

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Президент державного некомерційного підприємства “Державний університет “Київський авіаційний інститут”



Ксенія СЕМЕНОВА

05 2026 року

## ВИСНОВОК

Державного некомерційного підприємства “Державний університет “Київський авіаційний інститут” (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Марчука Романа Миколайовича на тему “Підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”

### Витяг

із протоколу № 6 розширеного засідання  
кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ  
від 21 квітня 2026 року

#### **Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів:**

Головуючий на засіданні – завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, гарант освітньо-наукової програми «Прикладна механіка», д.т.н., професор, Мікосянчик О.О.;

Кіндрачук М.В., д.т.н., проф., професор кафедри;

Носко П.Л., д.т.н., проф., професор кафедри;

Балалаєв А.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Богдан С.Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Корнієнко А.О., с.н.с., доцент, доцент кафедри;

Повгородній В.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Шевченко О.А., к.т.н., доцент, доцент кафедри;

Голембієвський Г.Г., старший викладач кафедри;

Семак І.В., старший викладач кафедри.

#### **Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники інших кафедр КАІ:**

Балалаєва К.В., д.т.н., професор, професор кафедри електричної інженерії та енергомашинобудування;

Мнацаканов Р.Г., д.т.н., професор, професор кафедри авіаційного транспорту;  
Сидоренко О.Ю., к.т.н., доцент, заступник декана Аерокосмічного факультету;

Токарук В.В., к.т.н., доцент кафедри авіаційного транспорту;  
Харченко О.В. к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій

Хімко А.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри авіаційного транспорту;

Якобчук О.Є., к.т.н., доцент кафедри авіаційної інженерії.

Серед присутніх 5 докторів технічних наук і 10 кандидатів технічних наук.

### **Порядок денний:**

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ Марчука Романа Миколайовича на тему “Підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія” за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор, Мнацаканов Рудольф Георгійович.

Дисертація виконувалася на кафедрі прикладної механіки та інженерії матеріалів Аерокосмічного факультету КАІ. Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету КАІ (протокол № 7 від 22 листопада 2022 року).

### **Виступили:**

Здобувач Марчук Роман Миколайович представив презентацію за основними положеннями дисертації “Підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія” за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”.

Доповідач обґрунтував актуальність теми дослідження для підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів, визначив мету і основні завдання, обґрунтував методи дослідження, охарактеризував об’єкт та предмет дослідження, представив основні наукові та практичні результати, висновки, що виносяться на захист, надав інформацію про впровадження результатів дослідження в ТОВ «НД Продакшн»(м. Київ), ТОВ «Луцький ремонтний завод «Мотор»»(м. Луцьк) та в навчальний процес КАІ.

Здобувач зазначив, що до основних переваг впровадження антифрикційних полімерних композиційних систем в авіаційних підшипниках ковзання можна віднести здатність до самозмащування, низьку питому вагу та можливість реалізації позитивної структурної адаптації поверхонь під дією навантаження. Для забезпечення високої зносостійкості у високонавантажених режимах роботи найефективнішим є використання високопродуктивних термопластичних матриць

(зокрема систем на основі PEEK та PTFE).

Здобувач обґрунтував вибір схеми випробувань «блок-на-кільці» відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 7148-2:2026. Використання розробленої прецизійної системи температурного моніторингу на основі сенсорів Pt100 та алгоритмів обробки сигналу згідно з ITS-90.

Здобувач представив результати експериментальних досліджень, за якими встановлено найвищу зносостійкість у високонавантажених режимах для композитів на основі Zedex ZX-324 V2T- модифікованого PEEK. Механізм підвищення зносостійкості полягає в реалізації ефекту «активаційного нагріву», за якого енергія фрикційного контакту ініціює орієнтаційну перебудову макромолекул, що веде до зростання мікротвердості поверхневого шару.

Водночас, наявність нанодисперсних модифікаторів та твердих змащувальних компонентів (графіту, PTFE) забезпечує формування стабільної трибоплівки, яка виступає ефективним екраном, що знижує коефіцієнт тертя та дисипує теплову енергію. Це дозволяє підтримувати стабільну несучу здатність поверхні (згідно з кривою Аббота-Файерстоуна) та запобігає термічній деградації полімерної матриці навіть при граничних швидкостях ковзання.

Здобувач зазначив, що для нівелювання обмежень термопластичних матриць, пов'язаних із їхньою схильністю до термічного розм'якшення, було розроблено серію реактопластичних композитів на основі авіаційної епоксидної системи Epikote LR285. Низька в'язкість обраної матриці дозволила реалізувати технологію високонаповненого (до 20.5% мас.) та гомогенного розподілу графіту шляхом дегазації та заливки у термостатовані форми при 35 °C.

Встановлено, що режим пост-затвердіння при 80 °C забезпечує формування стабільної просторової сітки, здатної витримувати експлуатаційні навантаження в умовах авіаційного теплового фону (до 70–75 °C).

Механізм підвищення зносостійкості таких систем полягає у створенні «теплових містків» у жорсткій структурі реактопласта, що забезпечує інтенсивне відведення теплоти від плям фактичного контакту та ефективно запобігає термічній деструкції, характерній для ненаповнених полімерних систем.

Здобувач повідомив про розробку та валідацію оригінальної трибометричної установки. Вона дозволяє моделювати швидкісні режими ковзання до 5.5 м/с та реалізувати навантаження 30Н завдяки градуюванню вузла притискання. Для підвищення достовірності результатів застосовано одночасне випробування двох зразків з усередненням даних. Контроль параметрів здійснюється інтегрованою системою датчиків (Холла та тензометрична балка) з диференційованими режимами чутливості, що забезпечує високу точність вимірювання моменту тертя як для антифрикційних матеріалів, так і для високонавантажених систем та стало фундаментом для синхронізації з температурним моніторингом.

Здобувач акцентував увагу на забезпеченні метрологічної точності температурного моніторингу як визначального чинника аналізу процесів структурної адаптації. Доповідач обґрунтував спосіб інтеграції датчика Pt100 безпосередньо в полімерний блок на відстані до 2 мм від зони контакту для мінімізації теплової інерційності. Для повної відповідності вимогам міжнародної шкали ITS-90 замість спрощених схем було реалізовано алгоритм апроксимації поліномом шостого ступеня, що дозволило нівелювати нелінійність сенсора в діапазоні до 250 °C. Досягнута дискретність вимірювань

у 0,01 °C забезпечила можливість фіксації тонких ефектів тепловиділення при формуванні графітових трибоплівків.

Здобувач представив результати 3D-сканування поверхонь тертя матеріалу Zedex ZX-100K, використовуючи криву Аббота-Файерстоуна для кількісної оцінки несучої здатності контакту. Продемонстровано еволюцію топографії: від вихідного стану з опорною здатністю 47% до формування «робочого плато» при швидкості 2.8 м/с, де шорсткість Ra знизилася до 0.003 мкм, а опорна довжина профілю зросла до 71%.

Здобувач представив результати комплексного статистичного аналізу, що дозволило перейти від емпіричних спостережень до математичного обґрунтування концепції структурної адаптації трибосистем. Встановлено зміну характеру кореляції між температурою та коефіцієнтом зміцнення: від дестабілізуючого впливу у базових полімерів ( $r = -0.65$ ) до високого позитивного зв'язку у сучасних композитів типу Zedex ( $r = 0.77$ ), що підтверджує ефект «активаційного нагріву». За шкалою Чеддока зафіксовано сильний зворотний зв'язок між коефіцієнтом зміцнення  $K_h$  та інтенсивністю зносу  $I_g$  ( $r = -0.89$ ), що доводить: понад 79% варіації зносостійкості визначається здатністю матеріалу до керованої структурної адаптації. Показник мікротвердості доріжки тертя запропоновано як предиктивний індикатор ресурсу авіаційних вузлів тертя.

Після закінчення презентації Марчук Р. М. присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання:

**Запитання до здобувача:**

1. **Кіндрачук М.В.**, д.т.н., проф., професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

**Запитання:** У Вас в темі роботи є слово «підвищення зносостійкості за рахунок поліпшення властивостей». Зазначте які властивості Ви поліпшували.

**Відповідь:** Дякую за запитання. Ми поліпшували властивості матеріалу до опору зношуванню шляхом додавання графітового наповнювача до епоксидних систем, а також введенням політетрафторетилену як антифрикційної добавки. Це, у свою чергу, знизило тепловиділення самих систем. При визначенні мікротвердості доріжки тертя було встановлено, що матеріал зміцнився на певний відсоток залежно від кількості графіту або політетрафторетилену.

**Запитання:** Як ви визначали, що йде процес структурної орієнтації макромолекул полімеру?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Зазвичай термопласти під дією температури проходять процес деструкції та розм'якшуються. У нашому випадку головним індикатором виступала температура, яка стабілізувалася на рівні «плато» під час вимірювань. Це свідчило про певну стабілізацію процесів у матеріалі. Додатково перевірялися зразки на мікротвердість: у зоні тертя, де спостерігалася інтенсивне тепловиділення, фіксувалося зміцнення доріжки порівняно з частиною зразка поза зоною тертя. Саме цей ефект ми розглядали як підтвердження процесу структурної орієнтації макромолекул полімеру.

**Запитання:** Прокоментуйте, будь ласка, дані таблиці 3. Зокрема, коефіцієнт зміцнення: у наведених результатах є як «плюс», так і «мінус». Яка

кореляція цих значень з інтенсивністю зносу? Що означає «мінус» – знеміцнення чи інший процес?

**Відповідь:** Дякую за запитання. «Мінус» означає знеміцнення, тобто матеріал розм'якшився в процесі випробувань. Це було обумовлено сукупністю чинників, які діяли під час тертя. Коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом зміцнення та інтенсивністю зносу становить  $-0,88$ , що свідчить про сильний зворотний кореляційний зв'язок. Він показує, що зниження інтенсивності зносу обумовлено здатністю поверхні до зміцнення. Таким чином, мінусове значення коефіцієнта відображає процес знеміцнення матеріалу, тоді як позитивне значення свідчить про його зміцнення.

**Запитання:** Чому Ви обрали ваговий метод вимірювання зносу, а не лінійний?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Це було обумовлено тим, що зношування матеріалу в наших дослідженнях було мінімальним і його точніше фіксувати за допомогою аналітичних ваг високої чутливості, які дозволяють визначати масу з точністю до чотирьох знаків після коми. Лінійний метод у цьому випадку не забезпечував би належної точності, оскільки оптичними засобами складно зафіксувати настільки незначні втрати матеріалу, що відбуваються на рівні мікроструктурних змін.

2. **Носко П.Л.**, д.т.н., проф., професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

**Запитання:** Які рекомендації Ви можете надати щодо застосування досліджуваних матеріалів? До яких класів підшипників ковзання їх можна віднести? У яких приладах, обладнанні чи авіаційних конструкціях можливе використання цих типів підшипників при навантаженнях, які Ви досліджували? Який клас навантажень був прийнятий у роботі?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Досліджувані матеріали можуть застосовуватися у вузлах тертя, де не відбувається надмірного тепловиділення. У роботі основна увага приділялася вивченню самого явища зношування, а не безпосередньому впровадженню у конкретні типи промислових підшипників. Діапазон контактних навантажень, який був прийнятий у дослідженнях, становив від 1 до 5 МПа. Під час експериментів було зафіксовано навантаження близько 24 Н на зразок, що відповідає приблизно 2,5 кг сили після переведення у паскалі за відповідною формулою.

**Запитання:** Якими датчиками Ви здійснювали вимірювання температури та яка точність їхніх показів?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Для вимірювання температури використовувалися терморезистивні датчики та інфрачервоний пірометр. Згідно зі стандартом, терморезистивні датчики належали до класу «А», що забезпечує високу точність вимірювань. Дискретність становила  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а похибка –  $0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вони мають лінійну залежність перетворення опору в температуру, яка була апроксимована рівнянням шостого порядку для підвищення точності обробки даних.

**Запитання:** Які саме триботехнічні характеристики Ви підвищили у ході досліджень?

**Відповідь:** Дякую за запитання. У роботі було зафіксовано підвищення опору матеріалу протидіяти процесам зношування за кривою Аббота.

**3. Сидоренко О.Ю.,** к.т.н., доц., заступник декана Аерокосмічного факультету КАІ.

**Запитання:** У Вашій роботі серед основних результатів зазначено «систематизовано та класифіковано сучасну номенклатуру полімерних матеріалів за їхньою функціональною роллю». Чи проводили подібну класифікацію інші дослідники до Вас, і чи є ця систематизація результатом саме Ваших досліджень?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Звичайно, класифікації полімерних матеріалів існували й раніше, проте саме з точки зору дослідження орієнтації макромолекул немає робіт. У нашому дослідженні класифікація здійснювалася за тим, які матеріали проявляють властивості до зміцнення та переорієнтації макромолекул у полімері. Таким чином, систематизація та класифікація, наведені у роботі, є результатом виключно власних досліджень.

**Запитання:** Які температурні режими були досягнуті під час випробувань? Якою була температура зразка та контрзразка, і яким чином здійснювалося вимірювання?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Температура вимірювалася за допомогою датчиків, вмонтованих безпосередньо у тіло зразка, як було показано на презентації. Для більшості досліджуваних матеріалів робочі температури становили близько 80–90 °С, а верхня межа не перевищувала 100 °С. Винятком був полієфірефіркетон, який має вищу робочу температуру.

**4. Мельник В.Б.,** к.т.н., доц., доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

**Запитання:** Чи акредитована лабораторія, в якій виконувалися дослідження?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Робота проводилась на експериментальній базі КАІ. Калібрування температурних датчиків здійснювалося за межами КАІ, у калібрувальній лабораторії, акредитованій відповідно до стандарту ISO/IEC 17025. Лабораторія має акредитацію на проведення вимірювань у сфері термометрії. Загалом акредитованих лабораторій у цій сфері небагато, оскільки це вузька спеціалізація, яку зазвичай забезпечують регіональні центри метрології або наукові інститути. Предметна база для досліджень була встановлена безпосередньо в університеті, включаючи датчики та допоміжне обладнання.

**5. Мікосянчик О.О.,** д.т.н., проф., завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ

**Запитання:** У Вашій роботі використовується термін «вторинна кристалізація». Поясніть, будь ласка, що саме означає цей процес у контексті досліджуваних полімерних матеріалів?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Вторинна кристалізація полягає у переорієнтації макромолекул полімеру під дією температури та навантаження. У вихідному стані молекули мають хаотичну структуру, яка визначає їхні властивості при роботі в підшипниках ковзання. Під час розігріву та стабільного притискання зразка до контртіла полімер частково пом'якшується, що сприяє переорієнтації макромолекул у більш впорядковану кристалічну структуру, подібну за функціями до кристалічної ґратки. Це забезпечує підвищену жорсткість і міцність матеріалу. За результатами дослідів було

зафіксовано зміцнення саме в зоні дії температури та тиску, що підтверджує прояв процесу вторинної кристалізації.

**б. Корнієнко А.О.**, к.т.н., с.н.с., доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

**Запитання:** В висновках роботи зазначено, що «розкрита функціональна роль наповнювачів», «деталізовано механізм впливу армуючих волокон», «обґрунтовано» тощо. Чи ці висновки зроблені виключно на основі аналізу літературних даних, чи вони також базуються на Ваших власних експериментальних дослідженнях? Який саме внесок Ваших досліджень у порівнянні з оглядом літератури?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Початковий аналіз матеріалів був виконаний на основі літературних джерел із загальнодоступних баз даних, зокрема Google Scholar та Scopus. Армуючі волокна, наведені у переліку, ми безпосередньо не досліджували, оскільки в умовах підшипників ковзання вони виконують переважно абразивну роль. Їх було наведено як приклад можливого синергетичного ефекту між полімерною матрицею та наповнювачами. Власний експериментальний внесок полягав у виготовленні зразків з комбінованим наповненням графітом. Саме ці дослідження дозволили зробити висновки щодо утворення «теплових містків» у структурі матеріалу, які забезпечують відведення тепла із зони контакту та підвищують стабільність роботи полімерної матриці. Таким чином, узагальнені висновки базуються як на аналізі літературних даних, так і на результатах власних експериментів.

**Запитання:** У роботі наведено великий перелік промислових полімерних матеріалів та систем. Відомо, що їхні характеристики часто є комерційною таємницею і важко доступні для порівняння. Звідки саме Ви отримували дані про фізико-хімічні властивості цих матеріалів?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Частину даних ми отримували безпосередньо від постачальників при замовленні матеріалів, таких як Zedex або Sustamid. Виробники надавали сертифікати якості та паспорти на конкретні зразки, які використовувалися для виготовлення дослідних зразків. Це дозволяло отримати достовірні фізико-хімічні характеристики. Окрім цього, ми використовували відкриті джерела – наукові статті та бази даних, адже знайти точні числові параметри для комерційних матеріалів дійсно складно. Таким чином, інформація була зібрана як із сертифікованих документів виробників, так і з літературних джерел.

**Запитання:** У своїй доповіді Ви неодноразово згадували синергетичний ефект, і він зазначений серед завдань дослідження. Чи вдалося досягти цього ефекту у власних експериментальних дослідженнях, і які фактори були визначальними для його прояву?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Так, у ході експериментів було зафіксовано прояв синергетичного ефекту. На графіках видно, що для чистих полімерів значення температури та вагового зносу залишалися на базовому рівні, без додаткового ефекту. Проте при використанні композиційних матеріалів, зокрема комбінації графіту з епоксидною матрицею або політетрафторетилену з полієфірефіркетеном, показники значно покращилися. Було зафіксовано зменшення зношування та суттєве зростання мікротвердості – від базових 135 МПа до 305 МПа у випадку композиту Zedex ZX-324.

Визначальними факторами для досягнення синергетичного ефекту стали правильний добір наповнювачів та їхня взаємодія з полімерною матрицею, що забезпечило підвищення експлуатаційних властивостей матеріалу.

**7. Хімко А.М.**, к.т.н., доц., доцент кафедри авіаційного транспорту КАІ.

**Запитання:** Який практичний ефект мають результати Ваших досліджень і як вони можуть бути реалізовані на практиці?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Практичним результатом роботи стала розробка методики дослідження полімерних зразків, а також методики виготовлення композиційних матеріалів із наповненням епоксидних смол графітом. У дослідженні було визначено оптимальні параметри процесу – від дегазації до попереднього підігріву, що забезпечує стабільність структури та властивостей матеріалу. Ці характеристики можуть бути використані як технологічний аналог для термопластів, але вже в епоксидному варіанті, що відкриває можливості практичного застосування у вузлах тертя та інших конструктивних елементах.

**Запитання:** Чи правильно я зрозумів, що Ви пропонуєте попередньо підігрівати або підготовлювати деякі деталі перед їхньою роботою?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Так, у ході досліджень на трибOMETричній установці ми застосовували попереднє притирання на мінімальному режимі швидкості, щоб забезпечити припрацювання деталей. Це дозволяло уникнути оплавлення чи виривання матеріалу під час експериментів. Такий підхід є валідним і для промислового використання, адже попередній підігрів та підготовка деталей сприяють стабільності роботи та зниженню ризику пошкоджень у процесі експлуатації.

Після відповідей на запитання виступили:

**Науковий керівник** – д.т.н., проф., професор кафедри авіаційного транспорту Аерокосмічного факультету КАІ Мнацаканов Рудольф Георгійович.

**Мнацаканов Р.Г.:** Марчук Роман Миколайович, 1998 року народження, у 2021 році закінчив Національний авіаційний університет за спеціальністю Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка (освітньо-професійна програма: Інформаційні вимірювальні системи) і отримав диплом освітнього ступеня «Магістр». У 2022 році вступив до аспірантури за спеціальністю 131 Прикладна механіка.

Під час навчання в аспірантурі Марчук Роман у повному обсязі виконав індивідуальний план, склав заліки та іспити з усіх навчальних дисциплін, продемонструвавши високу теоретичну підготовку та здатність до самостійної наукової роботи.

За темою дисертації автором опубліковано 11 наукових праць, зокрема 6 статей у фахових виданнях категорії Б та 5 праць апробаційного характеру. За період навчання Роман Марчук оволодів інтегральною, загальними та фаховими компетентностями, передбаченими освітньо-науковою програмою підготовки докторів філософії за спеціальністю 131 Прикладна механіка галузі знань 13 Механічна інженерія, зокрема: здатністю розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері розроблення нових та вдосконалення існуючих методів і методик трибологічних досліджень і випробувань; здатністю до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; здатністю до пошуку, оброблення та аналізу інформації з

різних джерел; здатністю виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у трибології; здатністю дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності та ін.

Актуальність теми дисертаційного дослідження полягає у необхідності створення високонадійних антифрикційних матеріалів для авіаційної та транспортної галузей, що здатні працювати в умовах інтенсивних навантажень.

Хочеться відзначити цілеспрямованість, наполегливість, працьовитість та здатність аспіранта до постановки та вирішення наукових завдань. Його підхід ґрунтується на глибокому теоретичному аналізі проблеми, творчому мисленні, вмінні виділити головне в поставленій задачі. Дисертаційна робота Марчука Романа виконана з дотриманням правил академічної доброчесності, є оригінальною (97,62%), самостійно виконаною, завершеною працею

Дисертаційна робота має вагоме практичне значення: розроблено та впроваджено методику виготовлення епоксиграфітових композитів у діяльність ТОВ «НД Продакшн», а також впроваджено прецизійну методику моніторингу температурних полів на ТОВ «Луцький ремонтний завод «Мотор»». Результати досліджень інтегровані у навчальний процес КАІ при підготовці бакалаврів та магістрів.

Вважаю, що актуальність теми, наукова новизна та практичне значення дисертації Романа Марчука свідчать про її високий науковий рівень. Робота є оригінальною, самостійно виконаною та завершеною працею, у якій розв'язано важливе науково-прикладне завдання щодо керування структурною адаптацією полімерних та композиційних матеріалів. Висунуті на захист положення є аргументованими та базуються на використанні сучасного метрологічного обладнання і математичної статистики. Освітня та наукова складові індивідуального плану виконані повністю. Дисертація відповідає спеціальності 131 – «Прикладна механіка», а її автор Марчук Роман Миколайович заслуговує присудження ступеня доктора філософії на підставі Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, який затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

**Рецензенти** дисертаційної роботи, які наголосили на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження:

**Сидоренко О.Ю.**, к.т.н., доц., заступник декана Аерокосмічного факультету КАІ: зазначив, що робота справляє позитивне враження, аргументована актуальність тематики досліджень. Полімери та їх використання є у центрі уваги, і дослідження вдало поєднує теоретичні положення з практичними аспектами, зокрема впровадженням власної експериментальної установки.

Представлена установка вирізняється інноваційністю та елементами цифровізації, що робить її сучасною у порівнянні з багатьма аналогами. За умови розширення фінансування та можливостей здобувач міг би масштабувати її до рівня комплексної системи, інтегрованої з технологіями

«digital twins». Це відкриває перспективи мінімізації кількості випробувань, особливо враховуючи високу вартість зразків. Робота містить значний обсяг експериментальних досліджень, обробка результатів здійснювалася із застосуванням складних рівнянь, що свідчить про високий рівень наукової підготовки. Тематика дослідження є надзвичайно актуальною, а сама установка має перспективи розвитку. Рецензент зазначив, що у тексті зустрічаються формулювання, наприклад, «концепція активної трансформації енергії тертя в ресурс самозміцнення матеріалу». Якщо ці положення будуть підтверджені подальшими дослідженнями, вони можуть стати основою для нових наукових напрямів.

Рецензент підтримав роботу та зазначив, що її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії.

**Корнієнко А.О.**, с.н.с., доц., доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ: зазначив, що дисертаційна робота є актуальною. Оцінюючи позитивні аспекти дослідження, варто насамперед відзначити високий рівень оформлення та структурування матеріалу: ілюстративні дані є якісними, інформативними та коректно відображають отримані результати.

Наукова новизна та глибина роботи підтверджуються використанням комплексного підходу, що поєднує сучасні експериментальні методи з аналізом структурних змін у поверхневих шарах. Робота вдало поєднує фундаментальні дослідження процесів тертя та зношування з практично орієнтованими результатами, що суттєво підвищує її цінність для інженерних застосувань.

Практична значущість дослідження підтверджується актами впровадження результатів у навчальний процес та виробництво. Рецензент підтримав роботу та зазначив, що за рівнем наукової новизни та практичної цінності автор заслуговує на представлення до захисту та присудження ступеня доктора філософії.

**В обговоренні** дисертаційного дослідження взяли участь:

**Кіндрачук М.В.**, д.т.н., проф., професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ: підкреслив, що робота є актуальною, адже сьогодні важко знайти галузь народного господарства чи промисловості, де не використовуються полімери. Вони мають багато переваг перед металами, проте існує й суттєвий недолік – вузький температурний інтервал роботи при терті. На основі ґрунтовного літературного огляду та досвіду наукового керівника було зроблено висновок про необхідність мінімізації цього температурного ефекту, який призводить до руйнування поверхні та інтенсивного зношування. У роботі поставлено завдання створити нові полімерні композиційні системи, здатні адаптуватися під час тертя, використовуючи навіть температурні недоліки як фактор структурної організації. Дослідження є складними, адже вивчення температури й зносу потребувало сучасних вимірювальних та інформаційних технологій. Використання цих методів дозволило отримати цікаві результати, які дали змогу модифікувати полімери та створити нові композиційні матеріали, здатні адаптуватися до умов тертя. Це становить практичне значення роботи. Робота має новаторський характер і є вагомим внеском у розвиток наукової школи Авіаційної трибології в КАІ. На думку проф. Кіндрачука М.В., робота повністю відповідає вимогам до дисертацій на

здобуття вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії.

**Мікосянчик О.О.**, д.т.н., проф., завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ: зазначила, що доповідач представив актуальну роботу. Важливою частиною дослідження став ґрунтовний підбір матеріалів, здатних працювати при температурах понад 50–60 °С, що вигідно вирізняє їх серед звичайних термопластів. Окремо відзначено розробку власних композитів на основі графіту та матриці Larit, які продемонстрували ефективність в умовах тертя ковзання. Вважаю роботу завершеною, якісною та актуальною, тому повністю підтримую її, а автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

**Носко П.Л.**, д.т.н., проф., професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ: зазначив, що дисертаційна робота має новаторський характер. Окрім традиційного напрямку підвищення триботехнічних характеристик, у роботі простежується перспективний напрям керування процесами тертя та структурної адаптації матеріалів. Відзначив високий рівень наукової підготовки здобувача. Робота справила позитивне враження, автор продемонстрував себе як кваліфікований фахівець. Дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії.

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Марчука Романа Миколайовича на тему “Підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія” за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”**

**1. Обґрунтування вибору теми дослідження.** Забезпечення надійності та довговічності конструкційних елементів авіаційної та наземної техніки є актуальною науково-технічною проблемою, розв’язання якої безпосередньо залежить від триботехнічної ефективності вузлів тертя. Аналіз досвіду експлуатації авіаційної техніки підтверджує, що лімітуючим фактором ресурсу багатьох систем є зносостійкість спряжень ковзання, які функціонують в умовах інтенсивних динамічних і термічних навантажень.

Одним із перспективних шляхів підвищення експлуатаційних характеристик трибосистем є заміна традиційних металевих матеріалів сучасними полімерними композитами. Використання інженерних термопластів та реактопластичних матриць, модифікованих функціональними наповнювачами, дозволяє цілеспрямовано формувати зносостійкі структури, здатні ефективно працювати у широкому діапазоні температур і швидкостей ковзання.

Актуальність застосування антифрикційних полімерних композитів обумовлена їхньою здатністю до самозмашування та формування захисних плівок перенесення. Введення дисперсних модифікаторів, таких як графіт та

PTFE, забезпечує стабілізацію коефіцієнта тертя та запобігає термомеханічній деструкції поверхневих шарів. Це має критичне значення для вузлів авіаційної техніки, де мінімізація тепловиділення та запобігання адгезійному схоплюванню є визначальними для безвідмовної роботи.

Розвиток методів прецизійного трибOMETричного моніторингу та дослідження закономірностей структурної адаптації полімерів відкриває нові можливості для прогнозування їхнього ресурсу. Вивчення взаємозв'язку між мікротвердістю доріжки тертя, температурним режимом контакту та інтенсивністю зношування дозволяє обґрунтувати концепцію створення самозміцнювальних трибосистем.

Зазначені чинники обумовлюють необхідність проведення комплексних досліджень, спрямованих на встановлення закономірностей формування триботехнічних властивостей полімерних матеріалів. Результати таких досліджень створюють наукове підґрунтя для розробки високонавантажених підшипників ковзання з покращеним ресурсом, що має стратегічне значення для авіаційної, транспортної та енергетичної галузей промисловості.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.** Дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, що проводяться в КАІ і спрямовані на підвищення надійності авіаційної та наземної техніки. Дослідження проводились в рамках науково-дослідної роботи «Підвищення ресурсу відповідальних вузлів авіаційної техніки та удосконалення технічного обслуговування повітряних суден» №48-2022/07.06. (0125U001081). Автором проведено комплексну оцінку зносостійкості широкої номенклатури конструкційних полімерів (Sustapeek, Sustamid, Zedex) в умовах тертя ковзання залежно від складу модифікуючих наповнювачів. Встановлено закономірності структурної адаптації поверхневих шарів та визначено кореляційний зв'язок між здатністю матеріалів до самозміцнення (за показником мікротвердості доріжки тертя) та їхнім термічним опором у широкому діапазоні швидкостей ковзання.

Тема дисертації відповідає освітньо-науковій програмі “Прикладна механіка” за спеціальністю 131 “Прикладна механіка” галузі знань 13 “Механічна інженерія” в КАІ (зокрема, ОК 1.3.1, ОК 1.3.2 та ОК 1.3.3).

**3. Мета і завдання дослідження.** полягала в підвищенні зносостійкості підшипників ковзання за рахунок обґрунтованого вибору складу антифрикційних полімерних та полімерних композиційних матеріалів та методів контролю їхнього термічного стану та триботехнічних характеристик для забезпечення керованої структурної адаптації.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались наступні завдання:

– проаналізувати стан сучасної номенклатури полімерних матриць (РА6, РА66, РОМ, РЕТ, РS, РЕЕК та РТFE) і наповнювачів, обґрунтувати їхній поділ за рівнем термомеханічних властивостей та визначити умови досягнення синергетичного ефекту при створенні високонавантажених антифрикційних композитів;

– обґрунтувати вибір реактопластичних та антифрикційних термопластичних матриць для роботи у високонавантажених вузлах тертя та

довести релевантність схеми випробувань «блок-на-кільці» для моделювання реальних умов експлуатації;

- розробити, класифікувати та валідувати оригінальну трибометричну установку, оснащену інтегрованими системами прецизійного моніторингу (контактною термометрією Pt100, безконтактною пірометрією), що забезпечує комплексний аналіз взаємозв'язку між термодинамічними параметрами контакту та динамікою мікрогеометрії поверхонь

- встановити роль процесів фрикційного зміцнення у забезпеченні довговічності трибосистем та визначити кореляційний зв'язок між показником мікротвердості поверхневого шару та інтенсивністю зношування композитів;

- дослідити механізми формування вторинних антифрикційних структур (трибоплівків) та експериментально підтвердити ефект «термічного плато» для широкого спектра наповнених систем (епоксиграфітів, модифікованих поліамідів та термопластів типу Zedex), встановивши закономірності самочинної стабілізації температури внаслідок адаптивної зміни властивостей поверхонь тертя;

- обґрунтувати та верифікувати концепцію «активаційного нагріву», дослідивши умови конвертації теплової енергії тертя у ресурс зміцнення через орієнтаційну перебудову та вторинну кристалізацію макромолекул;

- визначити діапазон оптимальних швидкостей ковзання за критерієм стабільності мікрогеометрії (крива Аббота-Файєрстоуна) та встановити критичні умови переходу до термічного руйнування поверхонь;

- оцінити вплив комбінованого наповнення (графітом та твердими змащувальними компонентами) на стабілізацію теплового балансу та зниження фрикційної напруженості контакту;

- розробити класифікацію антифрикційних матеріалів за їхньою адаптивною здатністю у широкому діапазоні швидкісних режимів як наукову основу для проектування композиційних підшипників нового покоління.

**4. Об'єкт дослідження** – процеси зношування та структурної адаптації поверхонь елементів трибоспряжень на основі полімерних та полімерних композиційних матеріалів, що працюють в умовах інтенсивного фрикційного нагріву при ковзанні.

**5. Предмет дослідження** – закономірності структурної адаптації, кінетика термічної напруженості, градієнтний розподіл мікротвердості та інтенсивність зношування антифрикційних полімерних та полімерних композиційних матеріалів в умовах ковзання.

**6. Методи дослідження.** Для дисертаційної роботи використано комплексний підхід, що поєднує методи триботехнічних випробувань, прецизійних метрологічних вимірювань та математичного аналізу. Основним методом оцінки антифрикційних властивостей обрано випробування на знос за схемою «блок-на-кільці» згідно з міжнародним стандартом ISO 7148-2, які проводились на оригінальній трибометричній установці з автоматизованою системою збору даних. Контртіло виготовлялось зі сталі 30ХГСА з контрольованою шорсткістю, а вимірювання вагового зносу зразків здійснювалось за допомогою аналітичних ваг Axis з високим класом точності.

Метрологічне забезпечення експериментів базувалось на прецизійному моніторингу термічного стану зони контакту із застосуванням платинових

термоперетворювачів Pt100 за чотирипровідною схемою підключення. Математична обробка сигналів проводилась за поліноміальними рівняннями міжнародної температурної шкали ITS-90, що у поєднанні з безконтактною інфрачервоною пірометрією забезпечило верифікацію температурних градієнтів у реальному часі.

Аналіз процесів структурної адаптації та властивостей поверхонь включав лазерну скануючу профілометрію для побудови кривих Аббота-Файєрстоуна та кількісної оцінки несучої здатності мікрорельєфу. Вимірювання мікротвердості приповерхневих шарів проводилось методом Віккерса на приладі ПМТ-3 для ідентифікації зон фрикційного зміцнення та аналізу градієнтного розподілу механічних властивостей по глибині доріжки тертя. Остаточне оброблення результатів та встановлення закономірностей реалізовано методами математичної статистики та кореляційного аналізу для обґрунтування концепції активаційного нагріву.

**7. Наукова новизна дослідження:** полягає у встановлених закономірностях підвищення зносостійкості антифрикційних полімерних та полімерних композиційних матеріалів шляхом реалізації ефектів фрикційного зміцнення та базується на таких основних положеннях:

*уперше:*

– встановлено фундаментальну роль процесів фрикційного зміцнення полімерних та полімерних композиційних матеріалів у забезпеченні довговічності вузлів тертя, які полягають у підвищенні зносостійкості за рахунок формування трибоплівки з підвищеною мікротвердістю, структурною орієнтацією, низьким опором зсуву в умовах ковзання.

– встановлено, що на відміну від полімерів на основі поліамідів, які схильні до знеміцнення внаслідок механодеструкції молекулярних зв'язків, матеріали на основі термопластичних поліестерів (PET), полієфірефіркетону (PEEK) та політетрафторетилену (PTFE) забезпечують зміцнення поверхневого шару в умовах ковзання шляхом формування структурної орієнтації макромолекул і зростанням щільності фазової плівки за рахунок вторинної кристалізації під дією термомеханічного навантаження, що підвищує опірність матеріалу до зношування;

*удосконалено:*

– теорію структурної адаптації при терті полімерних та полімерних композиційних матеріалів: встановлено кореляцію між максимальною температурою контакту та коефіцієнтом зміцнення поверхні на основі оцінки процесів інтенсивності тепловиділення, які ініціюють термомеханічне розм'якшення матриці та знижують інтенсивність зношування.

– оцінку несучої здатності поверхні полімерних та полімерних композиційних матеріалів на основі мікрогеометричних показників кривої Аббота-Файєрстоуна: встановлено вплив швидкості ковзання на показник центральної частини середньої відносної опорної довжини профілю, що свідчить про формування розвиненого «плато» мікрорельєфу, яке забезпечує максимальну стабільність контакту, рівномірний розподіл питомих тисків та мінімізацію локальних напружень.

*отримали подальший розвиток:*

– наукові уявлення про підвищення зносостійкості полімерних матеріалів шляхом введення в їх структуру компонентів, що забезпечують підвищення антифрикційних характеристик матеріалів та знижують ризик теплової деструкції їх поверхневого шару при терті.

– теорія формування зносостійких структур при терті полімерів та полімерних композиційних матеріалів: введення дисперсного графіту в епоксидну матрицю забезпечує реалізацію механізму термічної стабілізації вузла тертя формуванням графітової трибоплівки, яка проявляє високі антифрикційні властивості.

**8. Теоретичне значення.** Дисертація є завершеною кваліфікаційною працею, що містить наукові положення щодо підвищення довговічності полімерних композитів у вузлах тертя авіаційної та наземної техніки. У роботі представлені нові теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені результати досліджень, спрямовані на формування адаптивних антифрикційних систем. Автором систематизовано сучасну номенклатуру полімерних матриць та обґрунтовано перспективність комбінування РЕЕК і РТФЕ для створення високопродуктивних композитів.

Розроблено та валідовано оригінальну трибометричну установку, що інтегрує контактну та безконтактну термометрію разом із лазерною профілометрією, забезпечуючи високоточний контроль температурних градієнтів і еволюції мікрогеометрії. Встановлено фундаментальну роль процесів фрикційного зміцнення, підтверджену сильним кореляційним зв'язком між коефіцієнтом зміцнення та інтенсивністю зносу, що дозволяє використовувати мікротвердість доріжки тертя як надійний предиктивний індикатор ресурсу.

Робота свідчить про вагомий особистий внесок здобувача в розвиток науки про полімерні композити, який самостійно отримав ключові залежності, встановив нові структурні кореляції та запропонував класифікацію матеріалів за їхньою адаптивною здатністю. Представлене дослідження характеризується єдністю змісту, де всі розділи підпорядковані єдиній меті – підвищення надійності та ресурсу вузлів тертя авіаційної й наземної техніки.

**9. Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження.** Розроблено та впроваджено методику виготовлення та термічної стабілізації високопродуктивних епоксиграфітових композитів для вузлів тертя. Запропонований підхід забезпечує високу гомогенність розподілу графіту (до 20,5% за масою) та формування стабільної тривимірної молекулярної сітки, що дозволяє замінювати промислові термопласти (РА6, РОМ, РЕЕК) у високонавантажених вузлах.

Результати реалізовані:

- у виробничу діяльність ТОВ «НД Продакшн» для створення антифрикційних матеріалів із прогнозованою мікроструктурою та підвищеною теплопровідністю (акт про впровадження від 09.10.2025).

- у навчальний процес КАІ: у тематичний план лекцій, практичних та лабораторних занять з дисципліни «Технології конструкційних матеріалів» для здобувачів вищої освіти ступеня «Бакалавр» включено теоретичні та практичні питання щодо застосування сучасних полімерних композиційних матеріалів для підшипників ковзання та технологій їх виготовлення; при підготовці

кваліфікаційних робіт для здобувачів ступеня «Магістр» зі спеціальності 272 «Авіаційний транспорт» використовуються розроблені технологічні заходи підвищення зносостійкості деталей авіаційних трибомеханічних систем (акт про впровадження від 07.01.2026).

ТОВ «Луцький ремонтний завод «Мотор»» для обґрунтованого вибору матеріалів підшипників ковзання шляхом впровадження методики оцінки протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів, яка дозволила визначати стійкість до деформації, кінетику зміни мікротвердості та здатність до структурної адаптації під дією термомеханічних навантажень і базується на моніторингу температурних полів системою датчиків Pt100 та відповідає вимогам міжнародного стандарту ISO 7148-2:2026 (акт про впровадження від 11.02.2026).

**10. Особистий внесок здобувача.** Дисертація «Підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів» є самостійною науковою працею, у якій викладено теоретичні положення, висновки, власні ідеї та розробки автора, що забезпечили вирішення поставлених завдань. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені здобувачем особисто. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання та застосовані виключно для підтвердження і підкріплення власних результатів дослідження.

**11. Апробація результатів дослідження.** Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських та за міжнародною участю: «АВІА-2023» (Київ, 2023), «Авіація в ХХІ столітті. Безпека в авіації та космічні технології» (Київ, 2024), «Політ. Сучасні проблеми науки» (Київ, 2023, 2024, 2025).

**12. Публікації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в **10,5** наукових публікаціях, серед них 5,5 публікацій у наукових фахових виданнях України, 5 публікацій у збірниках матеріалів конференцій.

### Список опублікованих праць за темою дисертації

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. **Марчук Р.,** Мнацаканов Р. Аналіз полімерних композиційних матеріалів для підшипників ковзання. *Problems of Friction and Wear*. 2023. № 1(98). С. 55–62. URL: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(98\).17359](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(98).17359)

*Особистий внесок Р. Марчука: проведено аналіз полімерних композиційних матеріалів для підшипників ковзання, визначено перспективні матриці та комбінації наповнювачів, обґрунтовано вплив диспергування полівінілхлориду карбідом кремнію на термостійкість.*

*Особистий внесок Р. Мнацаканова: постановка завдання дослідження, узагальнення результатів щодо антифрикційних властивостей композитів на основі PTFE з різними наповнювачами.*

2. **Марчук Р.,** Мнацаканов Р. Трибометрична машина для дослідження трибологічних характеристик полімерів. *Problems of Friction and Wear*. 2023. № 2(99). С. 32–38. URL: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.2\(99\).17624](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(99).17624)

*Особистий внесок Р. Марчука: валідація конструкції трибометричної установки, обґрунтування еліптичної форми контакту трибоелементів, інтеграція системи терморезистивних датчиків та аналіз можливостей експрес-тестування матеріалів.*

*Особистий внесок Р. Мнацаканова: постановка наукового завдання, методичне керівництво дослідженням, узагальнення результатів щодо застосування стандартизованого методу ISO 7148-2:2012.*

3. **Марчук Р.,** Мнацаканов Р. Аналіз та інтерпретація зносу полімерних матеріалів на основі трибометричних досліджень. *Problems of Friction and Wear.* 2023. № 4(101). С. 52–59. URL: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(101\).18079](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(101).18079)

*Особистий внесок Р. Марчука: проведено експериментальні дослідження трибологічних властивостей полімерних матеріалів у парі зі сталлю 30ХГСА, здійснено вимірювання температури у зоні контакту, аналіз динаміки зношування та структури матеріалів, узагальнено результати щодо вагового зносу та перспективності використання полімерів без мастила.*

*Особистий внесок Р. Мнацаканова: постановка наукового завдання, методичне керівництво дослідженням, удосконалення методики вимірювань.*

4. **Марчук Р.,** Мнацаканов Р. Аналіз основних функціональних параметрів шорсткості мікрорельєфу поверхні полімерів. *Problems of Friction and Wear.* 2024. № 2(103). С. 130–139. URL: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.2\(103\).18695](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(103).18695)

*Особистий внесок Р. Марчука: проведено аналіз параметрів мікрорельєфу поверхні полімеру Zedex ZX-100K при різних швидкостях ковзання, здійснено оцінку стану контактної поверхні, визначено оптимальний режим ковзання (2.8 м/с), що забезпечує згладжування мікронерівностей та покращення трибологічних характеристик.*

*Особистий внесок Р. Мнацаканова: постановка наукового завдання, методичне керівництво дослідженням, інтерпретація результатів щодо впливу високих швидкостей ковзання (5.5 м/с) на руйнування поверхні.*

5. **Marchuk R.,** Mnatsakanov R., Yashchuk O. P., Kushch O. I., Nyshchuk D. Influence of tribotesting on microhardness of polymers. *Problems of Tribology.* 2025. Т. 30, № 1/115. С. 45–50. URL: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2025-115-1-45-50>

*Особистий внесок Р. Марчука: проведено експериментальні дослідження мікротвердості полімерів після триботестування, здійснено аналіз матеріалу Zedex ZX-100K, визначено його здатність до зміцнення при високих швидкостях ковзання та обґрунтовано вибір цього полімеру для подальших досліджень.*

*Особистий внесок Р. Мнацаканова: постановка наукового завдання, методичне керівництво дослідженням.*

*Особистий внесок О. Яцук: виконано переклад англomовного матеріалу та адаптацію тексту для публікації.*

*Особистий внесок О. Куца: участь у підготовці експериментальної бази та обробці даних, що стосуються температурних і структурних змін полімерів у зоні контакту.*

*Особистий внесок Д. Ніщука: оформлення графічного матеріалу за результатами досліджень.*

6. **Марчук Р.**, Мнацаканов Р. Трибологічні випробування та структурна адаптація полімерних композитів. *Problems of Friction and Wear*. 2025. № 4(109). С. 131–138. URL: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(109\).20761](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(109).20761)

*Особистий внесок Р. Марчука: проведено трибологічні випробування полімерних композитів, здійснено аналіз впливу складу матриці та типу наповнювача на здатність матеріалів до структурної адаптації, отримано експериментальні результати для епоксидно-графітових систем, композиту ПС-6 та матеріалу Zedex ZX-324V2T (PEEK + PTFE).*

*Особистий внесок Р. Мнацаканова: постановка наукового завдання, методичне керівництво дослідженням, узагальнення висновків щодо ролі структурної адаптації як механізму підвищення зносостійкості полімерних композитів.*

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

1. Малярчук І. В., Мікосянчик О. О., Педан Є. В., **Марчук Р. М.** Вплив модифікаторів тертя на триботехнічні характеристики контакту. *АВІА-2023: матеріали XVI міжнар. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 18–20 квітня 2023 р., Київ, 2023. С. 1.54–1.57.

URL: <https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2022/paper/viewFile/8867/7018>.

2. Бахтіаров Я., **Марчук Р.** Підвищення експлуатаційних властивостей полімерних матеріалів для підшипників ковзання. *Політ. Сучасні проблеми науки: матеріали XXIII міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених*, м. Київ, 4–7 квітня 2023 р., Київ, 2023. С. 33–37.

3. Мнацаканов Р. Г., Погребняк Н. О., **Марчук Р.** Вплив швидкості ковзання на шорсткість та зносостійкість полімерних матеріалів. *Авіація в XXI столітті – Безпека в авіації та космічні технології: матеріали XI Всесвітнього конгресу*, м. Київ, 25–28 вересня 2024 р., Київ, 2024. С. 1.2.5–1.2.8.

URL: <https://congress.nau.edu.ua/2024/info/Congress-2024.pdf>.

4. Турчаненко М., **Марчук Р.** Дослідження властивостей полімерних матеріалів та їх можливе застосування: переваги і недоліки. *Політ. Сучасні проблеми науки: матеріали XXIV міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених*, м. Київ, 2–5 квітня 2024 р., Київ, 2024. С. 41–42.

URL: <https://aki.kai.edu.ua/wp-content/uploads/%d0%9f%d0%be%d0%bb%d1%96%d1%8224 %d0%90%d0%9a%d0%a4.pdf>

5. Нищук Д. В., **Марчук Р. М.** Оцінка мікротвердості полімерів при терті ковзання. *Політ. Сучасні проблеми науки: матеріали XXV міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених*, м. Київ, 1–4 квітня 2025 р., Київ, 2025. С. 52–53.

URL: [https://nau.edu.ua/site/variables/docs/docsmenu/studnauka/polit2025/Polit-2025\\_AKF.pdf](https://nau.edu.ua/site/variables/docs/docsmenu/studnauka/polit2025/Polit-2025_AKF.pdf)

**13. Структура та обсяг дисертації.** Дисертація містить анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, основні результати і висновки, список використаних джерел та додатки. Список використаних

джерел із 169 найменувань викладений на 20 сторінках. Обсяг додатків – 6 сторінок. Обсяг основної частини дисертації становить 121 сторінку, загальний обсяг дисертації складає 169 сторінок. Загалом у роботі міститься 21 таблиця, 25 рисунків та 2 додатки.

**14. Характеристика особистості здобувача.** Під час підготовки дисертаційної роботи Марчук Р.М. проявив себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно на високому науково-методичному рівні вирішувати як наукові, так і практичні завдання. Він повною мірою володіє сучасними технологіями вибору та формування полімерних і композиційних матеріалів, має належний рівень теоретичної та експериментальної підготовки, що забезпечило отримання нових результатів у галузі структурної адаптації полімерних та полімерних композиційних матеріалів.

**15. Оцінка мови та стилю дисертації.** Текст дисертації викладено фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури. Матеріали дослідження оформлені у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України.

**16. Відповідність принципам академічної доброчесності.** Дисертація не містить необґрунтованих запозичень та плагіату. У роботі дотримано правила посилання на джерела інформації у випадку використання підходів, положень, тверджень, відомостей. Надано достовірну інформацію про результати досліджень, джерела використаної інформації.

**17. Рецензенти рекомендують:** відповідно до пп. 15, 16 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

**Голова ради:**

**Носко Павло Леонідович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Аерокосмічного факультету КАІ.

**Рецензенти:**

**Сидоренко Олександр Юрійович**, кандидат технічних наук, доцент, заступник декана Аерокосмічного факультету КАІ.

**Корнієнко Анатолій Олександрович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Аерокосмічного факультету КАІ.

**Офіційні опоненти:**

**Бабак Олег Петрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства в Хмельницькому національному університеті;

**Туриця Юлія Олександрівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства в Національному транспортному університеті;

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реальний чи потенційний конфлікт інтересів щодо здобувача Марчука Романа Миколайовича (зокрема, є його близькою особою) та/або його наукового керівника.

У результаті попередньої експертизи дисертації Марчука Романа Миколайовича і повноти публікації основних результатів дослідження

### **УХВАЛЕНО:**

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Марчука Романа Миколайовича на тему “Підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів”.

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Марчука Романа Миколайовича відповідає спеціальності 131 “Прикладна механіка” та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року. № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8, 9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

3. Рекомендувати дисертаційну роботу “Підвищення триботехнічних характеристик пар ковзання поліпшенням протизношувальних властивостей полімерних та композиційних матеріалів”, подану Марчуком Романом Миколайовичем на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 “Механічна інженерія”, за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”.

4. Рекомендувати Вченій раді затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

#### **Голова ради:**

*Носко Павло Леонідович*, доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Аерокосмічного факультету КАІ.

#### **Рецензенти:**

*Сидоренко Олександр Юрійович*, кандидат технічних наук, доцент, заступник декана Аерокосмічного факультету КАІ.

*Корнієнко Анатолій Олександрович*, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Аерокосмічного факультету КАІ.

#### **Офіційні опоненти:**

*Бабак Олег Петрович*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри

трибології, автомобілів та матеріалознавства в Хмельницькому національному університеті;

**Туриця Юлія Олександрівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства в Національному транспортному університеті.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Марчука Романа Миколайовича:

“за” – 15

“проти” – немає

“утримались” – немає

**Головуючий на засіданні:**

завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ, д.т.н., професор



Оксана МІКОСЯНЧИК

**Секретар засідання:**

доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ, к.т.н., доцент



Світлана БОГДАН

**ПОГОДЖЕНО:**

проректор з наукових досліджень та трансферу технологій КАІ, д.т.н., професор



Сергій ГНАТЮК