

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. О. президента
Державного університету
«Київський авіаційний інститут»

Ксенія СЕМЕНОВА

05 2025 року



ВИСНОВОК

Державного університету «Київський авіаційний інститут» (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Шамрая Віталія Борисовича на тему «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

ВИТЯГ

із протоколу № 9 розширеного засідання
кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ:
від 08 травня 2025 року

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

Головуючий на засіданні Кіндрачук М.В., д.т.н., професор, професор кафедри;
Носко П.Л., д.т.н., професор, професор кафедри;
Мікосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, гарант освітньо-наукової програми «Прикладна механіка»;
Башта О.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Балалаєв А.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Богдан С.Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Корнієнко А.О., к.т.н., старший науковий співробітник, доцент кафедри;
Мельник В.Б., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Повгородній В.О., 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 авіаційних двигунів;
Мнацаканов Р.Г., д.т.н., професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;
Токарук В.В., к.т.н., доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Хімко А.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден;

Якобчук О.Є., к.т.н., старший викладач кафедри конструкції літальних апаратів.

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники з інших установ:

Лопата Л.А. – к.т.н., доцент, наук. співр. відділу міцності матеріалів і елементів конструкцій в термосилових полях і газових потоках, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України;

Калініченко В.І. – к.т.н., старший науковий співробітник відділу міцності матеріалів і елементів конструкцій в термосилових полях і газових потоках, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України.

Серед присутніх 5 докторів технічних наук і 11 кандидатів технічних наук.

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ Шамрая Віталія Борисовича на тему «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка».

Науковий керівник доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ: Мікосянчик Оксана Олександрівна.

Дисертація виконувалась на кафедрі прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету КАІ (протокол № 10 від 15 листопада 2021 року).

Виступили:

Здобувач Шамрай Віталій Борисович представив презентацію з основними положеннями дисертації на тему «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія», за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Доповідач обґрунтував актуальність теми дослідження для підвищення зносостійкості робочих органів та деталей сільськогосподарських машин, 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 КАТП «Агробудавтосервіс» (м. Кропивницький) та в навчальний процес КАІ.

Здобувач зазначив, що процес електроіскрового легування, який є дискретним по своїй природі, дозволяє формувати зносостійкі композиційні покриття різної суцільності на основі карбідів, оксидів, боридів, самофлюсуючих сплавів. Зносостійкість композиційних покриттів, отриманих методом

електроіскрового легування зв'язують з утворенням дрібнодисперсних карбідних часточок, які володіють високою твердістю й перешкоджають впровадженню абразивних часток у поверхню тертя..

Здобувач обґрунтував обрану схему досліджень, яка включає оцінку умов експлуатації і причин виходу з ладу робочих органів і деталей сільськогосподарських машин, способу формування композиційних покриттів, оцінку напружено-деформованого стану системи «зміцнюєма поверхня-покриття» та інше.

Здобувач представив результати оцінки напружено-деформованого стану поверхонь з композиційними покриттями, сформованими методом електроіскрового легування, визначив оптимальні значення товщини і суцільності покриття, які забезпечать підвищення їх триботехнічних характеристик та ресурсу.

Здобувач проаналізував вплив режимів процесу електроіскрового легування на параметри і властивості покриття: інтенсивність формування поверхневого шару методом електроіскрового легування залежить від величини енергії розряду, яка виділяється в міжелектродному зазорі, і середнього струму джерела робочих імпульсів

Здобувач представив результати мікрорентгеноспектрального аналізу отриманих покриттів Х20Н80 та КХН25, на основі якого встановлено, що відбувається насичення поверхневих шарів хромом, нікелем, залізом, вуглецем. Зазначено, що зі збільшенням енергії розряду дифузійні зони нікелем і хромом збільшуються, причому активніше вглиб від поверхні дифундує нікель і хром.

Здобувач проаналізував триботехнічні характеристики створених електротехнічних покриттів, які визначалися на модернізованій машині 2070 СМТ-1 в режимі ковзання колодка-ролик та на стандартній установці при дослідженні на абразивне зношування в середовищі вільних абразивних частинок.

Здобувач показав, що в дисертаційній роботі встановлено підвищення зносостійкості та антифрикційних властивостей несучільних електроіскрових композиційних покриттів; визначено механізм зменшення зносу несучільних електроіскрових композиційних покриттів в абразивному середовищі, який полягає в зменшенні інтенсивності механо-деструкційних процесів в поверхневих шарах металу при терті; на основі аналізу напружено-деформованого стану доведено, що максимальне зниження дотичних та еквівалентних напружень несучільних електроіскрових покриттів проявляється для суцільності покриття 60...80 %.

Після закінчення презентації присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання:

Запитання до здобувача:

1. **Мнацаканов Р.Г.**, д.т.н., професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, як Ви оцінювали адгезійні властивості покриття?

Відповідь: Дякую за запитання. Адгезійні властивості оцінювали по зносостійкості покриття. В умовах ковзання, на установці 2070 СМТ-1 або на установці для випробувань в абразивному середовищі після досліджень

зважували зразки, обчислювали ваговий знос, робили шліфи і оцінювали візуально якість зчеплення з поверхнею і ступінь стирання покриттів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, на плакаті 17 при залежності вагового зносу від суцільності покриття встановлено мінімум зносу. Чим Ви це пояснюєте?

Відповідь: Дякую за запитання. Дані показники визначено експериментально. При суцільності покриття менше 50% навантаження розподіляється більш локально, на несучильні зони покриття, площа контакту менша за розрахункову, покриття руйнується швидше. При суцільності більше 80% покриття проявляє високу твердість, але зростають напруження в самому покритті, що спричинює їх крихкість, розтріскування, збільшений знос.

2. Корнієнко А.О., к.т.н., старший науковий співробітник, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, в роботі зазначено, що максимальне зниження дотичних та еквівалентних напружень у поверхневих шарах і мінімальні градієнти напружень проявляються для суцільності 60...80%. Чому оптимальною виявилась саме часткова суцільність покриття (60..80%)?

Відповідь: Дякую за запитання. На плакаті 10 представлені результати моделювання. При суцільності покриття, менше за 60 та більше за 80% зростає напружено-деформований стан як в покритті, так і в основі, що негативно впливає потім на зносостійкість покриттів. Суцільні покриття не тільки характеризуються зростанням напружено-деформованого стану, але й крихкістю. Методику формування дискретних покриттів широко впроваджували в Інституті проблем міцності, наукова школа Ляшенко Бориса Артемовича. Оскільки дослідження проводились спільно з представниками цього інституту, ми використовували саме такий спосіб нанесення покриття, ефективність якого доведена. Ми моделювали НДС та оцінювали зносостійкість для конкретних матеріалів.

3. Кіндрачук М.В., член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, які з розглянутих Вами матеріалів для покриттів використовуються сьогодні в виробництві?

Відповідь: Дякую за запитання. Для зміцнення та відновлення зношених поверхонь деталей сільськогосподарської техніки застосовуються всі три матеріали – ВК8 (твердий сплав для зміцнення ножів на сталі 65Г), КХН25 та Х20Н80 – для валів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, як запропоновані Вами сплави ведуть себе при нанесенні на поверхню методом електроіскрового легування? Яка міцність зчеплення?

Відповідь: Дякую за запитання. Всі композиційні матеріали добре наносяться на поверхню методом електроіскрового легування. Сплав ВК8 дуже твердий, його важко потім обробляти. Електроди КХН25 та Х20Н80 формують електроіскрові покриття, які ефективно піддаються наступній механічній обробці.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, на слайді 4 в якості об'єкту

досліджень в Вас визначено «композиційні покриття, сформовані методом електроіскрового легування». Це більше схильно до матеріалознавства. Можливо, краще зазначити «процеси тертя та зношування».

Відповідь: Дякую за запитання. Так, я врахую. Погоджуюсь з Вашим коригуванням.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, як Ви розумієте термін «реалізація позитивного градієнту по глибині покриття», що зазначено в Вас в науковій новизні?

Відповідь: Дякую за запитання. Це правило реалізується при зовнішньому терті, щоб мінімізувати знос. Покриття характеризується набагато вищою твердістю, ніж основа, але самий верхній шар покриття, де переважають окисні плівки, має меншу твердість до 10-15 мкм, ніж нижче розташовані шари покриття.

4. Якобчук О.Є., к.т.н., старший викладач кафедри конструкції літальних апаратів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, поясніть чому Ви вибрали процес електроіскрового легування для поверхневого зміцнення?

Відповідь: Дякую за запитання. На слайді 6 представлено, що проведений аналіз умов експлуатації та деталей сільськогосподарських машин дозволив сформулювати основні вимоги до технологічного процесу нанесення композиційних покриттів: невелика зона термічного впливу з метою зниження короблення деталей; незначні втрати зміцнюючого матеріалу покриття; нанесення покриттів без використання захисних сполук. Електроіскрове легування, в порівнянні з іншими процесами нанесення покриттів, має ряд істотних переваг: висока адгезія легованого шару з основним матеріалом, економія використання матеріалів з високою вартістю; відсутність попередньої обробки поверхні, перегріву і деформацій деталі в процесі обробки; можливість локального формування покриття в зазначених місцях; екологічна чистота процесу; застосування простого в експлуатації малогабаритного устаткування.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, в першому пункті наукової новизни на слайді 20 Ви зазначаєте про властивості нікелю як матеріалу матриці. Поясніть, чому властивості кобальту, як зв'язуючого матеріалу в композиційному покритті з ВК8 гірші?

Відповідь: Дякую за запитання. Нами досліджувались два типи композиційних матеріалів. В твердому сплаві ВК8 кобальту, як матеріалу матриці, 8%. Решта – тверді армуючі частки карбіду вольфраму. В матеріалі КХН25 нікелю 22-25% - це матеріал матриці (решта – армуючі частки карбіду хрому). Тобто, в КХН25 майже в 3 рази більше нікелю як зв'язки, ніж кобальту в ВК8. Це забезпечує більш оптимальний розподіл прикладеного навантаження в об'ємі покриття та матриця зменшує локальні внутрішні напруження, тобто проявляється більш ефективна демпфуюча здатність матриці.

5. Повгородній В.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, поясніть, для яких деталей доцільно використовувати в якості матеріалу композиційних покриттів обрані Вами ВК8, КХН-25 і сплав Х20Н80?

Відповідь: Дякую за запитання. Для робочих органів деталей сільськогосподарських машин, наприклад ножів подрібнюючого барабану комбайну, молотків дробарок доцільно використовувати сплав карбіду вольфраму ВК8. При нанесенні покриттів з карбіду вольфраму забезпечуються висока твердість та зносостійкість поверхні деталей в умовах абразивного середовища. Для розподільних валів двигунів і муфт зчеплення трактора доцільно використовувати більш технологічний композиційний матеріал КХН25 або ніхром, так як зміцнюємі поверхні цих деталей потребують фінішної механічної обробки. Нікель в композиційному покритті КХН25 підвищує корозійну стійкість і зносостійкість валів, захищає поверхні деталей від корозії за рахунок утворення на поверхні стабільних окисних плівок.

6. Мельник В.Б., к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, на плакаті 5 наведена схема досліджень. Поясніть, які фактори Ви враховували при виборі композиційних матеріалів для нанесення покриттів?

Відповідь: Дякую за запитання. При виборі композиційного матеріалу для нанесення покриття враховують склад композиційного матеріалу та спосіб формування покриття. На основі огляду літератури, досліджень інших авторів, обирали композиційні матеріали, які повинні забезпечити високу міцність зчеплення з основою. На основі моделювання напружено-деформованого шару обирали композиційні матеріали, які формують покриття на металі, що характеризуються мінімальними показниками еквівалентних напружень по Мізесу як в покритті, так і в основі, під покриттям.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, з якою метою Ви здійснювали оцінку напружено-деформованого стану поверхонь із композиційними покриттями, сформованими методом електроіскрового легування?

Відповідь: Дякую за запитання. На слайді 9 є результати моделювання. Оцінку напружено-деформованого стану поверхонь із композиційними покриттями, сформованими методом електроіскрового легування здійснювали з метою вибору оптимального варіанту товщини покриття та його суцільності залежно від складу композиційного матеріалу. Наприклад, встановили, що для ВК8 оптимальне покриття рекомендовано 100-300 мкм, для КХН25 – до 500 мкм.

7. Хімко А.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, в висновках Ви зазначаєте, що зносостійкість покриттів підвищується в 2 рази. З чим Ви порівнювали?

Відповідь: Дякую за запитання. Нами встановлено, що для покриття ВК8 ваговий знос в умовах дії незакріплених абразивних часток в 1,8-2 рази перевищує ваговий знос покриттів КХН25 та Х20Н80. Тобто, показники зносу порівнювались для різних досліджуваних матеріалів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, чи порівнювали Ви зносостійкість запропонованих Вами електроіскрових покриттів з покриттями, які на сьогоднішній день застосовуються для ножів, сформованими іншими

методами: хіміко-термічною обробкою, наплавленням, газотермічним напиленням?

Відповідь: Дякую за запитання. Дане питання, а саме переваги та недоліки методів нанесення покриттів, їх продуктивність, було проаналізовано в першому розділі. Наприклад, покриття, сформовані наплавленням, потребують зняття внутрішніх напружень, покриття потребують механічної обробки. При газотермічному напиленні не доцільно зміцнювати малогабаритні поверхні; треба обов'язкова підготовка поверхні перед напиленням; покриття характеризуються низькою адгезійною міцністю. Проаналізовані і інші методи, але ми обрали електроіскрове як оптимальний метод за показниками економічними, мобільністю перенесення обладнання, високою адгезійною міцністю покриття-основа.

8. Башта О.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, обґрунтуйте доцільність використання обраних Вами композиційних матеріалів для нанесення покриттів при зміцненні та відновленні деталей.

Відповідь: Дякую за запитання. На слайді 4 представлена доцільність використання композиційних матеріалів для нанесення покриттів на деталі, що працюють в умовах абразивного та корозійно-механічного зношування, обґрунтована їх високою міцністю, жорсткістю та зносостійкістю. Зносостійкість, корозійна стійкість та триботехнічні властивості композиційних матеріалів залежать від їх складу. При підвищенні триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарської техніки доцільно використовувати композиційні матеріали на металевій основі з керамічними наповнювачами. В нашому випадку кобальт в ВК8 та нікель в КХН25 – це метали. Карбід вольфраму в ВК8 та карбід хрому в КХН25 – це тугоплавка кераміка. Вибір композиційних матеріалів на металевій основі обґрунтований високими значеннями характеристик міцності. Основна функція керамічних наповнювачів – зміцнення металевої матриці композиційних матеріалів та композиційного покриття в цілому.

9. Токарук В.В., к.т.н., доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, на плакаті 17 в Вас представлено зовнішній вигляд вихідної поверхні та поверхні після тертя в умовах впливу незакріпленого абразиву для досліджуваних покриттів. Поясніть відмінності, які Ви встановили.

Відповідь: Дякую за запитання. В експерименті ми встановили, що для покриття ВК8, фото ліворуч, ваговий знос в умовах дії незакріплених абразивних часток в 2 рази перевищує ваговий знос покриття КХН25. Це пов'язано з тим, що мікротвердість покриття ВК8 в 1,3 рази перевищує мікротвердість покриття КХН25. Більша мікротвердість ВК8 (до 11000 МПа) спричинює крихкість покриття. Також висока мікротвердість цього покриття призводить до зниження опору абразивному зношуванню внаслідок зниження дотичного опору зсуву при втіленні твердої абразивної частки, що обумовлено

низькою часткою матричної складової (кобальту) в структурі твердого сплаву ВК8. Доріжки тертя покриття ВК8 характеризуються наявністю великих борозен, наявні прояви викришування. Для покриття КХН25 доріжки тертя характеризуються однорідною структурою, що свідчить про високий ступінь опору при впровадженні абразивних часток.

10. Носко П.Л., д.т.н., професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, в чому полягає сутність методу скінчених елементів, який Ви використовували для моделювання напружено-деформованого стану поверхонь деталей з композиційними покриттями?

Відповідь: Дякую за запитання. На слайді 8 представлена модель несучільного покриття. При моделюванні змінювали відстань між дискретами. За одиницю дискрету приймали один дотик електроду при електроіскровому легуванні. За товщину приймали об'єм матеріалу, який формується при одному дотику залежно від сили струму, частоти, амплітуди електроду.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, які параметри електроіскрового легування впливають на товщину та суцільність покриттів? Як Ви можете формувати задану товщину та суцільність?

Відповідь: Дякую за запитання. Електроіскрові покриття з унікальними властивостями можна створити шляхом керування параметрів процесу електроіскрового легування. На товщину і суцільність покриттів впливають величини робочого струму процесу електроіскрового легування, енергія розряду, частоту імпульсів і швидкість відносного переміщення анода і катода. Регулювати суцільність покриття на робочій поверхні деталі можна змінюючи величину робочого струму, частоту імпульсів і швидкість анода і катода. Визначено, що чим менша енергія імпульсів струму, тим менша товщина сформованого шару покриття.

Запитання: Шановний Віталію Борисовичу, чи доцільно запропоновані Вами покриття використовувати не лише для сільськогосподарської техніки, а і для деталей в інших галузях?

Відповідь: Дякую за запитання. Думаю, що так. В автомобільній галузі, в оборонному комплексі є широкі перспективи впровадження та використання даного методу.

Після відповідей на запитання виступили:

Науковий керівник – д.т.н., проф., завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ, Мікосянчик Оксана Олександрівна.

Зазначено, що В.Б. Шамрай у 2021 році вступив до аспірантури Національного авіаційного університету. Освітня та наукова складові навчання виконані в повному обсязі. Дослідження проводилось на експериментальній базі кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів за підтримки відділу міцності матеріалів і елементів конструкцій в термосилових полях і газових потоках Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренко НАН України.

В.Б. Шамрай за період навчання проявив себе як аспірант з яскраво

вираженою схильністю до самостійної наукової роботи. Він відрізняється високою теоретичною підготовкою, ерудицією, працьовитістю, здатністю працювати в складі наукового колективу. Слід зазначити неодноразову участь Віталія Шамрая в міжнародних наукових конференціях. Зокрема, за темою дисертації в співавторстві опубліковано 4 статті та 1 одноосібна стаття у фахових виданнях переліку МОН України (категорія Б), 4 праці апробаційного характеру

Науковий напрям і тема дисертаційного дослідження обрані виходячи з актуальних задач прикладної механіки, трибології та матеріалознавства.

Робота виконувалася як складова частина науково-дослідної роботи № 16-2022/ 07.01.01 (0125U001009), що проводилась кафедрою прикладної механіки та інженерії матеріалів.

Дисертаційна робота має практичне значення: дослідно-експериментальні та експлуатаційні випробування ножів із електроіскровими покриттям довели, що за рахунок підвищення зносостійкості ножів збільшилась ефективність подрібнення зернових культур; результати роботи впроваджені у навчальний процес.

Висунуті на захист наукові положення достатньо обґрунтовані, а експериментальні дані, завдяки використанню сучасних методів дослідження і коректній інтерпретації, є достовірними.

Відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна механіка» третього рівня вищої освіти за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» В.Б. Шамрай оволодів всіма програмними компетентностями, зокрема, інтегральною, яка полягає в здатності розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та дослідницько-інноваційної діяльності у сфері розроблення нових та вдосконалення існуючих методів і методик трибологічних досліджень і випробувань.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка націлена на вирішення актуальної науково-прикладної задачі, відповідає спеціальності 131 – «Прикладна механіка», а її автор Шамрай Віталій Борисович 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.

Науковий керівник запропонувала затвердити позитивний висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів зазначеної дисертації та рекомендувати її до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – «Механічна інженерія», за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка».

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

Корнієнко А.О., к.т.н., старший науковий співробітник, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ: ознайомився з дисертаційною роботою, наголосив, що робота виконана відповідно до вимог. Зазначив, що обрано перспективний метод нанесення композиційних покриттів для деталей

сільськогосподарської техніки. Актуальність, наукова новизна, публікації вказують на високий рівень досліджень. Рекомендація доповідачу: необхідно внести незначні зміни на слайдах для подальшого представлення роботи в разовій спеціалізованій вченій раді. Рецензент підтримав роботу та зазначив, що її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії.

Хімко А.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден КАІ: підтримав роботу та зазначив необхідність доопрацювання доповіді та слайдів на захист з урахуванням озвучених зауважень. Загалом дисертаційна робота є завершеною, актуальною та відповідає вимогам 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.

В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

Кіндрачук М.В., член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор, професор кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Професор **Кіндрачук М.В.** відмітив, що тема вибрана вдало та є актуальною. На тему електроіскрового легування є багато публікацій, тема привертає увагу та перспективністю використання композиційних покриттів. Перевагою роботи є те, що зносостійкі покриття запропоновані для сільського господарства, а метод електроіскрового легування для цієї галузі особливо актуальний за економічними показниками та параметрами мобільності перенесення обладнання. Наукова новизна та обсяг публікацій вказують на високий рівень дослідження. Я підтримую цю роботу та вважаю, що її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії.

Мнацаканов Р.Г., д.т.н., професор, професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден КАІ.

Професор Мнацаканов Р.Г. відмітив, що робота виконана на високому рівні, має практичне спрямування, зносостійкі покриття композиційних матеріалів використовуються для зміцнення поверхні сталі робочих органів деталей сільськогосподарської техніки. Результати роботи висвітлені в публікаціях, на конференціях. Робота повністю відповідає вимогам до дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора філософії. На мою думку, треба підтримати представлену сьогодні роботу.

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

Професор Носко П.Л. зазначив, що робота завершена, всі поставлені в роботі завдання вирішені аспірантом в повному обсязі. В роботі піднімаються питання матеріалознавства, галузевого машинобудування. В роботі чітко сформульовані наукова новизна та представлено практичне значення. 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 Шамрая Віталія Борисовича на тему «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

1. Обґрунтування вибору теми дослідження. Втрата працездатності деталей і робочих органів сільськогосподарських машин зв'язана з абразивним зносом, який складає 20%. В якості матеріалу для нанесення зносостійких покриттів використовують композиційні матеріали з металевою матрицею, яка сумісно з армуючим наповнювачем рівномірно розподіляє напруження, забезпечує несучу здатність композиту і захищає наповнювач від механічних ушкоджень і окислення. Наповнювачами в композиційних матеріалах служать дисперсні частинки тугоплавких фаз – оксидів і карбідів, основною функцією яких є зміцнення. Абразивна зносостійкість композиційних матеріалів залежить від їх складу. Високою абразивною зносостійкістю володіють матеріали й покриття з мартенситно-аустенітною матрицею, зміцнені карбідною фазою.

Для підвищення триботехнічних властивостей використовуються різні методи нанесення композиційних покриттів: наплавленням, газотермічним напиленням, електроіскровим легуванням, а також різні комбіновані методи. Процес електроіскрового легування, який забезпечує формування покриттів дискретних по своїй природі, дозволяє формувати зносостійкі композиційні покриття різної суцільності на основі карбідів, оксидів, боридів, самофлюсуючих сплавів. Покриття, отримані електроіскровим легуванням, утворюють поверхні, які дозволяють значно підвищити несучу здатність пар тертя, зносостійкість деталей і трибосполучень, стабільність їх триботехнічних характеристик.

До нинішнього часу формування композиційних покриттів методом електроіскрового легування є однією з невирішених задач в проблемі підвищення зносостійкості робочих органів і триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин. Відновлення, зміцнення, підвищення триботехнічних властивостей та строку експлуатації деталей сільськогосподарських машин є важливим резервом розвитку сільськогосподарського машинобудування та ремонтного виробництва, підвищення його ефективності. Використання зміцнених і відновлених деталей дозволить знизити витрати ремонтних підприємств на запасні частини, зберегти велику кількість металу.

Тому підвищення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів методом електроіскрового легування є актуальним завданням, вирішення якого забезпечить строк служби зміцнених і відновлених деталей, що не поступиться строку служби нових деталей та допоможе зробити сільськогосподарське та ремонтне виробництво рентабельним.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота проводилася в межах науково-дослідної роботи (НДР) кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Національного авіаційного університету: «Підвищення довговічності та забезпечення міцності елементів конструкцій авіаційної техніки» (ДР 0125U001009) № 16-2022/ 07.01.01, де автором запропоновано склад композиційних матеріалів; надано характеристику способам створення композиційних покриттів і методам їх дослідження; досліджено триботехнічні властивості поверхонь експериментальних зразків із електроіскровими композиційними покриттями; проведено моделювання поверхонь деталей з композиційними покриттями а також здійснено оцінку напружено-деформованого стану поверхонь із композиційними електроіскровими покриттями та визначено оптимальні параметри покриття.

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 1.3.4).

3. Мета і завдання дослідження. *Метою* дисертаційного дослідження є теоретичне обґрунтування і експериментальне дослідження процесу підвищення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів методом електроіскрового легування.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі *завдання*:

- проаналізувати умови експлуатації сільськогосподарських машин і довговічність їх деталей і робочих органів залежно від їх зносостійкості та корозійної стійкості;
- обґрунтувати, що нанесення зносостійких покриттів із композиційних матеріалів є найбільш раціональним і економічно доцільним вирішенням проблеми підвищення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин;
- довести доцільність формування композиційних покриттів методом електроіскрового легування, сформулювати його особливості, переваги та потенційні можливості;
- проаналізувати напружений стан між композиційним покриттям і поверхнею деталі та в самій деталі моделюванням напружено-деформованого стану та визначити оптимальні значення товщини та суцільності покриття;
- визначити вплив режимів процесу електроіскрового легування на параметри і властивості покриттів;
- дослідити триботехнічні характеристики поверхонь з композиційними покриттями в залежності від режимів процесу електроіскрового легування;
- встановити залежність триботехнічних властивостей композиційних покриттів, сформованих методом електроіскрового легуванням, від їх товщини їх суцільності;
- показати доцільність використання композиційних електроіскрових покриттів для підвищення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин.

4. Об'єкт дослідження - процеси тертя та зношування композиційних покриттів, сформованих методом електроіскрового легування.

5. Предмет дослідження - закономірності зміни триботехнічних властивостей електроіскрових композиційних покриттів залежно від їх суцільності та товщини.

6. Методи дослідження. Запропонована загальна схема досліджень у вигляді сукупності методів і методик теоретичних і експериментальних досліджень напружено-деформованого стану, фізико-механічних і експлуатаційних властивостей поверхонь деталей з композиційними покриттями.

Для проведення досліджень використовували установку "Елітрон-22" для електроіскрового легування. В якості матеріалу композиційних покриттів використовували карбід вольфраму ВК8 (WC – 8%Co), композиційний матеріал КХН-25 (тип Cr-Ni-C), сплав Х20Н80 (Ni-Cr 80/20).

Для дослідження мікроструктури покриттів, отриманих методом ЕІЛ використовували фізичні методи досліджень: оптичну металографію, рентгеноструктурний і мікрорентгеноспектральний аналіз.

Для моделювання напружено-деформованого стану поверхонь деталей з композиційними покриттями використовували метод скінчених елементів.

Триботехнічні характеристики (інтенсивність зношуванні та коефіцієнт тертя) досліджували на машині 2070 СМТ-1 з їх реєструванням за допомогою програмно-технічного комплексу.

7. Наукова новизна дослідження базується на таких основних положеннях:

уперше:

- встановлено підвищення зносостійкості та антифрикційних властивостей несучільних електроіскрових композиційних покриттів внаслідок збільшення частки компоненту матриці (нікелю) в структурі композиційного матеріалу, що забезпечує ефективний розподіл контактного навантаження на локальних ділянках та високу демпфуючу здатність в приповерхневих шарах контактних поверхонь;

- визначено закономірності зменшення зносу несучільних електроіскрових композиційних покриттів в абразивному середовищі, які полягають в зменшенні інтенсивності механо-деструкційних процесів в поверхневих шарах металу при терті за рахунок формування покриттів з високою мікротвердістю та зниженні дотичного опору зсуву при втіленні твердої абразивної частки залежно від типу матриці композиційних матеріалів;

- доведено, на основі аналізу НДС, що максимальне зниження дотичних та еквівалентних напружень несучільних електроіскрових покриттів проявляється для суцільності покриття 60...80 %; максимальні еквівалентні напруження формуються в покритті, що знижує напружено-деформований стан основи; оптимальне співвідношення товщини та суцільності покриттів дає можливість мінімізувати їх когезійне розтріскування та адгезійне відшарування.

удосконалено:

– методику оцінки напружено-деформованого стану деталей сільськогосподарських машин із композиційними електроіскровими покриттями та визначення їх оптимальних параметрів шляхом побудови скінченно-елементної моделі поверхні деталі з композиційним покриттям із розподілом еквівалентних напружень по Мізесу.

отримало подальший розвиток:

– дослідження триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом нанесення електроіскрових композиційних покриттів із оптимальними значеннями їх товщини та суцільності.

8. Теоретичне значення роботи полягає у визначенні ступеню дискретності композиційних покриттів та їх оптимальної товщини для зміцнення поверхневих шарів деталей сільськогосподарської техніки.

9. Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження.

1. Дослідно-експериментальні та експлуатаційні випробування ножів із ЕПП покриттям довели, що за рахунок підвищення зносостійкості ножів збільшилась ефективність подрібнення зернових культур. Експлуатаційні випробування відновлених деталей валів муфти зчеплення та розподільного валу трактора композиційними покриттями показали підвищення їх триботехнічних властивостей та строку експлуатації в 2...2,5 рази, що представляє практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств (акт про використання результатів наукових досліджень від 05.10.2024, «Агробудавтосервіс» (м. Кропивницький).

2. Результати дисертаційного дослідження впроваджені в навчальний процес: у процесі підготовки курсів лекцій та практичних занять із дисциплін «Інженерія поверхні» та «Технології конструкційних матеріалів», де розглянуто сучасні порошкові зносостійкі композиційні матеріали та метод електроіскрового легування для зміцнення контактних поверхонь; результати роботи використано при підготовці тематик кваліфікаційних робіт (акт про впровадження в навчальний процес від 07.03.2025).

10. Особистий внесок здобувача. Дисертація «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів» Шамрая Віталія Борисовича є самостійною науковою працею, в якій наведено теоретичні положення, результати експериментальних досліджень, висновки, власні ідеї та розробки автора, які дали змогу досягти мети роботи і вирішити поставлені завдання. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені дисертантом особисто.

11. Апробація результатів дослідження. Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях: «Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика» (Одеса, 2023); «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем» (Кропивницький, 2022); «Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті» (Київ, 2023, 2025).

12. Публікації. Основні положення та результати дослідження викладено

у 8 наукових працях, у тому числі: 4 статті у наукових фахових виданнях України; 4 праці апробаційного характеру.

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Мікосянчик О.О., Шамрай В.Б. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями. *Проблеми тертя та зношування*. 2022. 4 (97). С. 44-49. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(97\).16958](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(97).16958)

Особистий внесок О. Мікосянчик: постановка завдання дослідження.

Особистий внесок В. Шамрая: проаналізовано способи нанесення композиційних покриттів, конструктивні особливості деталей, склад композиційних матеріалів,.

2. Шамрай В.Б., Мікосянчик О.О., Лопата Л.А., Голембієвський Г.Г., Горб Є.С. Композиційні матеріали для зносостійких покриттів деталей сільськогосподарських машин. *Проблеми тертя та зношування*. 2023. 1(98). С. 4-13. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(98\).17356](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(98).17356)

Особистий внесок В. Шамрая: проаналізовано ефективність застосування композиційних матеріалів з дисперсними частинками тугоплавких фаз, феросплавами, самофлюсуючих сплавів.

Особистий внесок О. Мікосянчик: формування напряму дослідження.

Особистий внесок Л. Лопати: визначено критерії сумісності при виборі компонентів композиційних матеріалів.

Особистий внесок Г. Голембієвського: підготовка експериментальної бази.

Особистий внесок Є. Горба: аналіз інформації стосовно хімічного складу компонентів композиційного покриття.

3. Шамрай В.Б., Мікосянчик О.О., Забойкіна Н.П. Зміцнення та підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин композиційними покриттями дискретної структури. *Проблеми тертя та зношування*. 2023. 4 (101). С. 60-72. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(101\).18080](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(101).18080)

Особистий внесок В. Шамрая: проведено оцінку впливу поверхонь робочих органів сільськогосподарських машин з покриттям дискретної структури, що має рельєф у вигляді півсфер, на руйнування та подрібнення зернової сировини.

Особистий внесок О. Мікосянчик: постановка задач дослідження.

Особистий внесок Н. Забойкіної: проведено теоретичне обґрунтування подрібнення зерна пшениці ріжучими та дроблячими елементами, що мають робочу поверхню з покриттям дискретної структури.

4. Шамрай В.Б., Калініченко В.І. Підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки покриттями дискретної структури. Технологічне забезпечення покриттів дискретної структури електроіскровим легуванням. *Проблеми тертя та зношування*. 2024. 2 (103). С. 146-157. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.2\(103\).18697](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(103).18697)

Особистий внесок В. Шамрая: проведено дослідження напружено-деформованого стану композиції «зміцнюєма поверхня - покриття».

Особистий внесок В. Калініченко: проаналізовано еквівалентні напруження суцільних покриттів.

5. Шамрай В.Б. Оцінка напружено-деформованого стану поверхонь із композиційними покриттями, сформованими методом електроіскрового легування. *Проблеми тертя та зношування*. 2025. 1 (106). С. 87-97.

[https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(106\).19836](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(106).19836)

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Мікосянчик О.О., Шамрай В.Б., Кулижський В.М., Бурлаченко О.М., Лопата В.Н. Підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарських машин. *Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: матеріали 21-ї Міжнародної науково-практичної конференції (06–10 вересня 2021 р., м. Одеса)*. 2023. Київ, АТМ України. С. 53-55.

<https://atmu.net.ua/downloads/archive/sb3-21s.pdf>

2. Мікосянчик О.А., Шамрай В.Б., Дудан О.В., Філоненко Д.В., Калініченко В.І., Кобзарь В.Л. Підвищення ефективності дроблення зерна шляхом використання ріжучих елементів робочих органів із зносостійкими покриттями дискретної структури. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем* (13-15 квітня, 2022 р., ЦНТУ, м. Кропивницький): матеріали IV–ї Міжнародної науково-практичної конференції (19-20 травня 2022 року, ЦНТУ, м. Кропивницький). Кропивницький: 2022. С. 59-64.

<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/>

https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u349/programa_konf._pnmo-2022_1.pdf

3. Шамрай В.Б., Калініченко В.І., Лопата Л.А. Розробка технології відновлення та зміцнення кільцевої канавки алюмінієвого поршня ДВЗ дискретними покриттями. *Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали 23-го Міжнародного науково-технічного семінару (15–16 березня 2023 р., Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ)*. Київ, АТМ України, 2023. С. 123-125.

<https://atmu.net.ua/downloads/archive/sb1-23.pdf>

4. Мікосянчик О.А., Шамрай В.Б. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарської техніки композиційними покриттями. *Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали 25-го Міжнародного науково-технічного семінару (25–26 березня 2025 р., Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ)*. Київ, АТМ України, 2025. С. 118-121.

13. Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 173 сторінки, в тому числі основного тексту - 120 сторінок. Список використаних джерел налічує 224 найменувань. Дисертація містить 23 таблиці, 53 рисунки та 4 додатки.

14. Характеристика особистості здобувача. Під час підготовки дисертаційної роботи Шамрай Віталій Борисович, проявив себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно на високому науково-методичному рівні вирішувати наукові та практичні завдання. 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.

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 КАІ.

Рецензенти:

Корнієнко Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ;

Хімко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден КАІ.

Офіційні опоненти:

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

Стороженко Марина Сергіївна, доктор технічних наук, доцент, завідувач відділу №40 міжнародних зв'язків та трансферу технологій в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України.

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

У результаті попередньої експертизи дисертації Шамрая Віталія Борисовича і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Шамрая Віталія Борисовича на тему, «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів».

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Шамрая Віталія Борисовича 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 «Поліпшення триботехнічних властивостей деталей сільськогосподарських машин шляхом формування композиційних покриттів», подану Шамраєм Віталієм Борисовичем на здобуття ступеня доктора філософії із галузі знань 13 «Механічна інженерія», за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Рекомендувати Вченій раді КАІ: затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Головою разової спеціалізованої вченої ради:

Носка Павла Леонідовича, доктора технічних наук, професора, професора кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ

Рецензентами:

Корнієнка Анатолія Олександровича, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника, доцента кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ;

Хімка Андрія Миколайовича, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден КАІ.

Офіційними опонентами:

Бабака Олега Петровича, кандидата технічних наук, доцента, доцента

кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства в Хмельницькому національному університеті;

Стороженко Марину Сергіївну, доктора технічних наук, доцента, завідувача відділу №40 міжнародних зв'язків та трансферу технологій Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України.

Результати голосування присутніх на засіданні докторів наук та кандидатів наук:

– всього: “за” – 16, “проти” – немає, “утрималося” – немає; в тому числі за профілем поданої на розгляд дисертації: “за” – 16, У тому числі 5 докторів наук та 11 кандидатів наук зі спеціальності.

Головуючий на засіданні:

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



Мирослав КІНДРАЧУК

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