ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри транспортних технологій і судноремонту Херсонської державної морської академії Савчука Володимира Петровича на дисертаційну роботу Кривого Марка Олександровича «Вдосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу із врахуванням неньютонівської поведінки мастил», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – Транспорт)

Актуальність теми

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв’язання науково-прикладного завдання – вдосконалення моніторингу та діагностування підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу.

Головною мотивацією досліджень є сьогоденна наявність наступних запитів практики:

- вдосконалення моніторингу суднового пропульсивного комплексу відповідно до вимог «Міжнародного кодексу по управлінню безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню»;
- зниження рівня аварійності на морському транспорті;
- зменшення експлуатаційних витрат суден;
- виконання вимог класифікаційних товариств щодо технічного стану суднового пропульсивного комплексу.

Їх виникнення обумовлено наступними фактами та явищами:

– морський та внутрішній водний транспорт займає домінуюче становище у світовій торгівлі протягом останніх ста років, забезпечення його роботи неможливо без підтримки функціонального стану суднового пропульсивного комплексу та систем, що забезпечують його надійну та безаварійну роботу;

– першочергову роль у забезпеченні функціонування та експлуатаційної надійності суднового пропульсивного комплексу відіграють процеси мащення, які здійснюються в підшипникових вузлах кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів суднових дизелів і суднових валопроводів; навіть короткочасне порушення режимів мащення між вказаними елементами призводить до збільшення механічних втрат, підвищення динамічних та температурних навантажень та може стати причиною аварійної роботи пропульсивного комплексу судна.

Тому завдання, яке висвітлено здобувачем в дисертаційній роботі, є **актуальним**, постійно вимагає вивчення, вдосконалення та потребує свого подальшого розвитку.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові результати, що отримані в дисертаційному дослідженні є достовірними, оскільки вони:

– враховують результати проведеного аналізу літературних джерел із розв’язання завдання забезпечення процесів моніторингу роботи підшипників ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу з урахуванням сучасної теорії трибологічних процесів та поведінки олив в підшипниках ковзання (при цьому розглянути різні основні підходи і методи проведення моніторингу і діагностики роботи підшипників ковзання, а саме: за зовнішніми показниками; за станом відпрацьованих олив; за енергетичними втратами);

– базуються на системному підході до проведення наукового дослідження (за результатами якого визначені предмет та об’єкт дослідження, висунута наукова гіпотеза, сформульовані допоміжні та головне завдання дослідження, отримані наукові результати, проведені експериментальні дослідження, визначені наукова значимість та практична цінність, сформульовано наукове положення);

– характеризуються збігом результатів, що визначені під час математичного моделювання та випробувань, що виконані в системах циркуляційного змащування головного і допоміжного суднових двигунів.

Основні результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на міжнародних наукових, науково-технічних, та науково-практичних конференціях, що були організовані та проведені в провідних вишах України, які забезпечують підготовку докторів філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт, а саме, в Національному університеті «Одеська морська академія», Одеському національному морському університеті, Херсонській державній морській академії.

Здобувачем коректно застосовано, обґрунтовано та доведено достовірність наукових результатів, наукового положення, висновків та практичних рекомендацій, які сформульовані та отримані під час проведення дисертаційного дослідження.

Наукове положення обґрунтовано науковими результатами, при чому **вперше:**

– отримано нові математичні моделі для визначення границь робочої зони і інтегральних характеристик підшипників ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу;

– запропоновано критерії моніторингу стану олив, що використовуються в системах змащування суднового пропульсивного комплексу, які враховують в’язкістні характеристики мастил, і дозволяють визначити мінімально і максимально можливі критичні значення динамічної в’язкості олив в процесі експлуатації суднових двигунів;

– встановлено вплив характеристик моторних олив на інтегральні характеристики підшипників ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу.

Удосконалено:

– технологію проведення моніторингу роботи підшипників ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу;

– методику розв’язання граничних задач для рівняння Рейнольдса для робочої зони підшипника ковзання суднового пропульсивного комплексу;

– спосіб визначення інтегральних характеристик підшипника ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу

– методику визначення кутів початку і кінця робочої зони і кута максимального тиску в підшипниках ковзання суднового пропульсивного комплексу.

Отримала подальший розвиток:

– методика визначення числа Зоммерфельда для визначення гідродинамічного режиму тертя в підшипниках ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу;

– методика вимірювання градієнту в’язкості моторних олив, що використовуються в системах змащування підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу.

Враховуючи змістову складову дисертації, вважаю достатньо обґрунтованими основні наукові результати, які полягають в доведеної та практично підтвердженої тезі, що вдосконалення процесу моніторингу роботи підшипників ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу досягається шляхом врахування неньютонівської поведінки олив, а саме градієнту в’язкості оливи, а також коефіцієнтів, за допомогою яких визначаються навантаженість підшипників ковзання, опір обертанню, та умови забезпечення гідродинамічного режиму мащення. Показано, що вказані параметри можуть бути визначені в процесі експлуатації суднового пропульсивного комплексу.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

– забезпечення вдосконалення процесу моніторингу роботи підшипників ковзання елементів суднового пропульсивного комплексу за рахунок періодичного визначення градієнту в’язкості і коефіцієнту впливу і

перевірки виконання отриманих критеріїв – сприяє підвищенню експлуатаційної надійності пропульсивного комплексу;

– запропонована методика моніторингу та діагностування підшипників ковзання може бути використана як для підшипникових вузлів суднових дизелів, так і сильно навантажених підшипників ковзання суднового валопроводу.

Реалізація запропонованих рішень впроваджена на морських суднах різного дедвейту. Достовірність цього підтверджена актами впровадження.

Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових виданнях

Результати досліджень у повному обсязі висвітлено у 21 наукових працях, що були опубліковані в 2017-2025 рр., з них:

– 8 (2 без співавторів) в наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії, всі статті з активним ідентифікатором DOI;

– 3 в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science;

– 10 (5 без співавторів) в збірках матеріалів міжнародних наукових конференцій.

Наукові праці Кривого М.О. відповідають вимогам, що вказані в п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії … », який затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Відсутність порушення академічної доброчесності

Текст рукопису дисертації перевірено за допомогою інтернет-сервісу https://progaonline.com/antiplagiat. на основі відкритих інтернет-ресурсів.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на наявність ознак академічного плагіату встановлена відсутність порушення академічної доброчесності.

Структура й обсяг дисертації. Відповідність дисертації та її змісту встановленим вимогам

Дисертація складається з анотації (українською та англійською мовами), списку прийнятих скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 276 сторінок: 251 сторінка основного тексту з анотацією на 18 сторінках, перелік використаних джерел із 156 найменувань на 21 сторінці, додаток на 3 сторінках, 128 рисунків, 50 таблиць.

Дисертаційна роботи є завершеним та цілісним дослідженням з чіткою структурою, логічним та послідовним викладанням матеріалу та результатів. Зміст дисертації узагальнює дослідження здобувача. Дисертацію написано сучасною науково-технічною мовою. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність її сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам пп. 6, 7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії … », затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Зауваження

1. В роботі автор використовує термінологію, що не є властивою для галузі. Зокрема це терміни та скорочення «суднового тихохідного двигуна» с. 36, ДВС с. 36, 37, «ненормальний зазор» с. 39, «низькообертових суднових двигунів» с. 42, «кривошипношатунний підшипник» с. 42, «підшипник рами» с. 42, «великого дизельного двигуна» с. 46, «абразивного тертя» с. 48, «низькообертових підшипників ковзання» с. 52, «середньошвидкісного чотиритактного дизеля» с. 60, «колінвал» с. 68, 110, «високооборотних

двигунів» с. 98, «механічний знос» с. 230. Застосовується термін «масло» замість «олива», що регламентується ДСТУ 9032:2020 «Нафтопродукти. Оливи моторні. Загальні технічні вимоги». В розділі 3.2 описані режими роботи пар ковзання не відповідають ДСТУ 2823-94. «Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення». Автор використовує такі терміни, як «сухе тертя, граничне тертя-ковзання, рідинне тертя ковзання» та ін., де повинно використовуватись терміни «тертя без мастильного матеріалу, граничне мащення, рідинне мащення» відповідно. Дана термінологія застосовується також в наступних розділах.

2. Рисунки 3.1, 3.2, 4.1 не містять посилань на першоджерело.

3. На рис. 3.4 не наводиться пояснення підпису застосованого числа Зоммерфельда S_0 по горизонтальній осі, хоча автор в тексті описує його як число Герсі G_f.

4. Нумерація рисунку на с. 107 не відповідає наскрізній нумерації в розділі.

5. З тексту роботи не є зрозумілим, яким чином розраховується критичне значення числа Герсі G_{f0} у виразі (3.14).

6. Автором не обґрунтована заміна показника значення середнього (питомого) тиску на підшипник p_{sr} на показник максимального тиску p_{max} у виразі (3.18), адже прийнята заміна призведе до перевищення критичного значення кінематичної в’язкості оливи в підшипнику.

7. Наведені розрахунки витрати оливи в підшипниках ковзання за виразом (3.26) очевидно можна застосовувати тільки для стаціонарно навантажених вузлів.

8. При визначенні розподілу зсувних напружень в мастильному шарі (п. 4.2.2) не достатньо повно враховано властивості неньютонівських олив, наприклад нелінійна залежність в’язкості від швидкості зсуву та зазору.

9. У виразах (4.25), (4.26) та (4.28) введено показник ψ, що не має пояснення в тексті роботи.

10. В підрозділі 6.4.2 наведено період заміни системної оливи малообертового дизеля Hyundai-MAN B&W 6S50MC-C7 1100…1500 год, що відповідає рекомендованим періодам відбору для проведення аналізу береговими лабораторіями (CIMAC Guideline: Used engine oil analysis (02/2023)).

11. В підрозділі 6.4.3 автором виконувались дослідження зміни значень кінематичної та динамічної в'язкості при атмосферному тиску та температурах 50 ℃ та 70 ℃, хоча характеристики моторних олив виробники надають при температурах 40 ℃ та 100 ℃.

12. Запропоновані в дисертації критерії побудовані в припущеннях квазістаціонарного температурного режиму, оскільки не врахована зміна температури оливи в навантаженій зоні підшипників. Тому необхідні додаткові пояснення, як це вливає на застосування критеріїв.

13. При побудові критеріїв моніторингу роботи підшипників ковзання в підрозділах 6.1 і 6.2, пропонуються уточнені критерії, за рахунок введення додаткових множників. При цьому не надано додаткових пояснень, що вони враховують і як вони можуть бути визначенні.

Наведені зауваження не носять принципового характеру і не впливають на загальне позитивне враження про роботу.

Висновки

1. Представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – Транспорт) дисертаційна робота Кривого Марка Олександровича «Вдосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу із врахуванням неньютонівської поведінки мастил» є цілісною завершеною науковою працею, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують актуальне науково-прикладне завдання, мають наукову новизну і практичне значення,

характеризуються науковою обґрунтованістю, свідчать про виконання поставленого наукового завдання.

2. Дослідження містить нові, не захищені раніше, науково-обґрунтовані результати та висновки, що мають суттєве значення для забезпечення процесу підтримання експлуатаційних характеристик дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту

3. Дисертаційна робота Кривого Марка Олександровича «Вдосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу із врахуванням неньютонівської поведінки мастил» відповідає вимогам МОН України до кваліфікаційних наукових праць, а саме наказу МОН України № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 р. (зі змінами, внесеними згідно Наказу МОН України № 759 від 31.05.2019 р.) та «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 р. № 44.

4. Вважаю, що Кривий Марк Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – Транспорт).

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, доцент, доцент
кафедри транспортних технологій і
судноремонту Херсонської державної
морської академії Володимир САВЧУК