

10.31653/smf46.2023. 101-109

Сагін С.В.¹, Бондар С.А.²

¹ Національний університет «Одеська морська академія»,

² Морехідний фаховий коледж ім. О.І. Маринеска Національного університету «Одеська морська академія»

МЕТОД ПОПЕРЕДЖЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ЗА АНАЛІЗОМ ПОТОКУ ВІДМОВ ЙОГО ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Технічна експлуатація суднових енергетичних установок та їх головних елементів – суднових дизелів повинна виконуватися з забезпеченням вимог до всіх складових надійності: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереження [1-3].

Надійність складних технічних систем, до яких належать суднові дизелі, є системною категорією та належить до загальносистемних властивостей. Тому надійність суднових дизелів як системна категорія має оцінюватися комплексними показниками, що характеризують ефективність їх функціонування на протязі часу, а комплекс забезпечення надійності, своєю чергою, має розглядатися як підсистема суднового дизеля. У такому разі для оцінки ефективності комплексів забезпечення надійності суднових дизелів необхідно розглядати як приватні критерії ефективності (приватні показники надійності), що характеризують локальні експлуатаційні властивості дизелів, також і основні критерії ефективності (основні показники надійності), що характеризують інтегральні експлуатаційні властивості дизелів – ступінь впливу комплексу забезпечення надійності на загальну ефективність функціонування дизеля [4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка технічного стану будь яких енергетичних об'єктів суден морського та внутрішнього водного транспорту є актуальним завданням в зв'язку з тим, що за її допомогою забезпечується прогнозування надійності роботи судна, головних двигунів та допоміжних установок [6, 7]. Оцінка технічного стану суднових дизелів (головних та допоміжних) виконуються шляхом безпосереднього спостереження за їх роботою та контролю їх основних експлуатаційних показників, а також за допомогою аналізу статистичних даних з їх попередньої експлуатації [8, 9]. При цьому визначаються показники безвідмовності за гарантований час експлуатації, довговічності в умовах підвищених теплових

та динамічних навантажень, ремонтпридатності за умов експлуатації судна, збереження на протязі всього періоду експлуатації [10, 11].

Постановка завдання. Завдання дослідження було визначення критерію якій дозволяє на основі аналізу статистичних даних з технічної експлуатації суднового дизеля визначити його технічний стан та прогнозувати його можливі зміни.

Виклад основного матеріалу. Суднові енергетичні установки характеризуються підвищеними вимогами до надійності дизелів, що забезпечується шляхом застосування сучасних технологічних процесів виготовлення їх вузлів та елементів, постійним моніторингом їх основних параметрів, дотриманням правил технічної експлуатації, підтримкою міжремонтних періодів, контролем напрацювання основних деталей. Збільшення циліндрової потужності та рівня форсування суднових дизелів є причиною виникнення негативних з термодинамічної та трибологічної точки зору явищ. При цьому зростають навантаження на деталі циліндрової групи та підшипники колінчастого валу, збільшується швидкість згоряння палива, підвищуються градієнти температури. Найбільший рівень механічних втрат у двигунах внутрішнього згоряння припадає на трибосистеми, що забезпечують взаємодію між поршневими кільцями та циліндром, вкладишами підшипників та колінчастим валом, плунжером та втулкою паливного насоса високого тиску, розпилювачем та голкою форсунки.

Одним із типових методів розрахункової оцінки показників надійності та, зокрема, довговічності технічних об'єктів є застосування масиву статистичних даних, що узагальнює результати експлуатації чи тривалих випробувань однотипних деталей [12]. З широкого спектра показників, що характеризують якість і надійність, можна виділити показники з більшим чи меншим ступенем очевидності. До неочевидних показників можна віднести ресурсні показники (показники довговічності). Найважче зіставляти дизелі різних виробників за ресурсними показниками, оскільки кожна фірма пропонує свій підхід до обсягу та трудомісткості технічного обслуговування та ремонту пропонованих нею двигунів. Деякі дизелебудівні фірми надають великого значення відповідності гарантованих ними параметрів роботи двигунів умов їх експлуатації. Ряд фірм обумовлюють переважний режим роботи двигуна протягом гарантованого терміну служби та кліматичні умови, а також райони їх експлуатації [13, 14]. Частина показників, що характеризують надійність, через відмінності в дію-

чих національних стандартах і нормах, можуть бути непорівнянними для різних виробників дизелів. У зв'язку з цим, виникає необхідність їх приведення до порівняльного вигляду за зовнішніми факторами, комплектності двигунів, умов експлуатації та т.і. [15, 16].

Одним із параметрів, що характеризує надійність роботи суднових дизелів, застосування якого можливе до будь-яких дизелів, є потік відмов. При цьому накладаються обов'язкові обмеження, що протягом усього періоду його оцінки експлуатація дизеля проводилася відповідно до вимог фірми-виробника. Параметр потоку відмов характеризує будь-який енергетичний об'єкт, а також його елементи та за статистичними даними визначається за допомогою формули:

$$\omega(t) = \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1}$$

де $n(t_1)$ і $n(t_2)$ – кількість відмов об'єкта, зафіксованих за час t_1 і t_2 .

На базі обробки статистичних даних звітів департаменту технічної експлуатації однієї з судноплавних компаній було здійснено розрахунок параметрів потоку відмов за 15-річний період експлуатації судна з циклом експлуатації кожні п'ять років. Як таке судно було обрано судно класу «річка-море» дедвейтом 8250 тонн з головним двигуном Wärtsilä 6L42.

Для аналізу враховувались дані, що характеризують виникнення відмов та виконання планових замін десяти основних деталей дизеля, а саме: вкладишів підшипників, поршневих кілець, форсунок, паливних насосів високого тиску, випускних / продувних клапанів, шатунних болтів, поршневих пальців, циліндрових втулок, зубчастої передачі, розподільного валу.

Під час обраного статистичного періоду судно експлуатувалося в Чорноморсько-Середземному басейні з періодичними заходами в порти р. Дунай [17]. На протязі всього обраного статистичного періоду судно забезпечувало перевезення ідентичних вантажів масою 3000...6500 тонн.

Відповідно до статистичних даних загальний час експлуатації головного двигуна Wärtsilä 6L42 в обрані цикли складав: 1...5 роки – 25820 годин, 6...10 роки – 22180 годин, 11...15 роки – 27110 годин. Кількість відмов та планових замін для обраних елементів дизеля на протязі різних циклів експлуатації надано в таблиці 1.

Таблиця 1. Статистичні дані щодо кількості відмов та розрахунок потоку відмов основних елементів під час експлуатації дизеля Wärtsilä 6L42

Елемент дизеля	Період експлуатації та кількість годин напрацювання			Період експлуатації та кількість годин напрацювання			загальний потік відмов
	кількість годин			кількість годин			
	1...5 рік	6...10 рік	11...15 рік	1...5 рік	6...10 рік	11...15 рік	
	25820 годин	22180 годин	27110 годин	25820 годин	22180 годин	27110 годин	
	кількість відмов			потік відмов			
вкладиші підшипників	162	172	214	0,627	0,775	0,789	0,910
поршневі кільця	127	136	174	0,492	0,613	0,642	,0716
форсунка	117	122	152	0,453	0,550	0,561	0,654
паливний насос високого тиску	84	102	132	0,325	0,460	0,487	0,494
випускні / продувні клапани	72	77	97	0,279	0,347	0,358	0,406
шатунні болти	54	72	92	0,209	0,325	0,339	0,328
поршневий палець	46	61	78	0,178	0,275	0,288	0,279
циліндрова втулка	42	58	75	0,163	0,261	0,277	0,259
зубчаста передача	32	41	57	0,214	0,185	0,210	0,192
розподільний вал	18	27	34	0,070	0,122	0,125	0,114

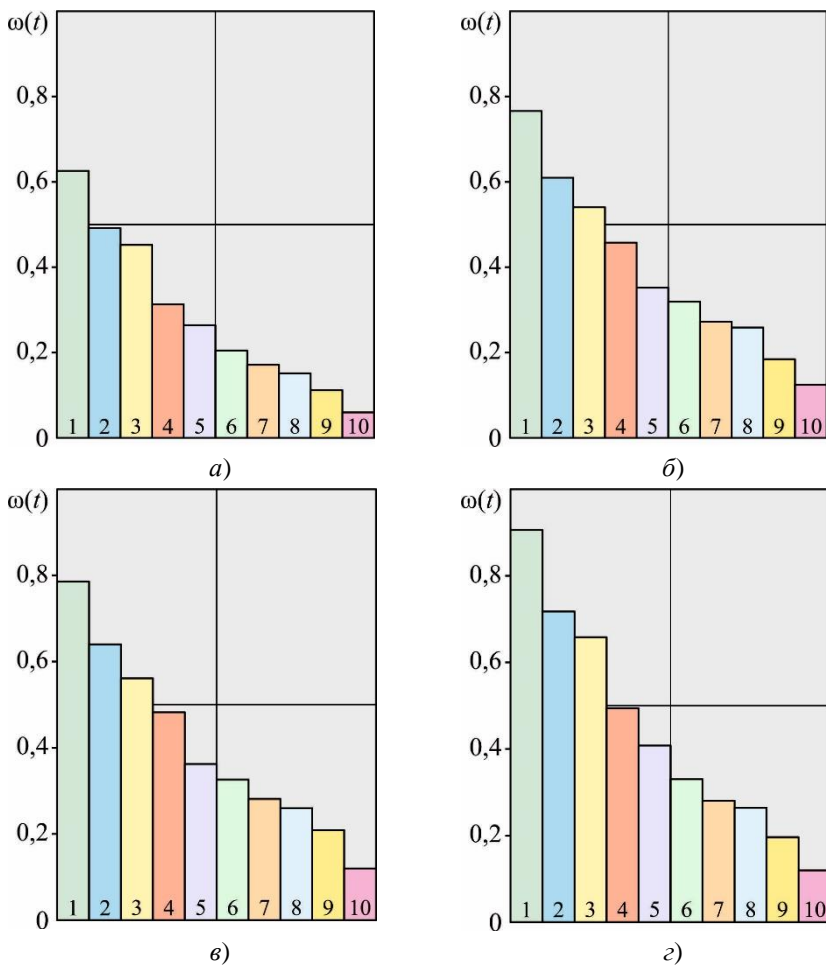


Рис. 1. Потік відмов основних елементів суднового дизеля Wärtsilä 6L42 (нумерація відповідає переліку елементів дизеля, що вказані в табл. 1) за різний термін експлуатації:

a – 5 років; *б* – 10 років; *в* – 15 років; *г* – загальний потік відмов

Для кожного з вказаних раніше елементів дизеля розраховувалось значення параметру потоку відмов

$$\omega_i(t_i) = \frac{\sum n_i}{t_i} \cdot 100\%;$$

де $\omega_i(t_i)$ – параметр потоку відмов i -го елемента дизеля за час експлуатації в i -ому циклі;

Σn_i – кількість відмов та планових заміन обраного елемента дизеля за час експлуатації в i -ому циклі;

t_i – тривалість експлуатації в i -ому циклі.

Результати розрахунків параметра потоку відмов наведено у табл. 1. За результатами табл. 1 побудовано номограми розподілу параметра потоку відмови $\omega_i(t_i)$ за різні періоди експлуатації суднової енергетичної установки, що відповідають 5-ти річним циклам експлуатації та загальному часу експлуатації судна (рис. 1). Зазначимо, що значення $\omega_i(t_i)$ за різні експлуатаційні цикли дають хорошу збіжність із величиною загального параметра потоку відмов за весь експлуатаційний цикл $\omega_\Sigma(t_i)$, який може бути визначений за виразом

$$\omega_\Sigma(t_i) = \sum_1^i \left(\omega_i(t_i) \frac{i^{\sqrt{i}}}{i^i} \right);$$

де i – цикл проведення вимірювань.

Тоді, для розглянутого періоду експлуатації та трьох циклів визначення $\omega_i(t_i)$ (що відповідають 1...5, 6...10, 11...15 рокам), отримаємо вираз

$$\omega_\Sigma(t_i) = \omega_1(t_i) + \omega_2(t_i) \frac{\sqrt[3]{2}}{2^2} + \omega_3(t_i) \frac{\sqrt[4]{3}}{3^3};$$

де $\omega_1(t_i)$, $\omega_2(t_i)$, $\omega_3(t_i)$ – параметр потоку відмов i -го елемента під час 1-го, 2-го та 3-го циклу експлуатації [18, 19].

Висновки і перспективи подальших досліджень. За результатами досліджень визначимо наступне.

1. Майже всі основні елементи суднових дизелів (вкладиші підшипників, поршневі кільця, форсунки, паливні насоси високого тиску, випускні / продувні клапани, поршневі пальці, циліндрові втулки, зубчасті передачі, розподільний вал та деякі інші) виявляють з себе трибологічні системи. Як показник безвідмовності, гарантованого часу експлуатації, довговічності та ремонтпридатності цих систем доцільно розглядати їх параметр потоку відмов.

2. Збільшення експлуатаційного часу судових дизелів призводить до зростання кількості відмов та відповідно підвищує параметр потоку відмов.

3. Проведений аналіз статистичних даних судового дизеля Wärtsilä 6L42, що виконує функції головного двигуна на судні класу «річка-море» дедвейтом 8250 тонн (під час його п'ятнадцяти річної експлуатації) визначив наступне:

найбільша кількість відмов та найбільший потік відмов припадає на трибосполучення вкладиш підшипника – колінчатий вал та поршневі кільця – втулка циліндра, при цьому значення потоку відмов для п'яти, десяти та п'ятнадцяти річного терміну експлуатації складає 0,627, 0,775, 0,789 (для вкладишів підшипників); 0,492, 0,613, 0,642 (для поршневих кілець);

найменший показник відмов та потоку відмов відповідає на пари тертя зубчасті передачі та розподільний вал, при цьому значення потоку відмов для п'яти, десяти та п'ятнадцяти річного терміну експлуатації складає 0,214, 0,185, 0,210 (для зубчастих передач); 0,070, 0,122, 0,125 (для розподільного валу).

4. Розбіжність в наведених значеннях потоку відмов пов'язана з різними умовами експлуатації вказаних елементів дизеля, але при цьому будь яке відхилення від рекомендованого фірмами виробниками технічного стану може призвести до виникнення аварійного стану та зниженню надійності роботи судового дизеля.

Подальші дослідження планується спрямувати на визначення критичного та рекомендованого рівню потоку відмов, а також розробці рейтингу відмов відносно їх впливу на технічних стан двигунів внутрішнього згоряння суден морського та внутрішнього водного транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голіков В.А., Голіков В.В., Онищенко О.А. Використання технологій методології науки у дослідженнях морського та внутрішнього водного транспорту // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.

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

3. Stoliaryk T. Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2022. – Vol. 5(1(67)). – P. 22-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>.

4. Тимощук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi: doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.

5 Столярик Т.О. Прогнозування механічних втрат в суднових дизелях // *Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб.* – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С.142-156. doi: [10.31653/smf44.2022.142-156](http://doi.org/10.31653/smf44.2022.142-156).

6. 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>.

7. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // *Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб.* – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: [10.31653/smf44.2022.121-131](http://doi.org/10.31653/smf44.2022.121-131).

8. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines. *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”*. Part 1. August 31. – 2019. – Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. [10.34660/INF.2019.15.36258](https://doi.org/10.34660/INF.2019.15.36258).

9. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal*. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

10. Бажак О.В. Удосконалення методу оцінки показників надійності обладнання засобів водного транспорту // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 148-159. doi: doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.

11. Богом'я В.І., Бажак О.В. Методика планування випробувань зразків обладнання засобів водного транспорту на безвідмовність // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 25-32. doi: doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.д

12. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.

13. Столярик Т.О. Прогнозування механічних втрат в суднових дизелях // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: 10.31653/smf44.2022.142-156.

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

15. Сагин С. В. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей за счет использования органических покрытий // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту, 2018. – Вип. 4(57). – С. 109-120.

16. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одеса : ОНМУ. – С. 78-88.

17. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.

18. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-142.

19. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.