

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри комп'ютерних наук і інформаційних технологій Національного аерокосмічного університету ім. М. Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» МОН України, лауреата державної премії в галузі науки і техніки

Федоровича Олега Євгеновича

на дисертаційну роботу **Сагіна Сергія Вікторовича**

«Теорія і практика енергоперетворення на суднах з мінімально неминучими незворотними втратами»,

що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 експлуатація та ремонт засобів транспорту

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасна Україна, володіючи власним морським та річковим флотом, є міжнародною морською державною, при чому морській та річковій транспорт є однією з важливих галузей у її морегосподарському комплексі. Експлуатація морських та річкових суден (як й будь якого засобу транспорту) спрямована на отримання прибутку, який залежить від багатой кількості чинників, одним з яких є зниження транспортних витрат. Отримання транспортної роботи неможливо без енергетичних витрат, відносно морських та річкових засобів транспорту, які виникають у двигуні, корпусі судна, рушії та валопроводі. При цьому частина цих витрат у загальному процесі енергоперетворення на суднах відноситься до неминучих незворотних, тобто не можуть бути повернені навіть частково у рушійну силу судового комплексу.

Серед неминучих незворотних витрат, що виникають у морських та річкових засобах транспорту, керованому впливу підлягають лише механічні втрати, які водночас є найбільш вагомою складовою при визначенні пропульсивного коефіцієнта корисної дії судового пропульсивного комплексу. Це підкреслює існування на початок виконаних досліджень невирішеної проблеми у галузі експлуатації засобів транспорту. Розв'язання цієї проблеми є особливо актуальним в умовах експлуатації дизелів як однієї зі складових морського та річкового засобу транспорту.

Тематика дисертаційної роботи відповідає завданням, які визначені у положеннях Транспортної стратегії України на період до 2020 року; положеннях Транспортної стратегії України на період до 2030 року; Рішенні Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 року «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави»; а також у рамках наступних держбюджетних науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська морська академія»: «Підвищення ефективності робочих процесів судових енергетичних установок на базі сучасних технічних і інформаційних технологій» № ДР 0116U002390 (що виконувалася у 2014–2017 рр.), «Розвиток систем і методів удосконалення технічної експлуатації судових енергетичних установок на підставі сучасних інформаційних технологій» № ДР 0110U005910 (що

виконувалася у 2017–2019 рр.), «Прогнозування експлуатаційного технічного стану суднової пропульсивної установки на основі контролю її вібраційно-коливальних характеристик» № ДР 0119U001654 (що почата у 2018 р. та виконується на теперішній час), у яких автор дисертації брав участь як виконавець та відповідальний за виконання теми.

2. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення та результати, що отримані в дисертаційному дослідженні достовірні, оскільки базуються на проведену інформаційному пошуку, розробленій адекватній, перевіреній на практиці математичній моделі, збігу аналітичних та експериментальних значень досліджених параметрів, а також актах впровадження на енергетичних комплексах морських засобів транспорту.

2.1 Ступінь обґрунтованості наукових положень та новизна результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на багато численних конференціях в Україні та за кордоном, серед яких можна виділити наступні: XIIIth International Research and Practice Conference «Science and Education», Munich, November 2nd–3rd, 2016. – Munich, Germany; XVIth International Research and Practice Conference «European Science and Technology», Munich, March 14th–15th, 2017. – Munich, Germany; International Conference «Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration», August 31, 2019, Beijing, China; V Міжнародній науково-технічній конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми» 10.11.2011–11.11.2011. – Миколаїв, НУК ім. адм. Макарова; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2014» (27-29 травня 2014 р., м. Херсон) – Херсон; III Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасний стан та проблеми двигунобудування», 19-21 листопада 2014 р. – Миколаїв, НУК ім. адм. Макарова; VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Суднова енергетика : стан та проблеми». – Миколаїв, НУК ім. адм. Макарова, 2017 р.; X Міжнародній науково-практичній конференції MINTT-2018, 29-31 травня 2018 р. – Херсон, ХДМА; Міжнародній науково-технічній конференції «Річковий та морський флот : експлуатація і ремонт», 22.03.2018–23.03.2018 р. – Одеса, НУ «ОМА»; науково-технічній конференції «Морський та річковий флот : експлуатація і ремонт», 21.03.2019–22.03.2019 – Одеса, НУ «ОМА»; 10-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», 12-13 вересня 2019 р. – Херсон, ХДМА.

Враховуючи змістовну складову дисертації, можна вважати достатньо обґрунтованими основні наукові результати, які полягають у розробці ефективних методів, що сприяють оптимізації незворотних втрат під час здійсненні процесу енергоперетворення у пропульсивном комплексі морських та річкових засобів транспорту.

Вважаю, що серед отриманих наукових результатів і положень вперше розробленими є:

• встановлено, що основним показником, який характеризує рівень мінімально неминучих незворотних втрат у гідродинамічному та граничному режимі мащення, є стратифікація в'язкості мастильного матеріалу, що забезпечує функціонування ТС циліндро-поршневої групи (ЦПГ), кривошипно-шатунного механізму (КШМ) та паливної апаратури високого тиску. У діапазоні зсувних навантажень $100 \dots 350 \text{ с}^{-1}$, які характерні для основних експлуатаційних режимів роботи вищевказаних ТС суднових ДВЗ морських та річкових засобів транспорту, стратифікація в'язкості знаходиться в межах $0,88 \dots 1,09$ її номінального значення;

• встановлена експериментальна залежність енергетичних втрат від стратифікації в'язкості шару моторного мастила, що поділяє контактні поверхні деталей ЦПГ та КШМ ДВЗ морських та річкових суден;

• оцінка рівня стратифікації в'язкості визначена «реологічною стійкістю», як відхиленням в'язкості у граничному шарі мастильного матеріалу від об'ємної в'язкості за умов відсутності та наявності зсувних напружень, які відповідають номінальному навантаженню;

• збільшення реологічної стійкості забезпечує зниження механічних втрат, підвищує механічний ККД, зменшує потужність механічних втрат та сприяє перебігу процесу енергоперетворення з мінімально неминучими незворотними втратами;

• оцінка рівня вільної енергії граничних шарів вуглеводних рідин, яка характеризує здатність утворювати на металевій поверхні наноструктуровану анізотропну фазу, визначається «оптичною щільністю» як відношенням відповідних максимумів спектрів поглинання орієнтаційно впорядкованих шарів;

• встановлено, що дисипація енергії в ТС суднових ДВЗ, розділених багатофазним шаром мастильного матеріалу, визначається величиною лінійного зносу контактуючих поверхонь, а безпосередньо процеси дисипації енергії представлені у вигляді верифікованої математичної моделі;

• підтримання мінімально неминучих втрат енергії у морських та річкових засобах транспорту досягається поліпшенням триботехнічних характеристик ТС суднових ДВЗ шляхом забезпечення самоорганізації впорядкованості наноструктури граничних шарів робочих рідин (палива і мастила);

• встановлено механізм організації впорядкованої наноструктури моторних палив, який дозволяє покращити триботехнічні характеристики прецизійних пар паливної апаратури високого тиску ДВЗ морських та річкових суден.

У дисертаційному дослідженні **удосконалено:**

• математичну модель контактної взаємодії поверхонь тертя, яка враховує особливості мастильного матеріалу, якій знаходиться у ньютонівському стані;

• методику та технологію еліпсометричних вимірювань товщини тонких плівок наноструктурованих шарів вуглеводних рідин (палива та мастила);

• методику та технологію проведення спектрофотометричних досліджень орієнтованої структури мікронних шарів технологічних рідин, що утворюються поблизу металевих поверхонь;

• принцип розподілу навантаження на паралельно працюючі електричні

генератори суднової електростанції морських та річкових суден з урахуванням можливої зміни реологічних характеристик моторного мастила, що забезпечує процес мащення дизель-генераторів;

- технологію визначення лінійного та об'ємного зносу окремих деталей основних ТС ДВЗ морських та річкових суден для спрощення процедури та підвищення точності вимірювань;

набуло подальшого розвитку:

- метод визначення оптимальної концентрації поверхнево-активних речовин у базовому мастилі та технологія підтримання цієї концентрації в циркуляційних та циліндрових системах мащення суднових морських та річкових суден протягом експлуатаційного періоду їх роботи, що стримує відхилення реологічних характеристик моторного мастила від допустимих значень;

- технологія визначення оптимального часу нанесення органічних покриттів на поверхні плунжерів ПНВТ, що забезпечило процес утворення наноструктурованого шару органічного покриття з максимальною товщиною;

- процедура визначення реологічних кривих за допомогою ротаційного віскозиметру, що сприяло зменшенню дисперсії неузгодженості експериментальних значень;

- послідовність виміру в'язкості вуглеводних рідин у радіальному напрямку, що забезпечило відхилення експериментальних значень від аналогічних показників, що отримані аналітично за допомогою математичного моделювання;

- теоретичні та експериментальні методи визначення втрат індикаторної потужності, яка розвивається у циліндрі ДВЗ, та теплової енергії, яка витрачається на отримання цієї потужності, що підвищило точність розрахунку механічного коефіцієнта корисної дії та потужності механічних втрат.

Наукові результати, що сформульовані у дисертаційному дослідженні, узгоджені з науковими положеннями і науковими завданнями. Висновки, що зроблені як результат розв'язання завдань дослідження, мають теоретичну або практичну доказову базу, однозначні і не викликають сумнівів.

2.2. Ступінь обґрунтованості висновків і рекомендацій

Основні висновки і рекомендації щодо практичного використання добре корелюються з поставленими науковими завданнями і мають логічне структурування.

Це дозволяє стверджувати, що використана здобувачем «технологія побудови структури наукового дослідження» у сукупності з новими, науково доведеними результатами і застосованими системними методами досліджень, добре обґрунтовує всі висновки і пропоновані рекомендації, які необхідні для подальших досліджень, для розвитку теорії та впровадження у практику в процесі оптимізації енергоперетворення на суднах з неминучими незворотними втратами.

3. Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових виданнях

Всі результати дисертації з достатнім ступенем повноти опубліковані у 67 наукових праць, з яких 28 – у наукових фахових виданнях України (що входять до

переліку наукових фахових видань України, які рекомендовані МОН України для публікації результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук); 9 – в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 13 – в інших іноземних виданнях (7 – у наукових журналах, та 6 – у збірках матеріалів наукових конференцій); 17 – у збірниках за матеріалами міжнародних конференцій.

Більшість фахових публікацій входить до міжнародних наукометричних баз даних, у тому числі до Scopus та Web of Science і має вільний доступ з мережі Інтернет.

Авторитетних праць апробаційного характеру достатньо для представлення основних результатів науковій спільноті, для їх обговорення.

Запозичень чужих праць і ідей без посилань, а також невідповідності змісту дисертації і автореферату Паспорту спеціальності 05.22.20 у тексті дисертації не виявлено.

Результати та висновки кандидатської дисертації Сагіна С. В. до результатів докторської дисертаційної роботи не включені.

4. Важливість для науки і народного господарства одержаних результатів

Наукова значимість дослідження полягає в підвищенні ефективності роботи засобів транспорту під час генерації та трансформації енергії шляхом управляючого впливу на наноструктуровані граничні змащувальні шари робочих речовин в умовах експлуатації дизелів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що на основі виконаних досліджень розроблено та впроваджено:

- математичну модель, яка дозволяє досліджувати процеси контактної взаємодії поверхонь, розділених шаром мастильного матеріалу, що знаходиться у ньютонівському, або неньютонівському стані;
- систему стабілізації реологічних характеристик мастильних матеріалів, що використовуються у вузлах тертя ДВЗ морських та річкових суден;
- систему підтримання впорядкованої наноструктури у граничному мастильному шарі, яка забезпечує його пружно-демпфуючі властивості та сприяє зменшенню рівня дисипації енергії в ТС суднових дизелів;
- технологію покращення триботехнічних властивостей прецизійних деталей паливної апаратури високого тиску;
- методикау визначення реологічних характеристик мастильних матеріалів в умовах змінних зсувних навантажень.

5. Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв'язання наукової проблеми, що пов'язана з практикою енергоресурсозбереження в пропульсивному комплексі транспортного судна.

Результати дисертаційного дослідження підтверджують спроможність керованого впливу на трибологічні системи суднових дизелів, що забезпечує мінімальність неминучих втрат енергії в судновому пропульсивному комплексі.

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є визначення методики, технології та способів управління мінімально неминучими незворотними втратами енергії у ДВЗ морських та річкових засобів транспорту безпосередньо в процесі експлуатації пропульсивних комплексів річкових та морських транспортних суден.

6. Структура й обсяг дисертації. Відповідність дисертації і її змісту встановленим вимогам. Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

6.1. Дисертація містить анотацію, список прийнятих скорочень, вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел та додатки (які відображають впровадження результатів дисертації). Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 402 сторінки, зокрема: основний текст – 323 сторінки з анотацією на 25 сторінках, список використаних джерел із 312 найменувань на 41 сторінці, додатки – 8 сторінок, 84 рисунки, 34 таблиці.

6.2. При загальній оцінці дисертаційної роботи, слід зазначити, що вона є завершеним і цілісним дослідженням з чіткою структурою і логічним викладом матеріалу.

Зміст дисертації узагальнює дослідження здобувача.

Працю написано сучасною науково-технічною мовою, виклад математичних моделей здійснюється сучасним апаратом функціонального аналізу.

Стиль викладання матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність її сприйняття.

Оформлення дисертації проведено згідно вимог п. 10, п. 12, п. 14 «Порядку присудження наукових ступенів».

6.3. Автореферат обсягом 48 друкованих сторінок викладений українською мовою та добре оформлений.

Оформлення автореферату за своїм обсягом, структурою та змістом відповідає чинним вимогам п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів».

Зміст автореферату повністю розкриває зміст основних наукових положень дисертаційної роботи.

7. Зауваження.

7.1. Нажаль автор дисертаційної роботи не використовує теорію та методи планування експериментів, які дозволяють у явному вигляді виявити ступінь впливу тих чи інших факторів на оцінку неминуючих незворотних втрат, а також їх взаємний вплив.

7.2. У явному вигляді відсутнє проведення оптимізації у формальному поданні за допомогою цільової функції та обмежень, а також відсутній вибір методу оптимізації для вирішення цієї задачі.

7.3. Нажаль автор не використовує метод оптимізації шляхом проведення цілеспрямованих експериментів (наприклад, метод Бокса-Уілсона), що дозволяє без формального уявлення цільової функції провести оптимізацію за допомогою експериментів.

7.4. Встановлений факт залежності в'язкості моторного мастила від градієнта швидкості підтверджує «неньтонівську» поведінку течії. Отримані дані передбачають подальші дослідження для встановлення ряду нових аналітичних залежностей. Такі дані і роботі не приведені.

7.5. На рис. 6 (стор. 23) та 9 (стор. 24) автореферату наведені експериментальні результати по зношуванню вкладишів підшипників різних судових двигунів на різних мастилах. Однак пояснення факту зменшення зносу при віддаленні від рушія не приведено.

7.6. На стор. 32 автореферату наведені дані визначення параметру порядку для мастил з різною в'язкістю при різних товщина граничного шару. Вважаю, що доцільно було провести аналогічні дослідження для певного мастила при різних товщина граничного шару, такі дані би підтвердили безпосередньо визначну роль наноструктурованого шару.

7.7. В дисертаційному дослідженні запропоновано поняття «спектральна щільність», але не наведено пояснень, чому вона визначається саме як відношення максимумів спектрів поглинання при 80 та 20°C.

7.8. При визначенні зусиль контактних взаємодій доцільно було б порівняти результати отримані за формулами (3.30) та (3.31) і навести похибку апроксимаційної формули.

7.9. В роботі для не ньютонівських мастил для визначення в'язкості прийнята залежність Баруса. Доцільно дослідити і інші відомі гіпотези.

7.10. При експериментальному визначенні впливу реологічної стійкості моторних мастил на мінімально неминучі втрати енергії в дизелях не визначено який час тривали експерименти.

7.11. У розділі 3 дисертаційного дослідження виконано серію експериментів з визначення впливу значення параметра порядку і товщини наноструктурованого шару на експлуатаційні показники дизелів. Ці випробування якісно характеризують прикладний характер властивостей наноструктурованих шарів, що доцільно для засобів транспорту, але на жаль у основні висновки результати цих випробувань не включено.

7.12. У п'ятому розділі запропонована технологія не лише нанесення органічних покриттів на поверхні плунжерів паливного насосу високого тиску, але й визначення оптимального часу цієї технологічної операції. Доцільно було би відобразити ці результати у загальних висновках роботи.

7.13. При проведенні експериментальних випробувань на судових двигунах, які віддають свою потужність безпосередньо на гвинт не наведено даних про зміну зовнішніх умов експлуатації судового пропульсивного комплексу, які, безумовно, впливають на його навантажень, тобто й на перебіг процесів дисипації енергії, та виникнення їх втрат.

7.14. При визначенні рекомендації, що до забезпечення мінімально неминучих втрат енергії під час поступального руху у вузлах тертя (п. 6.4) не вказано можливість імплементації запропонованої технології для циркуляційних систем мащення.

7.15. При викладенні розділу 6.3.2. «Забезпечення мінімально неминучих

втрат енергії шляхом використання поверхнево-активних присадок до моторного мастила» не вказане яким чином обирався діапазон можливих змін концентрації поверхнево-активних присадок у базовому мастилі, а також однакова чи різна оптимальна концентрація присадок для різних моторних мастил.

Висновки

Представлена робота є завершеним науковим дослідженням, що присвячена розв'язку актуальної наукової проблеми – енергоресурсозбереження в пропульсивному комплексі транспортного судна

Дослідження, що виконані автором, містять нові науково обґрунтовані результати, не захищені раніше наукові положення і висновки, які мають важливе значення в області регулювання та забезпечення мінімально неминучих незворотних втрат енергії у пропульсивних комплексах морських та річкових засобів транспорту.

Результати дисертації можуть бути рекомендовані до використання у вітчизняних та закордонних судноплавних компаніях, а також на підприємствах, пов'язаних з експлуатацією двигунів морського та річкового транспорту.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» (затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.13 р. № 567 зі змінами) та іншим чинним вимогам які висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор, Сагін Сергій Вікторович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комп'ютерних наук та
інформаційних технологій
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський
авіаційний інститут» МОН України,
лауреат державної премії в галузі
науки і техніки



О. Є. Федорович

Підпис доктора технічних наук, професора Федоровича Олега Євгеновича засвідчую

Вчений секретар Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»



С. Є. Чмихун