

## **РЕЦЕНЗІЯ**

кандидата технічних наук, доцента, завідувача кафедри інженерної механіки і судноремонту Національного університету «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України Богача Валентина Михайловича 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). Дисертацію виконано в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Морський та внутрішній водний транспорт є невід’ємною складовою транспортної інфраструктури багатьох країн, що поєднані між собою океанськими та морськими водними шляхами.

Під час експлуатації морських суден (як й будь-якого засобу транспорту) власник (державний, колективний або приватний) отримує прибуток, який залежить від великої кількості чинників, одним із яких є зміни стану та характеристик (на жаль, у негативній бік) суднового пропульсивного комплексу, що поступово призводить до виникнення аварійних ситуацій. Основним та найбільш поширеним і динамічно навантаженими вузлами суднового пропульсивного комплексу є підшипники ковзання, які присутні в головному двигуні та у судновому валопроводі. Надійність роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу забезпечується системою мащення. Відхилення в роботі системи мащення, а також порушення режимів мащення підшипників ковзання, що забезпечується цією системою, може призвести до підвищення динамічних та теплових навантажень в підшипниках руху (рамовому, мотильовому, крейцькопфному, головному) і, в решті, до виникнення аварійних ситуацій.

Одночасно з цим, забезпечення якісного перебігу режимів мащення підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, відбувається за рахунок постійного і якісного моніторингу їх роботи.

Вказане підтверджує наявність визначеного автором (Кривим Марком Олександровичем) нерозв'язаного науково-прикладного завдання із забезпечення вдосконалення процесів моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу із врахуванням неньютонівської поведінки мастил.

### **Ступінь обґрунтованості наукових результатів, висновків і рекомендацій**

Коректність наукових результатів, отриманих в дисертаційному дослідженні, забезпечена використанням теоретичних та емпіричних методів дослідження, а саме:

- дедукції та індукції (під час патентного та інформаційного пошуку, а також аналізу літературних джерел, пов'язаних із напрямком дослідження);
- діалектики, синтезу та аналізу (під час постановки завдання, формулювання мети, головного та допоміжних завдань дослідження, а також розробки технологічної карти наукового дослідження);
- математичного моделювання (під час складання моделі предмету дослідження та визначення впливу зовнішніх та внутрішніх збурень на його характеристики);
- моніторингу, прогнозування, спостереження, вимірювання, статичної обробки даних (під час проведення експериментів у наукових лабораторіях та на суднах морського транспорту).

Результаті, що отримані під час розв'язання головного та допоміжних завдань дослідження, обґрунтовані їх збігом з результатами моніторингу стану моторних мастил, що використовувались під час проведення досліджень в системах циркуляційного мащення суднових дизелів Hyundai – MAN B&W 6S50MC-C7 (щодо моторного мастила Mobilgard 300C) та Hyundai HiMSEN H21/32 (щодо моторного мастила Mobilgard 415).

Висновки, що зроблені в дисертаційній роботі, та рекомендації, що запропоновані її автором, можуть бути використані для всіх без винятку дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту.

Новизна наукових результатів дисертаційного дослідження Кривого Марка Олександровича полягає в доведеної гіпотезі, що вдосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу досягається шляхом врахування неньютонівської поведінки мастил.

Здобувачем вперше:

- запропоновано якісні і кількісні критерії для вдосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, які враховують неньютонівську поведінку мастил;
- запропоновано оцінювати режими роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу за рахунок отриманих нових математичних моделей для інтегральних характеристик підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, які враховують в'язкісні характеристики мастил, зокрема градієнт в'язкості і п'єзокоефіцієнт в'язкості;
- визначено вплив неньютонівської поведінки моторних мастил на розподіл гідродинамічного тиску в робочій зоні та зміну коефіцієнту навантаженості підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу;
- доведено, що нехтування неньютонівською поведінкою моторних мастил призводить не тільки до значних кількісних похибок в визначенні його витрати, температури та тиску, але також стає причиною якісних спотворень процесів тертя та зношування в сильно навантажених підшипниках ковзання суднового пропульсивного комплексу.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Результати дисертаційного дослідження впровадженні

- під час експлуатації пропульсивного комплексу т/х “Aquavita evolution”;
- під час експлуатації пропульсивного комплексу т/х “Roberta”;

- в освітньому процесі Національного університету «Одеська морська академія», зокрема:

- математичне моделювання гідродинамічних процесів в мастильному шарі рамових і шатунних сильно навантажених підшипників ковзання із врахуванням неньютонівської поведінки мастил – під час викладання освітнього компонента «Суднові двигуни внутрішнього згоряння» (для здобувачів наукового ступеня бакалавр);

- технологія забезпечення рідинних режимів мащення в підшипниках ковзання суднових енергетичних установок, які враховують градієнт в'язкості мастил – під час викладання освітнього компонента «Процеси перетворення енергії суднових силових установок» (для здобувачів наукового ступеня магістр);

- технологія визначення і врахування неньютонівських характеристик суднових моторних мастил – під час викладання освітнього компонента «Дослідницький практикум» (для здобувачів наукового ступеня доктор філософії).

### **Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових виданнях**

Результати дисертаційного дослідження повністю відображені в 21 опублікованих наукових працях, з яких 8 – у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань України (категорії Б), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії; 3 – в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 10 – у збірках доповідей Міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

Оформлення дисертації відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

## Зауваження

1. В першому розділі, у постановці завдання дослідження та формулювання його мети та наукової гіпотези не уточнено, який саме тип підшипників (рамові, шатунні, опорні тощо) мається на увазі та в подальшому розглядається в дослідженні.

2. В другому розділі не описано, яким чином забезпечується репрезентативність вибірки проб мастил, що забезпечують процес мащення суднових дизелів (місце відбору, тривалість між вимірюваннями, об'єм) та подальший аналіз. Також не зазначена технологія відбору проб мастила, що забезпечує процес мащення в підшипниках валопроводу.

3. Математична модель роботи підшипника ковзання, яка запропонована в підрозділі 4.1, побудована без урахування нестійкості (перш за все вібрацій та повздовжніх зсувів) в системі вал – вкладиш. Через це вона може визначати стійкість процесу мащення з деяким відхиленням.

4. Метод варіації границь, який запропонований в підрозділі 5.1, використано без критичного порівняння з альтернативними підходами (наприклад, скінчено-різницеvim або скінчено-елементним аналізом, які є найбільш доцільними для розглянутих випадків).

5. Підрозділи 6.1 і 6.2 присвячені розробці критеріїв рідинного режиму тертя. Для деяких суднових дизелів (насамперед високообертових, які також розглянути в роботі) під час пуску можливо виникнення випадків, коли миттєва частота обертання на 10...15 % перебільшую передбачуване або заплановане значення. Безумовно це викликає динамічні перенавантаження на кривошипно-шатунний механізм дизеля та його підшипники ковзання. Але при цьому не вказано як ці явища впливають на запропоновані в дослідженні критерії оцінювання стійкості та надійності роботи пари тертя вал – вкладиш.

6. В підрозділах 5.5 і 6.1 не всюди вказано, як і якими методами відбувалась перевірка запропонованих моделей і критеріїв.

7. Під час експлуатації суднових чотиритактних дизелів в разі їх використання в функції допоміжних двигунів постійно виникає випадки суттєвої зміни навантаження, наприклад з 30...35 % експлуатаційного режиму на 50...60 % та навіть на 70...75 %. В дослідженні не вказано як при цьому змінюється градієнт в'язкості мастила та характерні контактні кути у трибологічному сполученні вал – вкладиш.

Загалом наведені зауваження носять рекомендаційний характер і не впливають на наукову і практичну цінність отриманих результатів, а також на високий рівень виконаного дослідження.

### **Структура та обсяг дисертації. Відповідність дисертації та її змісту встановленим вимогам**

Дисертація складається з переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатку (в якому надано акти впровадження результатів дослідження).

Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 276 сторінок, зокрема: основний текст 251 сторінок з анотацією на 21 сторінках, що виконана державною та англійською мовами;

перелік використаних джерел із 156 найменувань на 21 сторінках;

додаток на 3 сторінках;

128 рисунків;

50 таблиць.

Обсяг дисертації її оформлення та зміст відповідають вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 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

## Висновки

Дисертаційна робота є завершеним та цілісним науковим дослідженням, яке характеризується достатнім науковим рівнем, виконанням поставленого наукового завдання, отриманням наукових результатів, визначенням наукового положення.

Кривий Марк Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – транспорт).

Рецензент, кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри інженерної механіки і судноремонту  
Національного університету  
«Одеська морська академія»



Валентин БОГАЧ

