

10.31653/smf47.2023.23-31

Заблоцький Ю.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

## **ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ МАЩЕННЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Енергетичні комплекси суден морського та внутрішнього водного транспорту є багатокomпонентними структурними об'єктами, при цьому:

- їх функціонування починається з прийому на борт судна робочих рідин (палива, мастила, води) [1, 2];
- їх основним експлуатаційним завданням є перетворення потенційної енергії робочих рідин на корисну роботу, що забезпечує або рух судна, або вироблення теплової та електричної енергії [3, 4];
- завершальним етапом їх виробничого циклу є видалення відпрацьованих газів і охолоджувальних рідин у довкілля [5, 6].

При цьому необхідно забезпечувати не тільки вимоги щодо отримання ефективної потужності і підтримки екологічних параметрів, але й мінімальний рівень втрат енергії під час перетворення вхідної енергії на корисну роботу. Системами, які сприяють цьому, є системи мащення, які за своїм призначенням та функціонуванням поділяють на циркуляційні та циліндрові [7, 8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструкційні та технологічні заходи, що забезпечують зниження втрат енергії під час забезпечення процесів мащення суднових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), розглядалися в різних роботах. При цьому увага приділялася модифікації поверхонь циліндро-поршневої групи [9, 10], забезпеченню мінімальної витрати палива [11, 12] і властивостей робочих поверхонь основних елементів дизеля [13, 14].

**Постановка завдання.** Аналіз досвіду проектування та експлуатації суднових пропульсивних комплексів, що забезпечують мінімальний рівень необертюваних втрат, показує, що їх вдосконалення доцільно вести за наступними напрямками:

- підвищення стійкості роботи деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) і підшипників руху [15, 16];
- зниження втрат енергії за рахунок підвищення пружнодемпфуючих властивостей мастильного матеріалу, що забезпечує

процеси мащення та охолодження КШМ і підшипників ковзання, а також працездатний стан колінчатого валу та лінії валопроводу [17, 18];

- мінімізації гідравлічних втрат і контактних навантажень у паливній апаратурі високого тиску [19];
- розвитку методів діагностики технічного стану вузлів і деталей дизеля, а також функціональних характеристик робочих рідин, що забезпечують отримання корисної роботи [20];
- удосконалення методів, що сприяють зниженню термічних і динамічних навантажень на рухомі та нерухомі деталі дизеля та валопроводу [21].

Найбільшим доступним в умовах експлуатації вже існуючого енергетичного обладнання є оптимізація роботи циркуляційних систем мащення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З цілого ряду методів, що є найбільш прийнятними для суднових умов (з технологічної та фінансової точки зору), є використання оптимального доливання мастила в систему та застосування поверхнево активних речовин (ПАР) [22, 23].

Вплив інтенсивності доливання моторного мастила в загальний об'єм циркуляційної системи мащення на механічні втрати енергії можливо оцінити за зміною механічного коефіцієнту корисної дії (ККД) дизеля для різних умов експлуатації (різних умов поповнення системи мащення свіжим мастилом). Для цього виконувалось вимірювання механічного ККД на різних режимах роботи дизелів 6EY22AW (що відповідають 35-ти, 50-ти, 65-ти і 80-ти %-ому навантаженню) за різної інтенсивності поповнення системи мащення:

- 1-ий дизель – через кожні 100 годин роботи;
- 2-ий – через кожні 25 годин роботи№
- 3-ий – через кожні 10 годин роботи.

На кожному з досліджуваних режимів ( $0,35N_{\text{еном}}$ ,  $0,5N_{\text{еном}}$ ,  $0,65N_{\text{еном}}$ ,  $0,8N_{\text{еном}}$ ) дизелі експлуатувалися рівний проміжок часу, який залежно від навантаження суднової електростанції становив 1,5...2,5 години. Зміна навантаження на двигуни за цей час не перевищувало  $\pm 2,5\%$ , а отриманий масив значень механічного ККД дозволяв із високою точністю визначити його середнє значення.

У результаті були отримані значення, узагальнені у вигляді таблиці 1, за результатами якої побудована діаграма, що наведена на рис. 1.

Таблиця 1. Механічний ККД та відносне збільшення механічного ККД, %, судових дизелів 6EУ22АW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на двигун			
	$0,35N_{еном}$	$0,5N_{еном}$	$0,65N_{еном}$	$0,8N_{еном}$
Двигун № 1 (поповнення через 100 годин)	$\frac{0,722}{-}$	$\frac{0,776}{-}$	$\frac{0,793}{-}$	$\frac{0,842}{-}$
Двигун № 2 (поповнення через 25 годин)	$\frac{0,786}{8,86}$	$\frac{0,812}{4,64}$	$\frac{0,828}{4,41}$	$\frac{0,868}{3,09}$
Двигун № 3 (поповнення через 10 годин)	$\frac{0,803}{11,22}$	$\frac{0,831}{7,09}$	$\frac{0,842}{6,18}$	$\frac{0,874}{3,80}$

Відносне збільшення механічного ККД, значення якого наведені в таблиці 1, визначалось за виразами  $\Delta\eta = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta} \cdot 100\%$  – для двигуна № 2 та  $\Delta\eta = \frac{\eta_3 - \eta_1}{\eta} \cdot 100\%$  – для двигуна № 3, де  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – механічний ККД відповідних дизелів.

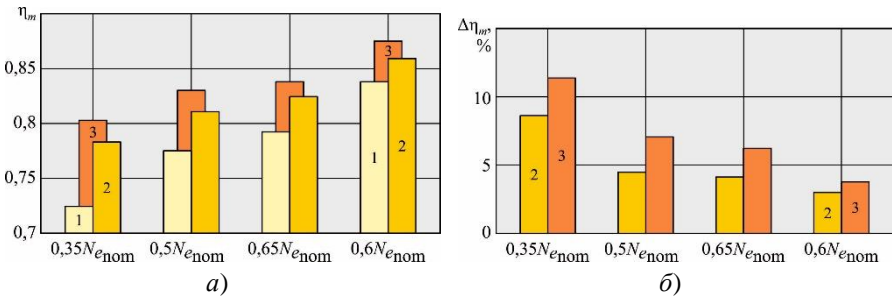


Рис. 1. Зміна механічного ККД (а) та відносне збільшення механічного ККД (б) судових дизеля 6EУ22АW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила:

1 – через 100 годин; 2 – через 25 годин; 3 – через 10 годин

Наведені в таблиці 1 і на рис. 1 результати підтверджують зниження втрат енергії під час скорочення часу між доливанням мастила в обсяг циркуляційної системи.

Для визначення впливу ПАР на втрати енергії судових середньообертових дизелів експерименти отримали наступне продовження [9, 15, 18]. Як і в попередній серії експериментів, дизелі експлуатува-

лися на рівновеликому навантаженні  $(250...750) \pm (15...45)$  кВт, однакову кількість часу 12...15 годин/добу.

Технологічна послідовність проведення експериментів полягала в наступному. Перший дизель був «контрольним», і після заміни мастила в його системі мащення інших технічних заходів з ним не проводилося, і відповідно до вимог заводу-виробника його експлуатація здійснювалася протягом 100 годин роботи без проміжного поповнення мастила в системі. За цей період експлуатації кількість мастила в циркуляційній системі дизеля не знижувалась нижче гранично допустимого значення. При цьому в циркуляційній системі з точністю  $\pm(2,5...3)$  % підтримувалися постійний тиск і температура мастила. Система мащення другого дизеля поповнювалася свіжим мастилом через кожні 10 годин роботи до верхнього рекомендованого в картері дизеля, що відповідало максимально можливому обсягу мастила в системі. Даний період поповнення було визначено в якості оптимального під час проведення попередніх експериментів. Система мащення третього дизеля спочатку заповнювалася мастилом з ПАР, що містить у своєму складі солі міді. Оптимальна концентрація ПАР становила 0,1 % від обсягу мастила в системі мащення і була встановлена за допомогою попередніх оптичних і триботехнічних досліджень [7, 8, 13, 17]. Крім того, через кожні 10 годин роботи здійснювалося поповнення циркуляційної системи мащення даного дизеля мастилом з такою ж концентрацією ПАР.

Аналогічно попередній серії експериментів, для кожного дизеля в діапазоні навантажень  $(0,35...0,8)N_{еном}$  виконувалося визначення механічного ККД. Результати цих експериментів наведені в таблиці 2 та надані на рис. 2.

Таблиця 2. Механічний ККД та відносне збільшення механічного ККД, %, судових дизелів 6EУ22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на двигун			
	$0,35N_{еном}$	$0,5N_{еном}$	$0,65N_{еном}$	$0,8N_{еном}$
Поповнення через 100 годин	$\frac{0,726}{-}$	$\frac{0,771}{-}$	$\frac{0,789}{-}$	$\frac{0,832}{-}$
Поповнення через 10 годин	$\frac{0,808}{11,29}$	$\frac{0,841}{9,08}$	$\frac{0,847}{7,35}$	$\frac{0,872}{4,81}$
Поповнення через 10 годин та додавання ПАП	$\frac{0,834}{14,88}$	$\frac{0,871}{12,97}$	$\frac{0,881}{11,66}$	$\frac{0,912}{9,62}$

Відносно збільшення механічного ККД, значення якого наведені в таблиці 2, розраховувалось відповідно вищевикладеної методики.

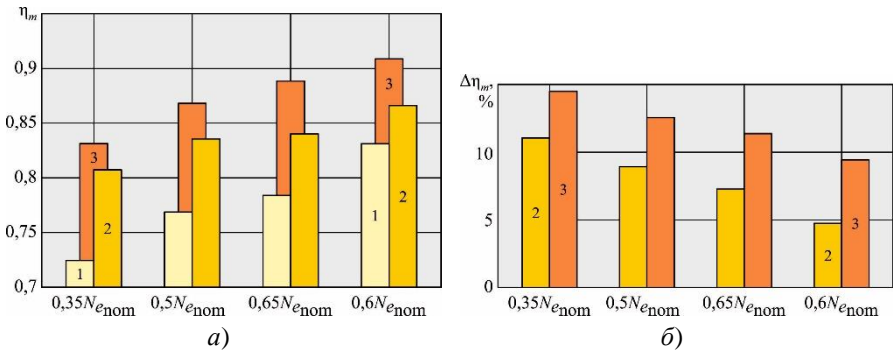


Рис. 2. Зміна механічного ККД (а) та відносне збільшення механічного ККД (б) суднових дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила:

- 1 – робота системи мащення в штатному режимі; 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи; 3 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи і додавання поверхнево активної присадки

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Із цілого ряду методів зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях найбільш прийнятними для суднових умов (з технологічної та фінансової точки зору) є використання оптимального доливання мастила в систему циркуляційного мащення і застосування поверхнево активних речовин. Перший (доливання мастила) рекомендовано заводом-виробником, але, як правило, розроблено для номінального режиму роботи дизеля за умови його експлуатації за стандартних умов. Другий (застосування присадок) не має широкого розповсюдження через необхідність додаткових досліджень та розробки спеціальних рекомендацій, що враховують особливості експлуатації дизелів на різних експлуатаційних режимах, а також у випадках зміни одного сорту палива на інший.

Зниження механічних втрат оцінюється прямо пропорційним зростанням механічного ККД дизеля. Цей параметр під час роботи дизеля 6EY22AW фірми Yanmar з рекомендованою фірмою-виробником інтенсивністю доливання моторного мастила в циркуляційну систему мащення та без додаткового додавання ПАР до об'єму моторного мастила в діапазоні навантаження  $(0,35 \dots 0,8)N_{e_{ном}}$  знаходиться в межах  $0,722 \dots 0,842$ .

Вибір оптимального режиму поповнення циркуляційної системи, а також додавання в загальний обсяг циркуляційної системи поверхнево-активної присадки з оптимальною концентрацією (визначення якої здійснюється попередніми лабораторними дослідженнями), сприяє збільшенню механічного ККД дизеля до рівня 0,834...0,912 та відповідному зниженню механічних втрат та збільшенню ефективної потужності.

При оптимальному поповненні циркуляційної системи (яке відповідно до експериментальних досліджень складає 10 годин) та додаванням до обсягу циркуляційної системи мащення ПАР (з оптимальною концентрацією 0,1 % за загальним обсягом системи) можливо досягнення 9,62...14,62 %-е збільшення механічного ККД дизеля та відповідне зменшення його механічних втрат.

### **Перелік використаних джерел**

1. Заблоцький Ю.В. Підвищення економічності роботи суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 12-16. DOI : 10.31653/smf340.2020.12-16.

2. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.

3. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.

4. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

5. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science and Technology. – 2022.– Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

6. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic

Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.

7. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.

8. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники : науч.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

9. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2 (61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

10. Заблоцкий Ю.В., Сагин А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: [10.31653/smf44.2022.121-131](https://doi.org/10.31653/smf44.2022.121-131).

11. Зверьков Д.О., Сагин С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 20-25. DOI : [10.31653/smf341.2020.20-25](https://doi.org/10.31653/smf341.2020.20-25).

12. Кривий М. О., Сагин С. В. Визначення впливу властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання судових дизелів // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 18 - 24. doi:[10.31653/smf343.2021.18-24](https://doi.org/10.31653/smf343.2021.18-24)

13. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.

14. Сагин С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108 - 119. DOI: [10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119](https://doi.org/10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119).

15. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kuřcera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(10). – 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

16. Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г. Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 154-160. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17).

17. Сагін С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2011. – № 26. – Одесса : ОНМА. – С.116-125.

18. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 17-30. [doi: 10.31653/smf45.2022.17-30](https://doi.org/10.31653/smf45.2022.17-30).

19. Сагін С. В. Зниження механічних втрат у суднових середньооборотних дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць, 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. [doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96](https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-87-96).

20. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньооборотних дизелях // Суднові енергетичні установки : науч.-техн. сб. Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – 2020. – С. 5-11. DOI : [10.31653/smf340.2020.5-11](https://doi.org/10.31653/smf340.2020.5-11).

21. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – 59-70. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06).

22. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 118-131. [doi: 10.31653/smf46.2023.118-131](https://doi.org/10.31653/smf46.2023.118-131).



23. Сагін С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – 2021. – С. 69 - 80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.