

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 620.17

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.260-267](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.260-267)

О. Д. Деркач, доц., канд. техн. наук, Д. О. Макаренко, доцент, канд. техн. наук,
Є. С. Муранов, В. В. Сукачов, О. Ю. Береза, проф., д-р фіз.-мат. наук
*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна,
e-mail: flymakd@gmail.com*

Обґрунтування складу полімерно-композитного матеріалу конструкційного призначення для трибоспрямижень сільськогосподарської техніки

Наведено результати лабораторних досліджень щодо впливу вмісту вуглецевого волокна, в матриці поліаміду 6, на фізико-механічні характеристики полімерно-композитного матеріалу. Встановлено, що оптимальне значення вказаного наповнювача становить 20 мас. %, що забезпечує помірні характеристики полімерно-композитного матеріалу у поєднанні з незначною вартістю. Визначено вплив введення мастила ПМС-400 до композитного матеріалу на його межу текучості, ударну в'язкість та вологопоглинання.

полімерно-композитний матеріал, вуглецеві волокна, міцнісні характеристики, ударна в'язкість, зносостійкість.

Постановка проблеми. Сучасне машинобудування активно використовує не лише традиційні пластмаси й полімери, а й полімерно-композитні матеріали (ПКМ). Вони знаходять застосування у вузлах тертя, забезпечуючи їх захист від впливу агресивного середовища, а також можуть виступати як конструктивні елементи механізмів і машин. Завдяки унікальному поєднанню властивостей, ПКМ відкривають нові можливості для аграрного машинобудування. Висока міцність, стійкість до зношування і можливість досить простої технології зміни фізико-механічних характеристик, роблять ці матеріали ефективними для використання в умовах, характерних для сільськогосподарської техніки. Основною їх перевагою є збільшення експлуатаційного ресурсу техніки забезпечуючи при цьому суттєве зменшення маси, вищу корозійну стійкість та стійкість до дії агресивного середовища (добрива, ЗЗР, кислоти та ін.).

ПКМ мають прості та відносно недорогі, у порівнянні з сплавами, технології адаптації (модифікації), що дозволяє розробляти конструкційні матеріали із заданими характеристиками, адаптованими під конкретні умови експлуатації. Уведення різних наповнювачів (наприклад, скловолокна, вуглецевих, керамічних або базальтових волокон) у полімерну основу, дозволяє одержувати необхідний рівень міцнісних характеристик, зносостійкості та інших параметрів та властивостей. Це має особливе значення для вузлів тертя в сільськогосподарській техніці, де ПКМ забезпечують захист, зменшуючи вплив абразивного середовища та уповільнюючи зношування деталей.

Дослідження властивостей ПКМ дає змогу ефективно використовувати їх у вузлах тертя з урахуванням швидкодію-силового навантаження кожного конкретного механізму. Це підвищує надійність роботи всієї техніки загалом. Проте у вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванні застосування ПКМ поки що обмежене через їхню високу вартість та відсутність власних розробок. Це зумовлено не лише дорогою сировиною, а й значними витратами на виробництво та обробку таких матеріалів. У той

час, як закордонні компанії, активно використовують ПКМ для підвищення надійності й довговічності своїх машин, вітчизняні виробники стикаються з необхідністю зниження витрат або залучення державної підтримки для здешевлення технологій.

Рухомі з'єднання деталей сільськогосподарської техніки, зокрема ґрунтообробних і посівних машин, зазнають значних ударних навантажень через взаємодію їх робочих органів із ґрунтом. Ці навантаження передаються на з'єднання, які повинні витримувати їх без руйнування. Тому однією з ключових характеристик ПКМ є ударна в'язкість. Вказана характеристика може суттєво змінюватися навіть за незначних змін у структурі ПКМ чи незначних відхиленнях від параметрів технологічного процесу одержання наповнених композитів.

Для досягнення оптимального балансу, між вартістю та надійністю, слід коригувати склад ПКМ відповідно до конкретних умов експлуатації сільськогосподарської техніки. Також, важливо забезпечити надійний захист деталей з ПКМ від негативного впливу зовнішнього середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одними перспективних напрямків щодо зменшення тертя в трибоспряженнях та підвищення рівня надійності техніки є застосування ПКМ [1-3]. Характеристики та властивості ПКМ залежать від складу матриці, типу наповнювачів та технології їх одержання. Дослідження ПКМ проводяться, як експериментальними, так і чисельними методами. Чисельні методи, такі як моделювання методом скінченних елементів, дозволяють прогнозувати поведінку матеріалів під навантаженням та оптимізувати їх склад. Так, у дослідженні [4] розглянуто можливості щодо підвищення триботехнічних характеристик ПКМ, для вузлів тертя сільськогосподарської техніки, шляхом комп'ютерного моделювання структури та напружень майбутнього матеріалу. Проте, важливим аспектом розробки та підвищення характеристик ПКМ є технологія та вартість його одержання. В роботах [5-6] запропоновано введення в структуру епоксидної смоли таких наповнювачів як карбід бору, оксиди алюмінію, хрому та порошок та тальку. Одержані результати підтверджують суттєве збільшення границі міцності одержаних композитів. Проте, автори звернули уваги на проблему якісного розподілення наповнювачів в матриці, так як їх концентрація становила від 0,5 до 1,5 % мас. Отримані результати свідчать, що границя міцності отриманих ПКМ досить висока, та сягає 80 МПа, в той час, як ударна в'язкість не перевищує 6,5 кДж/м². Тому такі матеріали матимуть досить обмежену сферу застосування, як конструкційні, у машинобудуванні. Серед матеріалів, що мають вищі фізико-механічні характеристики, широкого розповсюдження отримали ПКМ, на основі політетрафторетилену та наповнювачів на кшталт вуглецевих волокон, графіту та дисперсними металами [7, 8]. Проте, запропоновані технології мають високу вартість та помірний рівень характеристик отриманих матеріалів. Одними із перспективних щодо модифікації та застосування в машинобудуванні є матеріали на основі поліаміду 6 [9-11]. Проте, запропоновані у вказаних дослідженнях, технології осадження або використання значної дорожчих наповнювачів – вуглецевих нанотрубок та оксидів металів, призводить до суттєвого зростання собівартості ПКМ.

Постановка завдання. Використання того чи іншого наповнювача для майбутнього ПКМ вимагає визначення його оптимального вмісту в загальній структурі. Його кількість впливає не лише на характеристики матеріалу, а й на вартість сировини та готових виробів, що є ключовим фактором при виборі матеріалу для трибоспряжень у сільськогосподарській техніці.

Значна кількість наукових досліджень зосереджена на покращенні експлуатаційних характеристик та властивостей матеріалів, тоді як економічний аспект часто відходить на другий план. У результаті цього виникають ситуації, коли матеріали

з високими міцнісними характеристиками не знаходять широкого застосування через їхню високу собівартість.

Використання в ПКМ наповнювачів вимагає визначення оптимального їх вмісту та розподілу. Кількість наповнювача впливає не лише на експлуатаційні характеристики матеріалу, а й на собівартість сировини та кінцевих виробів, що є ключовим фактором при виборі матеріалу для трибоспрямижень у сільськогосподарській техніці. Саме тому, завданням роботи є обґрунтування оптимального складу ПКМ для застосування в трибоспрямиженнях сільськогосподарської техніки.

Методики досліджень. Дослідження *границі текучості* виконували на випробувальній машині FP-100/1, згідно ДСТУ EN ISO 604:2019. Експериментальні зразки для дослідження ПКМ на стискання були таких розмірів: діаметр циліндра 10 мм, висота циліндрів – 15 мм.

Ударну в'язкість досліджували відповідно до вимог ISO 179:1993 (без надрізу) за допомогою маятникового копру КМ-0,4.

Дослідження зносостійкості матеріалів в абразивному середовищі проводили шляхом вимірювання зносу всіх зразків за однакових режимів роботи. Для цього використовували машину СМЦ-2, оснащену спеціальним обладнанням, що забезпечує безперервну подачу стандартизованих абразивних частинок до зони тертя.

Зразки для дослідження матеріалів на відносну абразивну стійкість мали такі розміри: довжина зразка – 53 мм, ширина зразка становила 29 мм, товщина – 6...7 мм. Густина досліджуваних матеріалів визначали гідростатичним методом із використанням аналітичних терезів ВЛР-200. Масу нитки, що використовували для підвішування зразків до важеля не враховували при розрахунках.

Режими випробування:

- частота обертання ролика – 60 хв^{-1} ;
- тривалість дослідження – 5 хв (300 об. ролика);
- сила притискання ролика до зразку – 44 Н;

Відносну абразивну стійкість матеріалів визначали шляхом зважування зразків до та після примусового абразивного зношування.

Вологопоглинання ПКМ визначали відповідно до EN ISO 62:2008.

Виклад основного матеріалу. Для досліджуваних матеріалів виконано їх шифрування, що засновані концентрації у мас. % ВВ та силіконового мастила ПМС-400 у матриці полімеру. Першочерговим завданням є визначення оптимального вмісту ВВ в матриці поліаміду 6. Для цього в роботі запропоновано три варіації концентрації вказаного наповнювача – 15, 20 та 30 мас. %, відповідно із вмістом поліаміду 6 – 85, 80 та 70 мас. %. Умовні назви одержаних ПКМ без додавання в їх структуру мастила наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Шифри та вміст компонентів в одержаних матеріалах

№ з/п	Шифр матеріалу (вміст ВВ)	Співвідношення складових ПКМ, мас. %	
		Поліамід-6	Вуглецеве волокно
1	ВПА-6-15 (15 % ВВ)	85,0	15,0
2	ВПА-6-20 (20 % ВВ)	80,0	20,0
3	ВПА-6-30 (30 % ВВ)	70,0	30,0

Джерело: розроблено авторами

При проведенні досліджень на стискування розроблених матеріалів зафіксовано суттєву величину деформації та зміщення їх шарів у вертикальному напрямку, без утворення тріщин чи сколів досліджуваних зразків. Така поведінка матеріалу

підтверджує, що для досліджуваних ПКМ необхідно визначати його межу текучості. Випробування для кожного матеріалу виконували із семикратною повторюваністю.

Результати дослідження впливу вмісту ВВ мас. % у ПКМ на основі поліаміду на межу текучості та ударну в'язкість представлено на рис. 1. Дослідженнями встановлено (рис. 1), що зростання концентрації ВВ в ПКМ, призводить до зростання його межі текучості. Варто зазначити, що незначне підвищення концентрації ВВ з 15 мас. % до 20 мас. % майже не впливає на величину межі текучості. Водночас, підвищення концентрації ВВ вдвічі з 15 мас. % до 30 мас. % забезпечує збільшення межі текучості з 81,1 МПа до 86,5 МПа відповідно. Такий ефект пояснюється тим, що вуглеволокно має високі показники міцності та, рівномірно розподіляючись у матриці, виконує армуючу функцію в композиті.

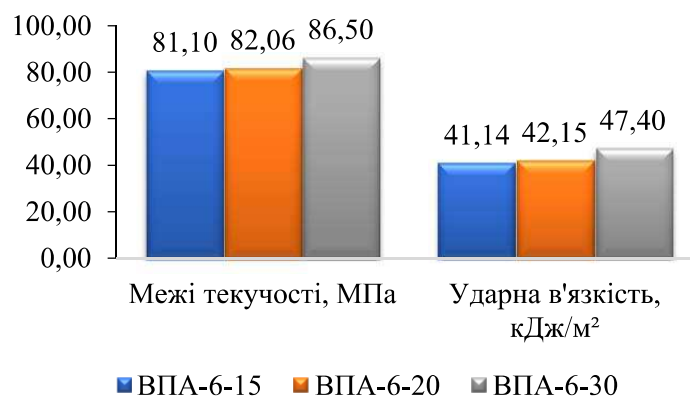


Рисунок 1 – Вплив вмісту вуглецевого волокна мас. % на межу текучості та ударну в'язкість ПКМ на основі поліаміду 6

Джерело: розроблено авторами

На основі отриманих результатів досліджень встановлено (рис. 1), що зростання концентрації ВВ у матриці поліаміду спричиняє підвищення ударної в'язкості ПКМ. При збільшенні концентрації з 15 мас. % до 20 мас. %, ударна в'язкість зростає всього на 2,4 % (із 41,1 кДж/м² до 42,1 кДж/м²). Подальше зростання вмісту ВВ в ПКМ до з 20 мас. % до 30 мас. % сприяє підвищенню ударної в'язкості до 47,4 кДж/м².

Водночас варто зазначити, що високі показники міцності матеріалів не завжди потрібні для забезпечення працездатності рухомих з'єднань сільськогосподарських машин. Крім того, підвищення концентрації ВВ призводить до значного зростання собівартості ПКМ через високу вартість вуглеволокна.

Результати визначення густини розроблених ПКМ представлено на рис. 2. Дослідженнями встановлено (табл. 2), що густина одержаних ПКМ корелюється із концентрацією ВВ у матриці полімерного матеріалу.

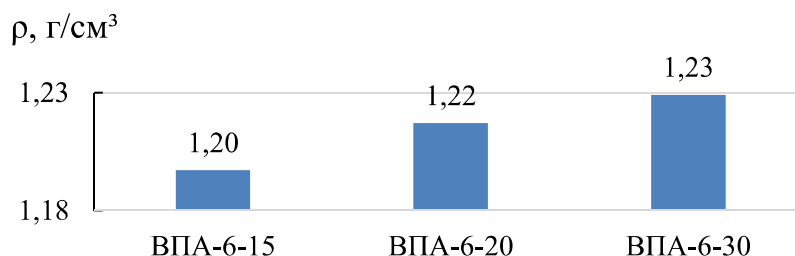


Рисунок 2 – Вплив концентрації ВВ на густину ПКМ

Джерело: розроблено авторами

Результати визначення величини зносу та відносної абразивної стійкості досліджуваних ПКМ наведено у табл. 2. В якості еталонного зразку у дослідженнях

обрано ПКМ, що містить 15 мас. % ВВ – ВПА-6-15. Результати залежності абразивної стійкості від складу ПКМ наведено в табл. 2.

Дослідженнями встановлено (табл. 2), що найбільшу відносну абразивну стійкість має матеріал, який обрано в якості еталонного – ВПА-6-15. Значення досліджуваного показника у ПКМ ВПА-6-20 виявилось дещо нижчим і становить 0,76.

Таблиця 2 – Результати дослідження ПКМ на відносну абразивну стійкість

№ з/п	Шифр матеріалу	$\Delta m_{\text{сер}}$	ρ , г/см ³	Відносна абразивна стійкість
1	ВПА-6-15	0,087	1,20	1
2				
3				
4	ВПА-6-20	0,116	1,22	0,76
5				
6				
7	ВПА-6-30	0,239	1,23	0,37
8				
9				

* $\Delta m_{\text{сер}}$ – маса зразку відповідно до дослідження, після дослідження, знос та середнє значення зносу на основі трьох досліджень.

Джерело: розроблено авторами

Встановлено, що величина відносної зносостійкості для матеріалу ПКМ УПА-6-30 – найменша серед досліджуваних матеріалів, тому його не рекомендується використовувати для робочих органів ґрунтообробних машин і трибоспрямижень, що працюють в умовах наявності в робочій зоні абразивних частинок.

Науковими дослідженнями [12, 13] встановлено, в конструкціях рухомих з'єднань сільськогосподарської техніки питомий тиск зазвичай не перевищує 2...3 МПа. Саме тому, в якості ПКМ для трибоспрямижень сільськогосподарської техніки рекомендується використовувати поліамід 6, наповнений 20 мас. % ВВ.

Окрім забезпечення міцності деталей сільськогосподарських машин, важливим завданням є захист ПКМ від негативного впливу факторів робочого середовища, зокрема абразивних частинок (пилу) та вологи з повітря. Для захисту трибоспрямижень від абразивного зносу застосовують різні конструкції пильників або спеціальні мастильні матеріали. Розроблений ПКМ може функціонувати за наявності абразивних частинок у робочій зоні, однак питання його захисту від впливу вологи залишається актуальним.

В роботі виконані дослідження характеристик ПКМ ВПА-6-20 при введенні в його структуру силіконового мастила марки ПМС-400. Вплив введення мастила ПМС-400 в структуру композитного матеріалу ВПА-6-20 на його ударну в'язкість та межу наведено на рис. 3.

Отримані результати свідчать, що введення ПМС-400, до ПКМ ВПА-6-20 призводить до зниження його межі текучості. При цьому, незначна кількість мастила (0,5 мас. %) практично не впливає на цей показник. Однак подальше підвищення вмісту мастила до 1 мас. % і 2 мас. % призводить до більш суттєвого зниження межі текучості з 82,1 МПа для ненаповненого ПКМ до 79,5 МПа та 79,7 МПа відповідно.

Обраний діапазон 1...2% зумовлений тим, що ПКМ не здатен утримувати значну кількість мастила, яке в процесі переробки методом лиття під тиском виштовхується з матеріалу. Незначна кількість мастила не впливає на межу текучості ПКМ.

Отримані результати (рис. 3) дають підстави зробити обґрунтований висновок, що додавання силіконового мастила до ПКМ призводить до підвищення його ударної в'язкості, порівняно з ненаповненим матеріалом. Зокрема, введення 0,5 мас. % мастила незначно збільшує цей показник – лише на 2,3 %. Подальше підвищення вмісту мастила до 1 мас. % та 2 мас. % забезпечує зростання ударної в'язкості з 42,5 кДж/м² (ненаповнений матеріал) до 46,1 кДж/м² та 47,9 кДж/м² відповідно. Це підвищення пояснюється зниженням концентрації напружень завдяки рівномірному розподілу мастила в структурі ПКМ.

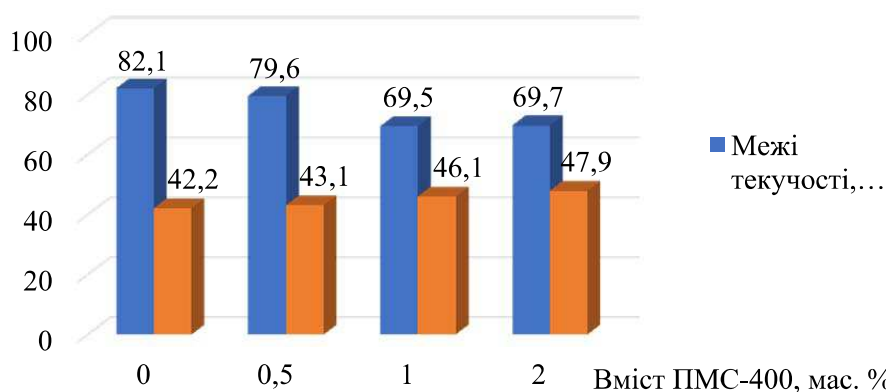


Рисунок 3 – Залежність концентрації ПМС-400 (у мас. %) на межу текучості та ударну в'язкість ПКМ ВПА-6-20

Джерело: розроблено авторами

На основі отриманих даних доцільним для використання є матеріал ВПА-6-20+0,5, який складається із 79,5 мас. % поліаміду 6 наповненого 20 мас. % ВВ та 0,5 мас. % силіконового мастила ПМС-400. Цей матеріал демонструє значну межу текучості 79,6 МПа та забезпечує високі показники ударної в'язкості – більше 43 кДж/м².

Окрім міцнісних характеристик, важливим параметром є рівень вологопоглинання ПКМ на основі поліаміду 6, оскільки цей матеріал характеризується гігроскопічністю. Вплив концентрації обраного мастила на вологопоглинання ПКМ представлено на рис. 4.

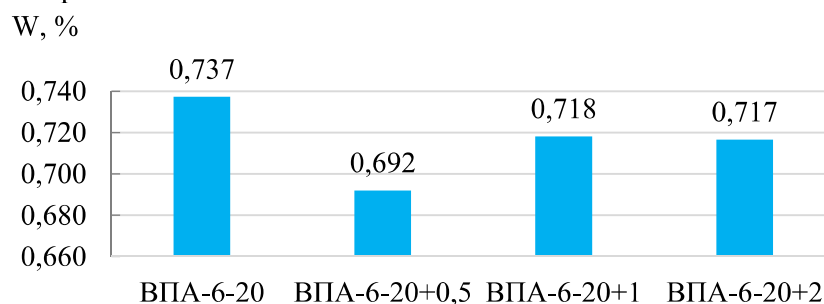


Рисунок 4 – Вплив вмісту мастила ПМС-400 на вологопоглинання ПКМ

Джерело: розроблено авторами

Аналіз отриманих результатів свідчить (рис.4), що додавання мастила ПМС-400 до ПКМ ВПА-6-20 не має значного впливу на його вологопоглинання. Встановлено, що мінімальне значення цього показника досягається при введенні 0,5 мас. %. Оскільки

різниця перебуває в межах похибки, можна стверджувати, що вказаний наповнювач, не впливає на здатність ПКМ накопичувати вологу із зовнішнього середовища. Водночас введення мастила ПМС-400 до складу ПКМ сприяє значному підвищенню ударної в'язкості при незначному зниженні межі текучості композитного матеріалу.

Висновки. На основі виконаних досліджень можна зробити такі висновки.

1. Збільшення концентрації вуглецевого волокна вдвічі з 15 мас. % до 30 мас. % суттєво не впливає на межу текучості (зростає всього на 6,6 %) полімерно-композитного матеріалу на основі поліаміду 6, при цьому величина ж ударної в'язкості збільшується на 15 %.

2. Визначено, що найбільшу зносостійкість серед досліджуваних матеріалів має поліамід 6 наповнений 15 мас. % вуглецевим волокном.

3. Встановлено, що внесення силіконового мастила до полімерно-композитного матеріалу сприяє значному збільшенню його ударної в'язкості, при несуттєвому зменшенні межі текучості, в порівнянні із ненаповненим ПКМ. Вплив вказаного наповнювача на вологопоглинання ПКМ несуттєвий.

Список літератури

1. Fengxia, D., Guoliang H., Fengxiang C. and oth. The lubricity and reinforcement of carbon fibers in polyimide at high temperatures. *Tribology International*. 2016. Vol 101. P. 291-300.
2. Застосування полімерних композитів в АПК: монографія / А. С. Кобець та ін. Дніпро: Журфонд, 2022. 356 с.
3. Kabat O. S., Sytar V. I., Sukhyu K. M. Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & chemical technology*. 2018. Vol. 12, № 3. P. 326-330. <https://doi.org/10.23939/chcht12.03.326>.
4. Аулін В. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В., Лівіцький О. М., Бабій А. В. Закономірності впливу високомодульних наповнювачів на розподіл полів напружень в поверхневих шарах деталей машин, виготовлених з полімерних композитних матеріалів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36) І. С. 55-70.
5. Голотенко С. М. Вплив комплексної дії різнодисперсних наповнювачів та зовнішніх силових полів на експлуатаційні характеристики епоксикомпозитів. *Вісник ТДТУ*. 2005. № 2, т. 10. С. 35-39.
6. Підковинська У. В., Савченко В. О. Вплив наповнювачів на структуру та властивості полімерної матриці. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2024. № 1. С. 24-30. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2024-1-4>.
7. Кабат О.С., Душейко М.В. Полімерні композиційні матеріали спеціального призначення на основі фторопласту. *Технологічні системи*. 2017. №81/4. С. 63-67. [dx.doi.org/10.29010/081.8](https://doi.org/10.29010/081.8).
8. Wang A. H., Xia J., Yang Z. X., Xiong D.H. A novel assembly of MoS₂-PTFE solid lubricants into wear-resistant micro-hole array template and corresponding tribological performance. *Optics & Laser Technology*. 2019. Vol. 116. P.171-179. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.03.033>.
9. Братичак М. М., Красінський В. В., Чопик Н. В., Земке В. М. Термомеханічні властивості композицій на основі поліаміду-6, одержаних з розчину. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2022. № 1, т. 5. С. 193-198. <https://doi.org/10.23939/ctas2022.01.193>.
10. Полімерні композити нановуглець – метал: структура і електричні властивості: наук. монографія / Лазаренко О. А., Вовченко Л. Л., Овсієнко І. В., Мацуй Л. Ю. Вінниця : ТВОРИ, 2018. 200 с.
11. Fakoori E, Karami H. Preparation and characterization of ZnO-PP nanocomposite fibers and non-woven fabrics. *The Journal of The Textile Institute*. 2018; Vol. 109, № 9. P. 1152-1158. <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1417681>.
12. Науменко М. М., Макаренко Д. О., Гурідова В. О., Крутоус Д. І. Математична модель взаємодії сошника посівного комплексу з ґрунтом за ускладнених умов його експлуатації. *Математичне моделювання*. 2021. № 1 (44). С. 55-61. [https://doi.org/10.31319/2519-8106.1\(44\)2021.235926](https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(44)2021.235926).
13. Розробка композитних елементів необслуговуваних рухомих з'єднань машин і механізмів: монографія / Д. О. Макаренко та ін. Дніпро: Журфонд, 2022. 148 с.

References

1. Fengxia, D., Guoliang H., Fengxiang C. et al. (2016). The lubricity and reinforcement of carbon fibers in polyimide at high temperatures. *Tribology International*, 101, 291-300.
2. Kobets, A.S., Derkach, O.D., Chyhvintseva, O.P. et al. (2022). *Application of polymer composites in the agricultural industry*. Dnipro: Zhurfond [in Ukrainian]

3. Kabat, O., Sytar, V., Sukhyi, K. (2018). Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & chemical technology*, Vol. 12, 3, 326-330. <https://doi.org/10.23939/cheht12.03.326>
4. Aulin, V.V., Hryniv, A.V., Lysenko, S.V., Livitskyi, O.M. & Babii A.V. (2022). Regularities of the influence of high-modulus fillers on the distribution of stress fields in the surface layers of machine parts made of polymer composite materials. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 5(36) I, 55-70 [in Ukrainian].
5. Holotenko, S.M. (2005). The influence of the complex action of heterogeneously dispersed fillers and external force fields on the performance characteristics of epoxy composites. *Visnyk TDTU*, 10 (2), 35-39 [in Ukrainian].
6. Pidkovynska, U.V., Savchenko, V.O. (2024). The influence of fillers on the structure and properties of the polymer matrix. *Novi materialy i tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni*, 1, 24-30. DOI 10.15588/1607-6885-2024-1-4 [in Ukrainian].
7. Kabat, O. S., Dusheyko, M.V. (2017). Polymer composite materials of special purpose based on fluoroplastics. *Tekhnolohichni systemy*, 4(81), 63-67. <https://doi.org/10.29010/081.8> [in Ukrainian].
8. Wang, A.H., Xia, J., Yang, Z.X., Xiong, D.H. (2019). A novel assembly of MoS₂-PTFE solid lubricants into wear-resistant micro-hole array template and corresponding tribological performance. *Optics & Laser Technology*, 116, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.03.033>
9. Bratychak, M.M., Krasinskyi, V.V., Chopyk, N.V., Zemke, V.M. (2022). Thermomechanical properties of polyamide-6-based compositions obtained from solution. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 5 (1), 193-198. <https://doi.org/10.23939/ctas2022.01.193> [in Ukrainian].
10. Lazarenko, O.A., Vovchenko, L.L., Ovsienko, I.V. & Matsui, L.Iu. (2018). *Nanocarbon-metal polymer composites: structure and electrical properties*. Vinnytsia: TOV «Tvory» [in Ukrainian].
11. Fakoori, E, Karami, H. (2018). Preparation and characterization of ZnO-PP nanocomposite fibers and non-woven fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 109 (9), 1152-1158.
12. Naumenko, M.M., Makarenko, D.O., Huridova, V.O., Krutous, D.I. (2021). Mathematical model of the interaction of the seeding complex coulter with the soil under difficult operating conditions. *Matematychni modeliuvannia*, 1 (44), 55-61. [https://doi.org/10.31319/2519-8106.1\(44\)2021.235926](https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(44)2021.235926) [in Ukrainian].
13. Makarenko, D.O., Derkach, O.D., Hryniv, A.V. et al. (2022). *Development of composite elements for maintenance-free moving joints of machines and mechanisms*. Dnipro: Zhurfond [in Ukrainian].

Oleksii Derkach, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Makarenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.,

Yevhen Muranov, **Valerii Sukachov**, **Olena Bereza**, Prof, Doc. Phys.-Mat.Sc.

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Justification of the Composition of a Polymer Composite Material for Structural Purposes for Tribocouplings of Agricultural Machinery

The purpose of the work is to substantiate the optimal composition of polymer-composite materials for use in tribocouplers of agricultural machinery.

The study was conducted on the influence of fillers on the physical and mechanical characteristics of a polymer composite material based on polyamide 6. It was found that an increase in the carbon fiber content in the PCM leads to an increase in the yield strength of the resulting composite. At the same time, an increase in the carbon fiber concentration from 15 wt. % to 20 wt. % causes a slight increase in the studied indicator. An increase in the carbon fiber concentration to 30 wt. % allows obtaining a material with a significantly higher yield strength - 86.5 MPa. An increase in the content of BBs in the matrix of the polymer material also leads to an increase in the impact strength. In the case of an increase in the concentration from 15 wt. % to 20 wt. %, the impact strength increases by 8.3%. For the VPA-6-30 material, with a BB content of 30 wt. %, the impact strength increases by 13%, compared to the VPA-6-20 material. It was established that the material VPA-6-15 has the highest relative abrasive wear resistance. Slightly lower values of the indicated studied indicator were recorded in the PCM VPA-6-20 – 0.759. The introduction of silicone lubricant into the PCM contributes to an increase in impact strength, compared to the original material, with a slight decrease in its yield strength.

Increasing the concentration of carbon fiber by half from 15 wt. % to 30 wt. % does not significantly affect the yield strength (it increases by only 6.6 %) of the polymer composite material based on polyamide 6, while the impact strength increases by 15 %. It was determined that the highest wear resistance, among the studied materials, is polyamide 6 filled with 15 wt. % carbon fiber. It has been established that the addition of silicone lubricant to a polymer composite material contributes to a significant increase in its impact strength, with a slight decrease in the yield strength, compared to the original material. The effect of this filler on the moisture absorption of the PCM is insignificant.

polymer composite material, carbon fibers, strength characteristics, impact strength, wear resistance

Одержано (Received) 18.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 10.04.2025

Прийнято до друку (Approved) 22.04.2025