

У спеціалізовану вчену раду Д 26.059.03
Національного транспортного університету

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора **Дихи Олександра Володимировича**, завідувача кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету, на дисертаційну роботу Глухонця Андрія Олексійовича на тему **«Еластогідродинамічні аспекти мащення в умовах локальних контактів тертя»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

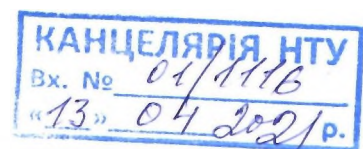
Дисертаційна робота Глухонця А.О. є науково-дослідною роботою, яка представлена у вигляді рукопису та містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел із 130 найменувань та додатки. Дисертаційна робота викладена на 178 сторінках машинописного тексту із 63 рисунками і 8 таблицями. Загальний обсяг роботи 196 сторінки.

Актуальність обраної теми досліджень та зв'язок її з науковими програмами

Еластогідродинамічне змащування відноситься до таких умов, при яких характер тертя і товщина плівки між двома поверхнями, що знаходяться у відносному русі, визначаються пружними властивостями матеріалу поверхні і реологічними властивостями мастильного матеріалу. Даний режим тертя і змащування притаманний багатьом сучасним трибосистемам, і перш за все, важко навантаженим елементам машин: шестерні, кулькові і роликові підшипники та інші. Забезпечити високі зносостійкі властивості таких вузлів тертя і, відповідно, довговічність можна лише науково обґрунтованим вибором мастильних матеріалів, характеристик поверхонь тертя, режиму експлуатації. Це в свою чергу потребує великого обсягу лабораторних і стендових експериментів, враховуючі складність процесів еластогідродинаміки. Враховуючи існуючі проблеми довговічності важко навантажених вузлів тертя з точковим контактом, такі дослідження є актуальними і необхідними для подовження ресурсу сучасних машин.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, відображено наукову новизну отриманих результатів, їхню практичну цінність. Наведено інформацію про апробацію результатів досліджень, а також зміст роботи та структуру дисертації, публікації, в яких відображено результати дисертаційного дослідження.



У **першому** розділі наведено аналіз відомих досліджень щодо впливу експлуатаційних факторів та триботехнічних процесів на довговічність трибомеханічних систем. Відзначено, що на даний момент процесам еластогідродинамічного тертя приділяється багато уваги як закордонними так і вітчизняними вченими. Разом з цим такі дослідження практично не проводились в умовах тертя кочення.

Встановлено, що у більшості теоретичних робіт з дослідження властивостей ЕГД змащувального шару прийняте припущення про нульову шорсткість, що не відповідає реальним умовам, оскільки величина шорсткості може бути співрозмірна з параметрами еластогідродинамічної плівки. Звернуто також увагу на неврахування в існуючих дослідженнях режиму подачі й розподіл оливи в межах контакту, що може призвести до локального мастильного голодування.

На основі проведеного аналізу літературних джерел визначені мета і задачі дослідження.

У **другому** розділі викладені методичні підходи до теоретичних і експериментальних досліджень. Описані методики використання трибометра CSM Instruments SA, що дало можливість отримати експериментальні результати з наближенням до реальних умов роботи трибомеханічних систем. Для вимірювання товщини мастильного шару в широкому діапазоні режимів роботи вузла тертя використаний модернізований робочий стенд для визначення товщини мастильного шару інтерферометричним методом.

Використання методу оптичної інтерферометрії для визначення товщини мастильного шару в локальному контакті тертя дало можливість диференціювати змащувальні матеріали за їх реологічними ознаками, а також встановити залежність процесу формування товщини мастильного шару від впливу визначальних факторів: швидкість кочення та кочення з проковзуванням, навантаження в контакті, температура змащувального матеріалу та фізико-хімічний склад досліджуваного мастильного матеріалу.

У **третьому** розділі представлені експериментальні дослідження триботехнічних характеристик мастильних матеріалів в умовах рясного мащення. Для комплексного підвищення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів використані модифікатори тертя та досліджені їх протизношувальні та антифрикційні властивості в складі базових олив. Для шести типів мастильних матеріалів проведені експериментальні дослідження залежності товщини мастильного шару та характеристики режиму змащування від швидкості кочення в контакті. Для всіх типів мастил встановлені характерні залежності збільшення товщини мастильної плівки із зростанням швидкості кочення з переходом від граничного до гідродинамічного режиму змащування. Для забезпечення проковзування між контактуючими поверхнями пар тертя було здійснено зміщення зони контакту шарика з диском від центру обертання. З отриманих експериментальних даних в умовах кочення з проковзуванням встановлені умови для зменшення початкової швидкості кочення зі встановленням граничного режиму мащення при використанні мастильних матеріалів, які містять ПАР.

За результатами виконаних експериментальних досліджень встановлені загальні закономірності кінетики зміни реологічних характеристик олив різного призначення, які свідчать про надбання олівами неньютонівських властивостей в контакті при початковому формуванні товщини мастильного шару та відновлення неньютонівських властивостей по мірі підвищення градієнту швидкості зсуву.

Досліджена залежність коефіцієнта тертя та напружень зсуву мастильного шару при зростанні навантаження для різних олив, що досліджувалися.

У **четвертому** розділі представлені результати досліджень в умовах обмеженого мащення на динаміку процесу формування товщини мастильного шару в зоні контакту для різних марок олив. Встановлено, що перехід від рясного до обмеженого режиму мащення призводить до запізнення у формуванні товщини мастильного шару для всіх мастильних матеріалів. Отримано, що зростання градієнту швидкості обумовлює активацію та поляризацію молекул олив під дією твердої фази поверхонь та концентрація активованих молекул зростає. Зафіксовано, що в при зміні режиму мащення до обмеженого мастильні матеріали в початковий період характеризуються надбанням неньютонівських властивостей в контакті.

Створена аналітична модель ефективності мащення, що дає змогу визначити ступінь впливу експлуатаційних чинників, і як наслідок, можливість прогнозувати довговічність неконформних вузлів тертя з точковою формою контакту. Для отримання аналітичних моделей використано методи кореляційного і регресійного аналізу.

Висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі одержаних результатів. Вони наведені в кінці кожного розділу і в узагальненому вигляді в заключній частині дисертації.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Висунуті у дисертації наукові положення та отримані висновки і рекомендації у достатній мірі обґрунтовані.

Достовірність теоретичних положень дисертації ґрунтується на застосуванні сучасних положень трибології, теорії еластогідродинамічного тертя і мащення, фізики рідин і твердих тіл, інженерії поверхні та матеріалознавства, методах фізичного, математичного та чисельного моделювання. Для побудови аналітичних моделей використовувалися результати пасивного експерименту.

При проведенні експериментальних досліджень для визначення товщини мастильного шару використаний метод оптичної інтерферометрії.

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

1. Встановлено, що формування товщини мастильного шару в умовах чистого кочення залежить як від в'язкості мастильного матеріалу так і від

типу контактних поверхонь, а в умовах кочення з проковзуванням формування мастильної плівки залежить від стійкості компонентів оливи до градієнту швидкості зсуву.

2. Доведено що в при зміні режиму мащення до обмеженого мастильні матеріали в початковий період характеризуються надбанням неньютонівських властивостей в контакті, що не враховується еластогідродинамічною теорією мащення, про що свідчить залежність в'язкості від градієнту швидкості зсуву в шарі мастила.

3. Встановлена реверсія градієнту швидкості зсуву із збільшенням навантаження, що обумовлено запізненням відновлення ньютонівських характеристик олив, внаслідок активації деструкційних процесів в умовах формування товщини мастильного шару.

4. Встановлено, що формування шару мастила в контакті інтенсифікується при зростанні швидкості кочення, викликає локалізацію дотичних напружень зсуву в об'ємі мастильного шару матеріалу та призводить до підвищення антифрикційних властивостей.

5. Створена аналітична модель ефективності мащення, яка дає змогу визначити ступінь впливу експлуатаційних чинників і прогнозувати довговічність неконформних вузлів тертя.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

Розроблені методики прогнозування довговічності вузлів тертя з точковою формою контакту та критерії оцінки ефективності мащення для визначення впливу експлуатаційних чинників і прогнозування довговічності неконформних трибосистем.

Результати досліджень використані у ТОВ «КСМ Протек» при виготовленні та оптимізації структурного складу мастильних матеріалів та і КП «Київпастрас» Автобусний парк №6 при прогнозуванні технічного обслуговування техніки, про що свідчать відповідні акти.

Повнота викладу основних результатів дисертації

За темою дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, у тому числі 2 статті у журналах індексованих у міжнародній наукометричній базі Scopus, 2 статті у фахових виданнях переліку МОН України, одна стаття у закордонному виданні. Результати роботи доповідалися і пройшли апробацію на 6 наукових конференціях. Вимоги положень ДАК МОН України щодо наукових публікацій витримано.

Зауваження по роботі.

1. Огляд літератури проведений на застарілих джерелах. Зі 130 посилань біля 100 посилань мають давність 20 і більше років. Більше уваги потрібно

було звернути на сучасні вітчизняні і зарубіжні дослідження з проблем змащування трибосистем.

2. На рис. 2.7 для контакту кульки і площини мінімальна товщина мастильного шару буде мати місце не на виході з контакту, як вказано на рисунку, а в центрі контакту. По мірі віддалення від центру мастильний шар буде зростати до максимального значення.

3. В табл. 2.1 тарувальні значення оптичної і дійсної товщини мастильної плівки практично для всього кольорового діапазону і наведених типів олив різняться в середньому на 20-50%. Але після 3-го жовтого кольору для червоного і зеленого ця різниця зростає майже у 6-8 разів, чим це можна пояснити?

4. На рис. 3.1 та 3.2 показані залежність об'ємного зносу від пробігу, але розмірність зносу вказана в мкм. Крім того крива зносу для оливи I-40A без присадок на графіку має найнижче розташування, тобто в області найменшого зносу, а у висновках до цих досліджень вказано протилежне, що для такої оливи знос найбільший. Також у висновках вказано про кращі зносостійкі властивості оливи з беззольною присадкою, що не містить цинк, а на графіках вона займає очевидне проміжне положення серед інших олив.

5. Дотичні напруження в контакті визначались за моментом опору тертя (формула 3.5), але методики визначення моменту тертя та їх значень в роботі не наведено, та враховуючи, що момент опору тертя в свою чергу також залежить від швидкості кочення-ковзання, отримані розрахунково-експериментальні результати щодо впливу сумарної швидкості на ефективну в'язкість потребують уточнення.

6. Параметр режиму мащення λ це фактично відносна товщина мастильного шару. Тому залежності для цих величин, показані на рис. (3.5 та 3.6), (3.7 та 3.8), (4.1 та 4.2), (4.3 та 4.4) повторюються в певному масштабі, відповідно не було необхідності у їх дублювання для опису наведених залежностей.

7. Більше уваги потрібно було звернути на вплив пружно-пластичних характеристик конструкційних матеріалів на умови еластогідродинамічного мащення, в роботі обмежились лише еталонними матеріалами сталь-скло.

8. В роботі проведений великий обсяг експериментальних досліджень щодо впливу різних факторів та характеристик трибосистеми на умови еластогідродинамічного тертя для неконформних спряжень з локальним контактом. За результатами цих досліджень необхідно було визначити конкретний інженерний алгоритм, практичні рекомендації та критерії вибору і застосування олив та функціональних присадок для застосування у підшипниках, зубчастих передачах, кулачкових механізмах, тощо.

Разом з цим, вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота «Еластогідродинамічні аспекти мащення в умовах локальних контактів тертя» присвячена вирішенню важливої науково-

технічної задачі подовження ресурсу роботи трибосистем з локальною формою контакту та підвищення зносостійких характеристик шляхом оптимального підбору мастильних матеріалів та дослідження динаміки формування змащувальної плівки при еластогідродинамічному змащуванні.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні і є завершеною щодо поставлених завдань. Її нові теоретичні і практичні результати є актуальними, науково обґрунтованими та достовірними. Оформлення, стиль і мова викладення роботи відповідають встановленим вимогам. Зміст автореферату відповідає основним положенням і змісту дисертації.

У цілому робота відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно з пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор Глухонець Андрій Олексійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 - тертя та зношування в машинах.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,

завідувач трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету

ДИХА О.В.

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

Проректор з наукової роботи Хмельницького національного університету

СИНЮК О.М.

9 квітня 2021 р.

