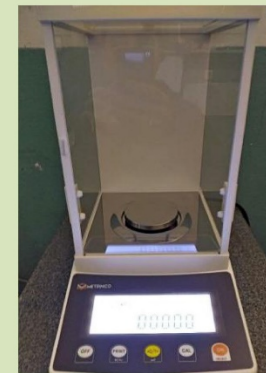


Рис. 10 – Аналітичні терези METRINCO AB224

Продовження додатку А

Табл. 1 – Назви (шифри) одержаних матеріалів та вміст компонентів у них

№ з/п	Назва матеріалу	Вміст компонентів, мас. %		
		Поліамід-6	ВВ	Мастило ПМС-400
1	ВПА-6-15	85	15	-
2	ВПА-6-20	80	20	-
3	ВПА-6-30	70	30	-
4	ВПА-6-20+0,5	79,5	20	0,5
5	ВПА-6-20+1	79	20	1
6	ВПА-6-20+2	78	20	2



Рис. 11 – Зразки для дослідження фізико-механічних характеристик

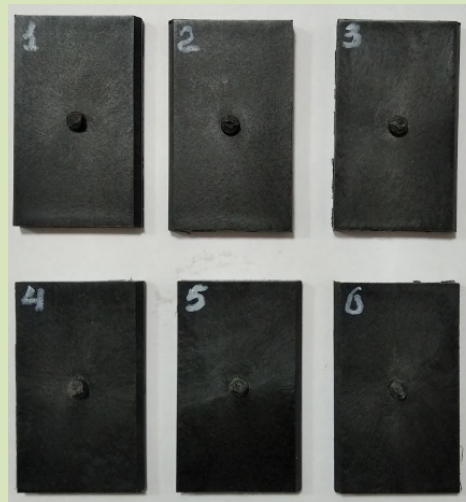


Рис. 12 – зразки для визначення вологопоглинання ПКМ

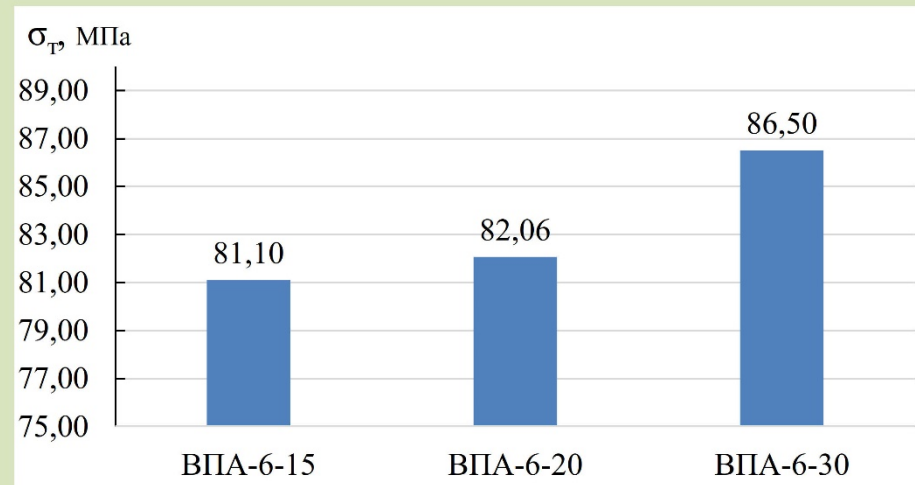
Результати досліджень фізико-механічних характеристик

Рис. 13 – Вплив концентрації ВВ мас. % на межу текучості ПКМ

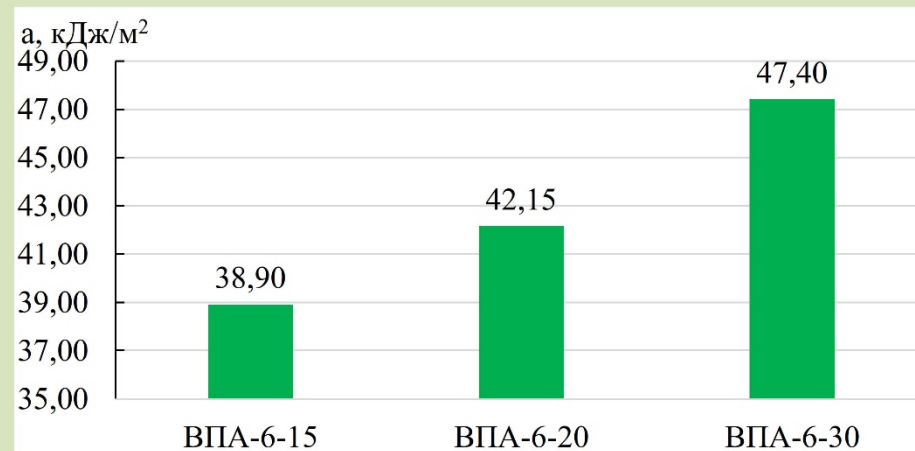


Рис. 14 – Вплив концентрації ВВ мас. % на ударну в'язкість ПКМ

Продовження додатку А

Результати досліджень фізико-механічних характеристик

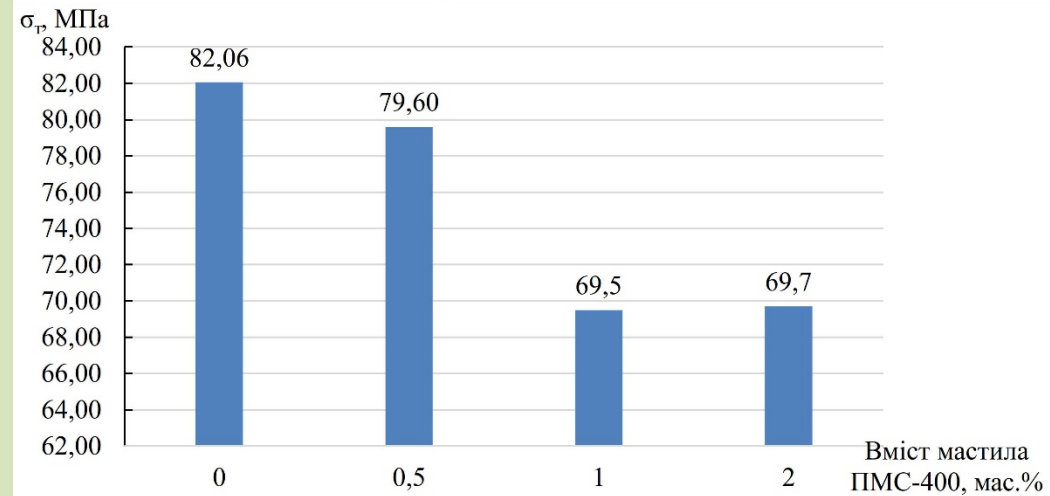


Рис. 15 – Вплив концентрації силіконового мастила на межу текучості ПКМ ВПА-6-20

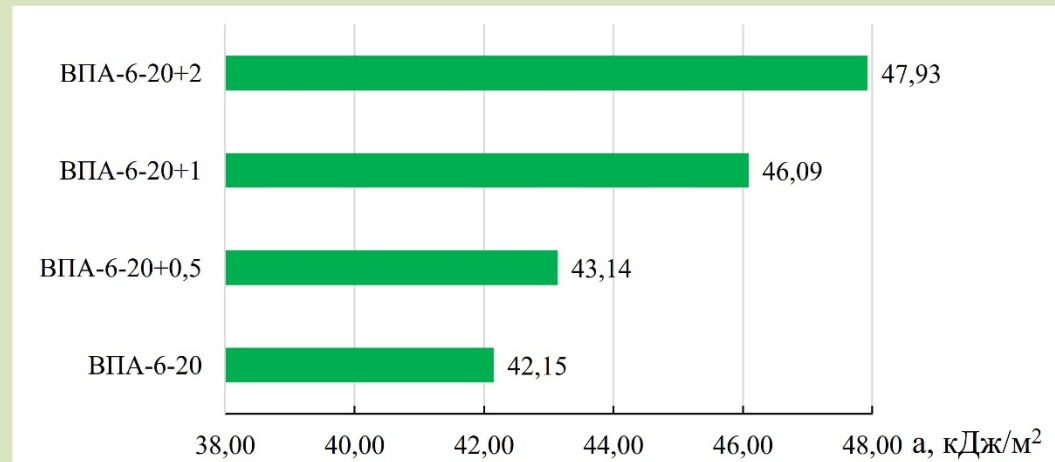


Рис. 16 – Вплив концентрації мастила ПМС-400 на ударну в'язкість ПКМ ВПА-6-20

Продовження додатку А

Табл. 2 – Результати визначення вологопоглинання розроблених ПКМ

№ з/п	Назва матеріалу	Маса зразку до занурення у воду, г	Маса зразків після перебування у воді, г		Вологопоглинання, %	
			24 год	48 год	24 год	48 год
1	ВПА-6-20	16,6966	16,8197	16,8679	0,737	1,026
2	ВПА-6-20+0,5	17,3971	17,5175	17,5654	0,692	0,967
3	ВПА-6-20+1	17,0159	17,1381	17,1897	0,718	1,021
4	ВПА-6-20+2	16,8439	16,9646	17,0149	0,717	1,015

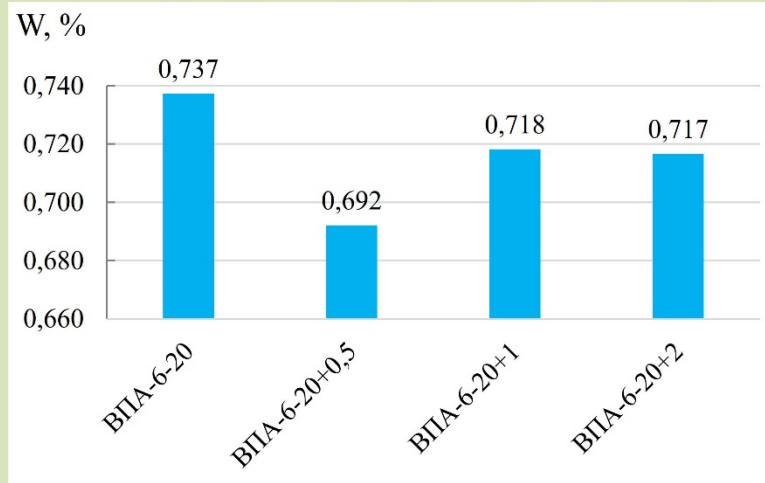


Рис. 17 – Вологопоглинання розроблених ПКМ

Продовження додатку А

Техніко-економічні показники роботи

Показник	Базовий ПКМ ВПА-6-30	Проектний ПКМ ВПА-6- 20+0,5ПМС
Вартість електроенергії для одержання ПКМ, грн/кг	26,25	26,25
Оплата праці, грн/кг	105,00	105,00
Вартість вихідних компонентів, грн/кг	934,00	696,50
Відрахування на реновацію та амортизацію обладнання, грн/кг	13,61	13,61
Загальна вартість ПКМ (без ПДВ), грн/кг	1078,86	841,36
Економічний ефект від використання розробленого ПКМ, грн/кг	-	237,5
Зменшення вартості ПКМ, %	-	22

Висновки

1. Сільськогосподарська техніка часто працює в агресивному середовищі, що може містити добрива, пестициди та інші хімічні речовини, які сприяють корозії і швидкому зносу. Встановлено, що поєднання захисних заходів, таких як антикорозійні покриття, змащувальні матеріали, ущільнювачі, зносостійкі матеріали, а також регулярне обслуговування і чистка дозволяє зменшити негативний вплив зовнішнього середовища. Реалізація вище вказаних технічних рішень, для більшості рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки, не застосовується або застосовується досить обмежено. Пов'язано це насамперед із необхідністю забезпечення низької вартості таких трибоспряджень. Проведений аналіз свідчить, що полімерно-композитні матеріали мають великий потенціал для застосування в рухомих з'єднаннях сільськогосподарської техніки. Їхні антикорозійні властивості, висока міцність, здатність до самозмащування та зниження ваги роблять їх важливими компонентами для підвищення довговічності та зниження експлуатаційних витрат при використанні техніки.

2. Наведено програму виконання досліджень, розглянуто основні методики та обладнання для визначення характеристик та властивостей розроблених композитних матеріалів.

3. Проведені дослідження дозволили виконати обґрунтування оптимального складу ПКМ, що забезпечує необхідні фізико-механічні характеристики для застосування у конструкціях трибоспряджень с.-г. машин. Встановлено, що збільшення вмісту ВВ, призводить до зростання межі текучості ПКМ. Слід зауважити, що зростання концентрації вуглеволокна з 15 до 20 мас. % спричиняє зростання досліджуваного показника всього 1,1 %. Підвищення концентрації до 30 мас. % дозволяє одержати матеріал із значно вищою межею текучості – 86,5 МПа, що на 6,6 % більше, у порівнянні із вмістом ВВ 15 %. Величина ударної в'язкості має певну кореляцію із межею текучості, та у випадку з концентраціями 15 та 20 мас. %, величина ударної в'язкості зростає на 8,3 %. При подальшому збільшенні вмісту ВВ, спостерігається значне зростання вказаного показника. Для матеріалу ВПА-6-30 ударна в'язкість зростає на 13 %, у порівнянні з матеріалом ВПА-6-20.

В роботі встановлено, що незначне внесення мастила у кількості 0,5 мас. % несуттєво впливає на межу текучості ПКМ. Подальше зростання вмісту ПМС-400 до 1 мас. % та 2 мас. % призводить до зменшення межі текучості одержаних матеріалів на 15,3 % та 15,1 % відповідно у порівнянні із матеріалом, що не містить даного компоненту. Ударна в'язкість має протилежну тенденцію – введення 0,5 мас. % мастила призводить до незначного зростання досліджуваного показника, всього на 2,3 %. Збільшення концентрації даного наповнювача до 1 мас. % та 2 мас. % дозволяє одержати ПКМ, що мають ударну в'язкість вищу, у порівнянні з ненаповненим матеріалом на 9,3 % та 13,7 % відповідно. Введення мастила ПМС-400 в структуру ПКМ ВПА-6-20 суттєво не впливає на його вологопоглинання. З врахуванням режимів роботи деталей трибоспряджень с.-г. машин рекомендується використовувати матеріал ВПА-6-20+0,5. Даний матеріал має оптимальні міцнісні характеристики та відносно невисоку вартість.

4. Розглянуто основні вимоги безпеки щодо виконання робіт на обладнанні для дослідження міцнісних характеристик матеріалів та порядок проведення обслуговування цього обладнання.

5. Розрахунками встановлено, що вартість виготовлення ПКМ ВПА-6-20+0,5ПМС на двокомпонентному екструдері на 237,5 грн/кг менша у порівнянні з іншим матеріалом, що мають близькі між собою характеристики. Затрати на одержання запропонованого оптимального за складом ПКМ на 22% менші, у порівнянні з матеріалом ВПА-6-30. Це дозволяє забезпечувати необхідну довговічність деталей трибоспряджень с.-г. техніки з одночасним зниженням вартості матеріалів для їх виготовлення.