

УДК 678.0675:621.892

## ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНОЇ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ, ВИГОТОВЛЕНИХ З ПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ МОДИФІКУВАННЯМ ФУЛЕРЕНОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

**В. В. АУЛІН**, д.т.н., проф., **А. А. ТИХИЙ**, к.т.н., доц.,  
**С. В. ЛИСЕНКО**, к.т.н., доц.

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

**О. Д. ДЕРКАЧ**, к.т.н., доц., **Д. О. МАКАРЕНКО**, к.т.н., доц.

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

*E-mail: AulinVV@gmail.com*

Довговічність вузлів та механізмів багато в чому визначається явищами тертя та зносу. Використання нових конструкційних матеріалів забезпечує деталі автотранспортної і сільськогосподарської техніки заданими експлуатаційними характеристиками, причому важливе місце серед цих матеріалів займають полімерні наноккомпозити. Перевагою полімерних наноккомпозитів як матеріалів для вузлів тертя є їх підвищені характеристики міцності, пов'язані з особливостями взаємодії полімер-наночастинка. Підвищення міцності полімерних матеріалів зазвичай призводить до зниження коефіцієнта тертя і зносу в трибоспряженнях деталей. Однак ця закономірність не виконується для полімерних композитів, наповнених мікророзмірними наповнювачами (зокрема, волокнами). Це пов'язано з тим, що в процесі зношування мікророзмірні наповнювачі викришуються з полімерної матриці, що призводить до зростання абразивних властивостей поверхні і, як наслідок, зростання коефіцієнта тертя. Цю проблему можна вирішити при використанні полімерних наноккомпозитів, оскільки наночастинки міцніше утримуються в полімерній матриці, і їх відрив не призводить до зміни властивостей мікроповерхні (утворення задирів). Метою даної роботи є порівняльне дослідження трибологічних властивостей полімерних наноккомпозитів на основі поліаміду 6 (ПА-6), модифікованого мікророзмірними наповнювачами (вуглецеві волокна), мікророзмірними наповнювачами, що містять наночастинки (фулеренова сажа), наночастинками-наповнювачами (фулерен C60).

В якості термопластичної матриці обрано ПА-6 як полімер, широко застосовуваний для виготовлення підшипників ковзання. Оптимальним способом отримання наноккомпозитів є полімеризація *in situ*, через те, що інші методи їх створення пов'язані з важко подолати проблемами агрегації частинок наповнювача, що ускладнює їх рівномірний розподіл у полімерній матриці. У той же час, змішування готового полімеру з наповнювачем в екструдері є найбільш поширеним методом приготування полімерних композитів, тому отримані полімерні композиції з використанням обох методів. ПА-6 отримують

аніонною полімеризацією з використанням металевого натрію в якості ініціатора і толуїлендіізоціанату як сокаталізатора. Фулерен С60 хімічно нестійкий у цих умовах, і в результаті при отриманні полімерних композитів методом полімеризації *in situ* отримується хімічно модифікований полімер, в якому хімічно наночастинки пов'язані з полімерною матрицею. Як показали проведені дослідження, введення фулерену С60 у матрицю ПА-6 при синтезі методом полімеризації *in situ* забезпечує зростання модуля Юнга та міцності приблизно на 20% при рівні наповнення 0,01...0,1 ваг.%. Були проведені подібні випробування для нанокомпозитів полімерних, отриманих методом змішування розплаву полімеру з іншими компонентами в екструдері. Отримані дані показали, що метод змішування в розплаві не призводить до істотного зростання характеристик міцності ПА-6 при вмісті фулерену С60 0,01 ваг.%(зростання на 3%); введення і фулерену С60, і фулеренової сажі в кількостях 1 ваг.%(зростання на 3%); введення і фулерену С60, і фулеренової сажі в кількостях 1 ваг.%(зростання на 3%) призводить до падіння механічних властивостей. Різке падіння механічних характеристик ПА-6, наповненого 1 ваг.%(зростання на 3%) фулерену С60, пов'язане з тим, що спостерігається недостатньо рівномірний розподіл фулерену С60 у полімерній матриці. Це викликало необхідність введення сумісника (Ерукамід 0,05 ваг.%(зростання на 3%)), який одночасно діє як пластифікатор і перешкоджає кристалізації ПА-6, що призводить до падіння механічних характеристик. Зниження механічних властивостей нанокомпозитів при великих ступенях наповнення обумовлено нерівномірним розподілом наповнювача полімерної матриці.

В роботі досліджено трибологічні властивості полімерних нанокомпозитів. Для композиту (0,01 ваг.%(зростання на 3%) фулерену С60), отриманого методом полімеризації *in situ*, відбувається суттєве зниження коефіцієнта тертя з  $0,30 \pm 0,02$  до  $0,19 \pm 0,05$ , порівняно з чистим ПА-6, синтезованим за аналогічних умов. Це можна пов'язати із зростанням механічної міцності полімерного нанокомпозиту. Однак для ПА-6, наповненого 10 мас.%(зростання на 3%) вуглецевого волокна, спостерігається суттєве зростання коефіцієнта тертя до  $0,55 \pm 0,05$ . Для пояснення отриманого результату досліджували оптичні фотографії плям зносу.

В результаті виконаних досліджень доведена можливість створення полімерних нанокомпозитів на основі матриць поліаміду 6, модифікованих фуллероїдними матеріалами. Показано, що введення фуллероїдних модифікаторів значно (удвічі) знижує коефіцієнт тертя полімерних композитів порівняно з чистим поліамідом 6. Зниження коефіцієнта тертя полімерних нанокомпозитів зумовлено підвищенням механічної міцності композитів за відсутності виносу агрегатів наночастинок на поверхню, що притирається.

### Список використаних джерел

1. Kobets, A., Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Krutous, D., Muranov, E. (2020). Design of mated parts using polymeric materials with enhanced tribotechnical characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(12 (107)), 49–57.
2. Аулін В.В., Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Гриньків А.В. Вплив

режимів експлуатації на зношування деталей, виготовлених з полімерно-композитного матеріалу. Проблеми трибології. 2018. №4. С.65-69.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
118-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
віцепрезидента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)***

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

***20-21 лютого 2025 року  
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF  
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL  
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE  
STATE BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ***PROCEEDINGS***

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated  
to the 118th anniversary of the birth of  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vice President of the UAAS  
KRAMAROV  
Volodymyr Savovych  
(1906-1987)*

**«KRAMAROV'S READINGS»**

*February 20-21, 2025  
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceeding of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:**

- Ткачук В. А.** – ректор НУБіП України, голова організаційного комітету;  
**Тонха О. Л.** – проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;  
**Ружило З. В.** – декан факультету конструювання та дизайну НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;  
**Мельник В. І.** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України, секретар організаційного комітету;
- Члени організаційного комітету:**  
**Автухов А. К.** – завідувач кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;  
**Адамчук В. В.** – директор «ІМА АПВ НААН», академік НААН;  
**Альмейда А.** – професор Політехнічного університету Браганси (Португальська Республіка);  
**Аулін В. В.** – професор кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;  
**Арак М.** – директор Тартуського технічного коледжу м. Тарту (Естонська Республіка);  
**Банний О. О.** – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;  
**Бєлоєв Х.** – радник ректора Університету «Ангел Кънчев» в м. Русе, академік Болгарської АН (Республіка Болгарія);  
**Борак К. В.** – заступник директора ЖАТФК;  
**Братішко В. В.** – декан МТФ НУБіП України;  
**Будяй О. В.** – директор ТОВ «Манн+Хуммель Фільтрейшн Текнолоджі Україна»;  
**Булгаков В. М.** – завідувач кафедри механіки НУБіП України, академік НААН;  
**Василенко М. О.** – завідувач відділу «ІМА АПВ НААН»;  
**Васильковський О. М.** – завідувач кафедри сільсько-господарського машинобудування ЦНТУ;  
**Войтюк Д. Г.** – професор кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП України, член-кореспондент НААН;  
**Герук С. М.** – завідувач кафедри агроінженерії ЖАТФК;  
**Джеонг Ілля** – Голова представництва в Україні «HYUNDAI XITESOLUTION» (Республіка Корея);  
**Домейка Р.** – декан відділення Агроінженірингу, Університету Вітаутаса Великого (Литовська Республіка);  
**Захарчук О. В.** – завідувач відділу ННЦ «ІАЕ», член-кореспондент НААН;  
**Іванишин В. В.** – ректор ЗВО «Подільський ДУ», академік НААН;  
**Ковалишин С. Й.** – декан факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій ЛНУП;  
**Коренко М.** – професор Інституту проєктування та інженерних технологій Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка);

- Кувачов В. П.** – декан МТФ ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Кульгавий В. Ф.** – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів»;
- Кюрчев С. В.** – ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Литовченко О. В.** – директор ВСП «Ніжинський ФК НУБіП України»;
- Ловейкін В. С.** – завідувач кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України;
- Лопатько К. Г.** – завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України;
- Лукач В. С.** – директор ВП «Ніжинський агротехнічний інститут» НУБіП України;
- Мельник В. І.** – провідний науковий співробітник відділу науково-технічної інформації НДЧ НУБіП України;
- Мельник В. І.** – професор кафедри оптимізації технологічних систем в рослинництві ДБУ;
- Надикто В. Т.** – професор ТДАТУ імені Дмитра Моторного, член-кореспондент НААН;
- Науменко О. А.** – професор кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;
- Новак Я.** – професор Університету природничих наук у Любліні (Республіка Польща);
- Новицький А. В.** – завідувач кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Ольт Ю.** – професор Інженерного інституту Естонського університету наук про життя (Естонська Республіка);
- Паскуці С.** – професор Департаменту агроекологічних і територіальних наук (DISAAT) університету Альдо Моро в м. Барі (Італійська Республіка);
- Пилипака С. Ф.** – завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну НУБіП України;
- Полянський П. М.** – завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ;
- Пона Лукреція** – науковий дослідник Національного інституту досліджень і розробок машин і установок для сільського господарства та харчової промисловості (Румунія);
- Продеус О. В.** – керівник відділу збуту Манн+Хуммель GmbH;
- Роговський І. Л.** – завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України;
- Ромасевич Ю. О.** – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;
- Ревенко Ю. І.** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Русінс А.** – директор Улброкського наукового центру Латвійського університету природничих наук і технологій (Латвійська Республіка);
- Саченко В. І.** – Голова Ради Асоціації «Укрмашибуд»;
- Савченко В. М.** – доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ПНУ;
- Сайчук О. В.** – директор ХДФПК імені В. І. Вернадського;
- Сиволапов О. В.** – директор ТОВ «Індустрія техногруп»;

**Тін Ю Чен** - голова китайського офісу філії університету в Лінї (Китайська Народна Республіка);

**Фіндура П.** – проректор Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка).

**Шарибура А. О.** – завідувач кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. О. Семковича ЛНУП;

**Яковенко І. А.** – завідувач кафедри будівництва НУБіП України.