

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Міланенка Олександра Анатолійовича**

**«Науково-прикладні засади підвищення ефективності мащення і зносостійкості вузлів тертя в екстремальних умовах роботи»** подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

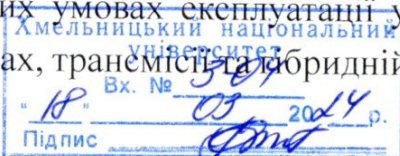
### **Актуальність теми та її зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

В роботі вирішується науково-технічна проблема реалізації стійкого мащення в умовах змішаного тертя та створення в зоні фрикційного контакту тертя модифікованих шарів з оптимальною мастильною здатністю та структурною пристосовуваністю до екстремальних умов роботи. Оскільки, змішане тертя переважно є нестійким режимом, то відповідні умови стимулюють характерні розриви мастильного шару, особливо, при експлуатації вузлів тертя з точковим або лінійним контактом при великих навантаженнях, які пов'язані з холодним заїданням для ДВЗ та пітінгом для підшипникових вузлів тертя.

Пропонується комплексне вирішення проблеми підвищення ефективності мащення та зносостійкості вузлів тертя із застосуванням повного циклу випробувань, починаючи з лабораторних, далі стендових випробувань в заводських умовах і, закінчуючи довготривалими експлуатаційними випробуваннями. Запропонований автором критеріальний підхід є актуальним, оскільки дозволяє підбирати форму контакту при мінімальному рівні контактних напружень в підповерхневій зоні контакту; підбирати оптимальний тип мастильного матеріалу до конкретного вузла тертя за реологічними властивостями.

Отже запропонований комплексний підхід щодо підвищення ефективності мащення та зносостійкості вузлів тертя є актуальним, оскільки отримані науково-обґрунтовані та прикладні результати є основою для розробки сучасних мастильних матеріалів, які працюють в екстремальних умовах експлуатації у транспортних засобах широкого застосування у двигунах, трансмісіях та гідравлічній техніці.

Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідної роботи Національного транспортного університету, де здобувач був співвиконавцем держбюджетних НДР (№ДЗ/508-2011 (0111U007602), №ДБ/13-2012 (0112U000139), №ДБ/19-2013 (0113U000296), №ДБ/34-2015 (0115U002289), №ДБ/45-2016 (0116U002634), №ДБ/51-2018 (0118U001107), №ДБ/56-2021



(0121U109607)). Здобувачем створено технології модифікування сумішей та олив з сучасними модифікаторами тертя, багатофункціональними присадками, розроблені методики оцінки мащення та зносостійкості вузлів тертя в нестаціонарних умовах роботи, модернізовані стенд оптико-інтерферометричних досліджень для підшипникових вузлів тертя та стенд тертя для проведення триботехнічних і реологічних досліджень.

### **Загальна характеристика дисертаційної роботи**

Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 464 сторінки. Дисертація містить 138 ілюстрацій, 43 таблиці. Список використаних джерел із 280 найменувань займає 31 сторінку. Додаток містить 36 сторінок.

**У вступі** наведені основні дані щодо актуальності роботи, її наукової новизни і практичної цінності. Визначено мету і задачі дисертаційної роботи, об'єкт, предмет і напрями досліджень, показано особистий внесок здобувача при виконанні роботи.

**У першому розділі** проведено обґрунтування актуальності і проблематики завдання, проведений літературний аналіз сучасного стану досліджень за темою дисертаційної роботи. Проаналізовані причини виникнення недостатнього мащення внаслідок нестаціонарності процесів тертя, аномальної реології мастильних середовищ та впливу температурного чиннику. Розглянуті механізми і особливості протікання мікро-ЕГД режиму мащення, коли товщина мастильного шару дорівнює висоті мікронерівностей контактних поверхонь. Запропоновані аспекти взаємозв'язку якісного та кількісного хімічного складу компонентів в мастильному матеріалі та термомеханічної стійкості в зоні фрикційного контакту. В результаті обґрунтований підхід щодо підвищення ефективності мащення і зносостійкості вузлів тертя, які працюють в екстремальних умовах роботи.

**У другому розділі** створено концепцію підвищення ефективності мащення та зносостійкості вузлів тертя, що працюють в екстремальних умовах роботи, проведене обґрунтування функціональних зв'язків між механічними властивостями контактних поверхонь тертя та фактичною форми контакту. Модернізовано стенд оптико-інтерферометричних досліджень зони контакту і товщини мастильного шару та стенд для дослідження тертя триботехнічних і реологічних досліджень для вузлів ДВЗ. Запропоновано методику оцінки механічної складової напружено-деформованого стану з урахуванням зміни фактичної форми контакту для підшипникових вузлів тертя. Досліджений вплив

елементного складу і концентрації компонентів в мастильних середовищах на протизношувальні, протизадирні та антифрикційні властивості. Обґрунтовані триботехнічні параметри швидкості, навантаження, матеріалів та форми контакту для побудови математичної моделі оцінки товщини мастильного шару та зносостійкості пар тертя.

**У третьому розділі** запропоновано підхід щодо модифікування фізико-хімічного складу мастильних середовищ для вузлів тертя, що працюють в екстремальних умовах роботи та проаналізовані аспекти трибологічних процесів, які протікають в мастильному шарі в зоні фрикційного контакту. Визначені трансцендентні параметри обчислення еліптичних інтегралів щодо уточнення розрахунку контактних напружень та деформацій в підповерхневій зоні контакту з урахуванням форми контакту. Розглянуто основні аспекти оцінки товщини мікро-ЕГД мастильного шару з урахуванням впливу шорсткості контактних поверхонь тертя. Встановлено взаємозв'язок якісного і кількісного хімічного складу компонентів в мастильних середовищах та режими зміни температур в зоні фрикційного контакту.

**У четвертому розділі** проведені дослідження впливу форми контакту та типу мастильних середовищ на підвищення ефективності мащення та зносостійкості підшипникових вузлів тертя, які працюють в екстремальних умовах роботи. Визначено роль впливу реології мастильних матеріалів для екстремальних умов роботи підшипникових вузлів тертя. Встановлені умови реалізації стійкого мікро-ЕГД режиму мащення для підшипникових вузлів тертя в пограничній зоні між рідинним та змішаним тертям, при якій починають порушуватись необхідні умови розриву мікро-ЕГД мастильного шару. Згідно методики підвищення ефективності мащення і зносостійкості пар тертя для підшипникових вузлів встановлено оптимальний фізико-хімічний склад суміші з модифікатором тертя сульфідної групи EP у визначеній концентрації за протизношувальними, протизадирними та антифрикційними властивостями модифікованих шарів.

**У п'ятому розділі** проведені експериментально-розрахункові дослідження вузлів ДВЗ в нестационарних умовах тертя при низькотемпературному запуску щодо підвищення ефективності мащення та зносостійкості. Для умов пластично-деформованого контакту запропоновано модифіковану моторно-трансмісійну оливу ПРОТЕК ЄМТ-8, яка забезпечує створення в зоні фрикційного контакту неконформних вузлів ДВЗ модифікованих шарів з оптимальною структурною. Досліджено закономірності процесів самоорганізації модифікованих шарів в умовах низькотемпературного запуску при застосуванні суміші

фулереноподібних структур  $C_{60}$ - $C_{70}$  (СФС). Встановлено взаємозв'язок між температурою в локальній зоні фрикційного контакту і об'ємною температурою модифікованої оливи в період припрацювання.

**У шостому розділі** побудовано математичні моделі напружено-деформованого стану з урахуванням фактичної форми контакту та проведена оцінка ефективності мащення і зносостійкості підшипникових вузлів тертя ДВЗ. Проведений порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень за плануванням експерименту здобувача і результатів розрахунків. Побудовано математичну модель оцінки мінімальної товщини і товщини мастильного шару в центральній зоні мікро-ЕГД точкового контакту з урахуванням зміни форми контакту та типу мастильного матеріалу. Запропоновано математичну модель оцінки ефективності мащення в зоні фрикційного контакту між верхнім компресійним кільцем та гільзою циліндру вузлів ДВЗ з урахуванням зміни ходу поршня та типу мастильного матеріалу. За результатами моделювання номограми оцінки ефективності мащення та інтенсивності зношування вузлів ДВЗ за класом в'язкості моторної оливи, кількості обертів та ходу поршню.

**У сьомому розділі** представлені результати розробки і впровадження модифікованих олив згідно прискорених і довготривалих стендових та експлуатаційних випробувань, які були проведені за результатами запропонованої концепції методології підвищення ефективності мащення та зносостійкості підшипникових вузлів тертя та вузлів ДВЗ, що працюють в екстремальних умовах роботи. Впроваджені у виробництво та пройшли прискорені і довготривалі випробування нові модифіковані оливи.

**У висновках** викладені найбільш вагомі наукові і практичні результати, одержані в дисертаційній роботі.

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна**

Достовірність отриманих результатів та висновків підтвержені порівнянням результатів теоретичних розрахунків з отриманими експериментальними даними. Висунуті у дисертації наукові положення та отримані висновки і рекомендації обґрунтовані у достатній мірі. Здобувачем застосовані сучасні методи та методики досліджень і обробки даних. Експериментальні випробування виконувались на основі теорії моделювання та математичного планування експерименту. Теоретичні дослідження виконані на підставі положень трибології, контактної міцності, хімотології і реології мастильних шарів, нестационарності процесів тертя. Обробка результатів

експериментально-розрахункових досліджень виконана із застосуванням інформаційних технологій з використанням методів рішення багатofакторних нелінійних задач множинної регресії та багаторядної селекції вибору оптимальних моделей.

До найбільш вагомих нових наукових результатів, отриманих дисертантом можна віднести наступні.

- Запропонована нова концепцію підвищення мастильної здатності та зносостійкості вузлів тертя в екстремальних умовах роботи на основі комплексних розрахунково-експериментальних досліджень.

- Побудовано математичну модель напружено-деформованого фрикційного контакту і удосконалені моделі формування мінімальної товщини мастильного шару в зоні мікро-ЕГД контакту підшипникових вузлів тертя на основі експериментально-розрахункових критеріїв.

- Обґрунтовано критеріальні підходи щодо ідентифікації перехідних зон від режиму рідинного до граничного тертя на основі комплексної оцінки модифікування складу мастильних середовищ для різних вузлів тертя в екстремальних умовах роботи.

- Запропоновані теоретичні засади еластогідродинамічного мащення стосовно впливу фактичної форми контакту на механічні властивості поверхонь тертя.

- Запропоновані фізико-хімічні основи змішаного тертя щодо режимів мащення в перехідній зоні: встановлені закономірності зміни товщини, реологічних компонентів модифікаторів тертя, протизношувальних і протизадирних присадок, органічних наномодифікаторів.

### **Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:**

Розроблені і впроваджені п'ять типів модифікованих олиव з поліпшеними триботехнічними властивостями, що пройшли стендові і експлуатаційні випробування. Запропоновані методики та технології підвищення ефективності мащення і зносостійкості вузлів для застосування в лабораторіях заводів-виробників мастильних матеріалів. Модернізовані стенд оптико-інтерферометричних досліджень та універсальний автоматизований стенд триботехнічних і реологічних досліджень для вузлів ДВЗ.

**Повнота викладення основних результатів дисертації у опублікованих наукових роботах**

За темою дисертації опубліковано 50 наукових праць, у тому числі: 7 статей у фахових виданнях, що внесені до наукометричної бази Scopus; 3 статті у іноземних спеціалізованих виданнях; 3 у монографіях; 16 статей у фахових спеціалізованих виданнях. Зазначена кількість та якість публікацій дають підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані у дисертації, повністю висвітлені у відповідності до вимог МОНУ, що висуваються до докторських дисертацій. Зміст реферату ідентичний за змістом із основними положеннями.

### **Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи**

1. В списку використаної літератури практично відсутні посилання на джерела закордонних дослідників за останні 5 років.

2. В роботі автор широко використовує термін «мікрогеометрія» під яким на практиці використовується відношення радіусів кривизни, що є термінологічно недостатньо обґрунтованим.

3. Для підшипникових трибосистем отриманій висновок про те, що для забезпечення підвищення товщини плівки на 33% при проковзуванні 15% необхідно збільшувати швидкість на 60%. Як це реалізувати для реальних вузлів тертя із заданими умовами експлуатації.

4. Розділ 4 присвячений підшипниковим вузлам з тертям кочення в екстремальних умовах. Тобто досліджуються неконформні спряження. Що приймалось за критерії екстремальності умов роботи для таких спряжень.

5. Не зовсім зрозуміло за якими критеріями оцінювалась структурна пристосованість модифікованих шарів до умов напрацювання.

6. Розділ 5 за назвою присвячений дослідженню зносостійкості вузлів тертя ДВЗ. Разом з цим випробування проводились за схемою «ролик-ролик» та як базова олія досліджувалось індустріальне масло І-40А. Яким чином такі умови випробувань співвідносяться до умов роботи вузлів тертя ДВЗ.

7. В підрозділі 5.3.3 проведені випробування за схемою ролик-колодка. Як кваліфікувалась екстремальність умов роботи спряжень з таким конформним видом фрикційного контакту.

8. На стор. 192 потребує уточнення термін «контактно-механічні властивості поверхонь тертя».

9. В роботі зустрічаються описки, орфографічні і стилістичні помилки.



### **Загальний висновок по роботі**

Дисертаційна робота Міланенка Олександра Анатолійовича «Науково-прикладні засади підвищення ефективності мащення і зносостійкості вузлів тертя в екстремальних умовах роботи» є завершеною науковою роботою, яка розв'язує важливу науково-прикладну проблему забезпечення стійкого мащення в режимах змішаного тертя на основі створення модифікованих шарів з оптимальною мастильною здатністю та структурною пристосовуваністю до екстремальних умов роботи.

Дисертаційна робота Міланенка О.А. відповідає паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах, не містить академічного плагіату та задовольняє вимогам, що висуваються до докторських дисертацій згідно пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року за №1197, а її автор, Міланенко Олександр Анатолійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету

Олександр ДИХА

Підпис завідувача кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Дихи О.В. засвідчую:

Учений секретар Хмельницького національного університету



Ольга ГОНЧАР

14 березня 2024 р.