

10.31653/smf47.2023.122-130

Сагін С.В.¹, Суворов П.С.², Бондар С.А.³¹ Національний університет «Одеська морська академія»,² Дунайська комісія, м. Будапешт, Угорщина, головний інженер³ Морехідний фаховий коледж ім. О.І. Маринеска Національного університету «Одеська морська академія»

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ ПОДІЙ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИЗЕЛІВ МОРСЬКИХ СУДЕН

Постановка проблеми в загальному вигляді. Одним з документів, що розроблено та прийнято Міжнародною морською організацією (International Maritime Organization – IMO), є Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забруднення (International Safety Management Code – ISM Code), якій спрямовано на забезпечення безпеки на морі, запобігання нещасним випадкам або загибелі людей та уникнення заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу, зокрема морському середовищу і майну. Один з розділів ISM Code «Технічне обслуговування та ремонт судна і обладнання» вимагає постійного контролю стану енергетичного обладнання машинних відділень суден та оцінки рівня його безпеки. Виконання цього завдання визначається як переважним під час експлуатації судових пропульсивних комплексів та поширюється на всі без винятку судна морського та внутрішнього водного транспорту. Її важливість додатково підтверджується введенням з боку IMO єдиного методу формалізованої оцінки безпеки (Formal Safety Assessment – FSA), який застосовує методи оцінки ризику, при цьому величина ризику визначається добутком вірогідності події, що порушує функціонування механізму, на її наслідок [1-3].

Інструмент FSA засновано на завчасних діях та уявляє з себе структурований метод, що дозволяє визначити потенційно небезпечні ситуації заздалегідь, до виникнення аварій з тим, щоб після цього оцінити величину ризику, провести оцінку витрат, що пов'язані з використанням можливих варіантів управління ризиками та на підставі системного аналізу прийняти обґрунтовані рішення з зниження величини ризику [4-6].

Постановка завдання. Завдання дослідження була розробка методу, що дозволяє визначити вірогідність виникнення ризику елеме-

нтів суднового дизелю з підвищеним терміном експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пропульсивні комплекси морських суден поєднують між собою головний двигун, гребний гвинт та корпус судна, тому відмова або виникнення ризику в однієї з цих складових призводить до аварійного режиму експлуатації всього судна, що становить небезпеку як під час стоянки судна в порту, також під час виконання їм навігаційного переходу [7, 8].

Оцінка технічного стану будь яких енергетичних об'єктів, що входять до пропульсивного комплексу 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 [9-11]. 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 [12-14]. 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 всієї експлуатації [15-17].

Під час експлуатації пропульсивних комплексів з напрацюванням, що наближається до нормативного терміну, тобто з малим остаточним ресурсом, особливе значення набуває якість технічної експлуатації. При цьому переважне значення набуває метод технічного обслуговування, який судовласник має намір застосувати на судне до моменту його списання (час до якого може досягати десяти років), що дозволить забезпечити на період експлуатації, що залишився, скорочення простоїв, безпеку роботи, а також дозволить спрогнозувати витрати на технічне обслуговування та ремонт [18, 19].

Критерії оцінки виникнення аварійних події ґрунтуються на суворо встановлених рівнях ризику. Якщо ризик знаходиться у прийнятній зоні, то немає потреби вживати якихось дії для зменшення ступеню ризику, а саме мінімізувати фактори ризику та їх наслідки (технічні або економічні). Ідентифікація ризиків виконується виходячи з аналізу небезпек, пов'язаних з потоком відмов механізмів в зазначений період експлуатації.

Виклад основного матеріалу. 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 6430 тонн з головним двигуном Wärtsilä 6R32BC.

Як основні елементи, відмови яких можуть привести до виникнення небезпечних або аварійних ситуацій були обрані наступні: форсунки, з'єднання та ущільнення, паливні насоси високого тиску, трубопроводи високого тиску, регулятор частоти обертання, розподільний вал, охолоджувач мастила, мотильові підшипники, охолоджувач повітря, системи підготовки палива, клапани системи розподілення газів, циліндрові кришки, поршні та поршневі кільця, циліндрові втулки, газотурбонагнетач, редуктор, рамові підшипники, упорний підшипник (далі в таблиці 1 та на рис. 1, 2 ці елементи позначені від 1 до 18) [20, 21].

Для кожного з вказаних 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;

$\sum n_i$ – кількість відмов та планових заміन обраного елемента дизеля за час експлуатації в i -ому циклі;

t_i – тривалість експлуатації в i -ому циклі.

Величина загального параметра потоку відмов за весь експлуатаційний цикл $\omega_\Sigma(t_i)$, визначається 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.

Результати розрахунків параметра потоку відмов наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Визначення параметру потоку відмов за різний експлуатаційний період роботи дизеля Wärtsilä 6R32BC в складі пропульсивного комплексу судна дедвейтом 6430 тонн

Елемент, що контролюється	Параметр потоку відмов, %, за різний експлуатаційний період			Параметр потоку відмов за весь період, %
	1...5 років	5...10 років	10...15 років	
1	0,074	0,083	0,096	0,105
2	0,058	0,072	0,079	0,089
3	0,037	0,043	0,052	0,068
4	0,026	0,031	0,036	0,041
5	0,021	0,024	0,028	0,031
6	0,015	0,016	0,019	0,021
7	0,013	0,014	0,017	0,018
8	0,030	0,033	0,039	0,041
9	0,010	0,010	0,012	0,014
10	0,007	0,008	0,008	0,010
11	0,008	0,009	0,011	0,011
12	0,014	0,016	0,018	0,021
13	0,013	0,015	0,017	0,019
14	0,009	0,009	0,012	0,014
15	0,004	0,004	0,004	0,005
16	0,007	0,007	0,008	0,009
17	0,002	0,002	0,002	0,003
18	0,018	0,019	0,021	0,025

На підставі даних, що наведені в таблиці 1, були побудовані номограми, які подані на рис. 1, а також були розраховані матриці ризику, за який приймалось розподілення вірогідності виникнення відмови елементів суднового дизелю [11, 13, 17]. При цьому градації вірогідності виникнення ризику R та градації витрат C на усунення наслідків відмов, що пов'язані з аварійними ситуаціями визначались відповідно до таблиці 2 в залежності від щільності вірогідності виникнення ризику

$$f = \frac{q(\delta t)}{N};$$

де $q(\delta t)$ – кількість відмов за проміжок часу δt в який елемент, що контролюється знаходився в експлуатації;

N – кількість всіх однотипних елементів, що входять до досліджуваної множини;

та вартості усунення наслідків відмов.

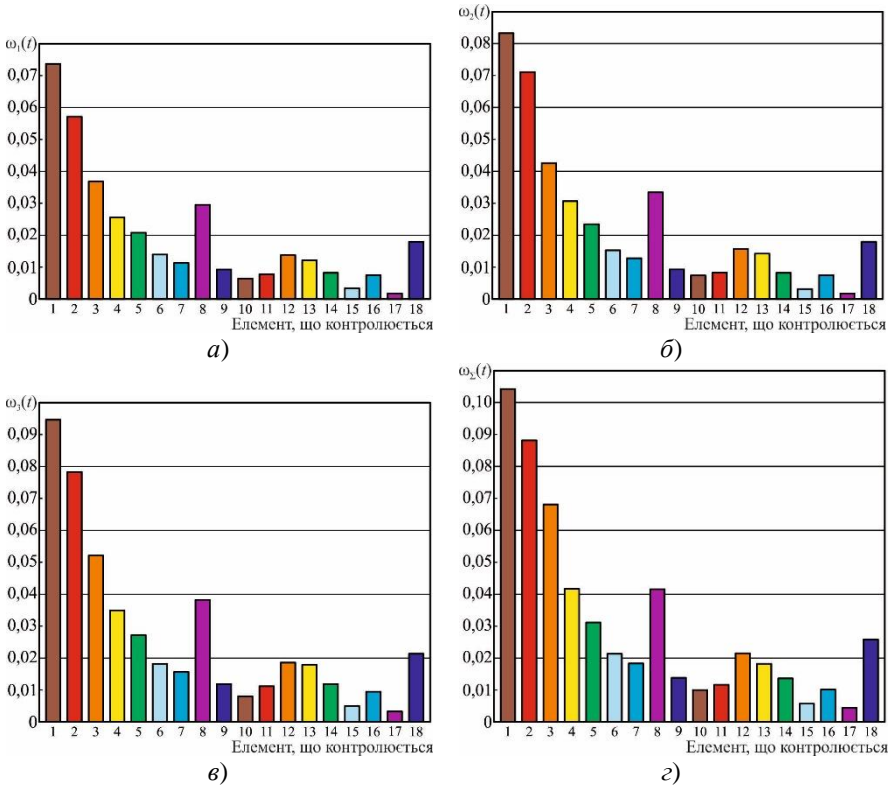


Рис. 1. Параметр потоку відмов $\omega(t)$ за різний експлуатаційний період роботи суднового дизеля Wärtsilä 6R32BC в складі пропульсивного комплексу судна дедвейтом 6430 тонн

В разі наявності масиву статистичних даних з виникнення відмов та розрахованих за цим масивом значень потоку відмов величина щільності вірогідності виникнення ризику може бути отримано за виразом

$$f = \omega(t) \cdot \delta t$$

в якому кожному часовому інтервалу δt відповідає конкретне значення потоку відмов $\omega(t)$. При цьому значення щільності вірогідності виникнення ризику визначається для різних експлуатаційних періодів роботи дизелів – 1...5 років, 5...10 років, 10...15 років

Матриці розподілення вірогідності виникнення ризику елементів суднового дизелю Wärtsilä 6R32BC за різний період експлуатації наведені на рис. 2.

Таблиця 2. Градації вірогідності виникнення ризику та витрат

Градація вірогідності виникнення ризику R	Щільність вірогідності виникнення ризику	Градації витрат C	Вартість усунення наслідків відмов, \$USA
1	0,01...0,17	1	менше 10000
2	0,17...0,33	2	10000...21000
3	0,33...0,5	3	21000...32000
4	0,5...0,67	4	32000...46000
5	0,67...0,83	5	46000...60000
6	0,83...1,0	6	більше 60000

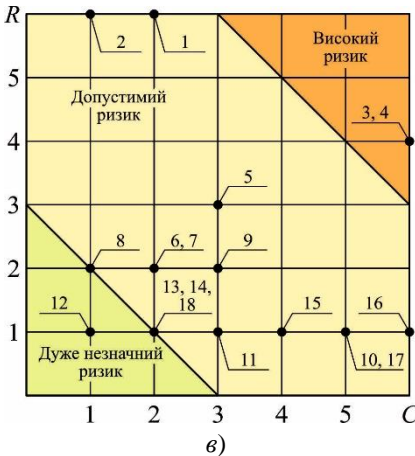
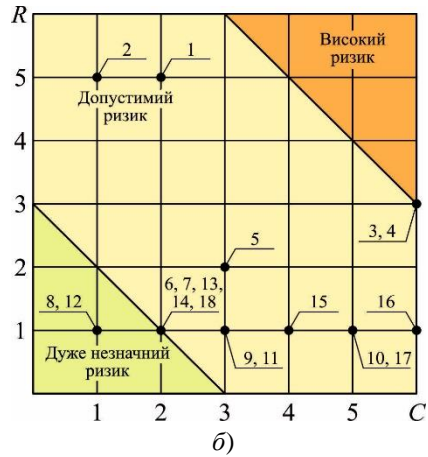
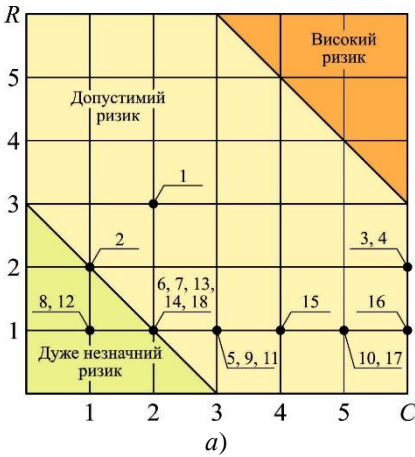


Рис. 2. Матриці розподілення вірогідності виникнення ризику елементів суднового дизелю Wärtsilä 6R32BC за різний період експлуатації:
 а – 0...5 років; б – 5...10 років;
 в – 10...15 років

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

1. Під час експлуатації суднових дизелів, як однієї зі складових судового пропульсивного комплексу, спостерігається виникнення відмов в основних його елементах, які відносяться до циліндрової групи, підшипників, систем подачі палива, постачання повітря та випуску газів. Інтенсивність цих відмов оцінюється потоком відмов, значення якого для судового дизеля Wärtsilä 6R32BC за різний період експлуатації (0...5 років, 5...10 років, 10...15 років) знаходяться в межах 0,018...0,105, при цьому найбільша кількість відмов (та відповідно найбільший потік відмов) спостерігається для таких вузлів дизеля як форсунки, з'єднання та ущільнення, паливні насоси високого тиску.

2. Наслідки виникнення аварійних подій найбільш доцільно визначати за допомогою матриць розподілення вірогідності ризикової події, які враховують градації щільності вірогідності виникнення ризику та градації витрат часу, що необхідні для усунення відмов в роботі відповідних елементів.

3. Саме розрахунок матриць розподілення вірогідності ризиків пропонується як метод визначення оцінки ризиків виникнення аварійних подій під час експлуатації дизелів морських суден.

Перелік 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. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності суднових енергетичних установок у водному середо-

вищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.

5 Столярик Т.О. Прогнозування механічних втрат в судових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: 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 судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: 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.

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. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Pí'st'ek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // Applied Ocean Research, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

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.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.д

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

13. Тимошук О.М., Мельник О.В. Дослідження безпеки бункерування на водному транспорті // Водний транспорт. Збірник наукових

праць. – 2020. – Вип. 1(29). – С. 5-13. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01.

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 // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

17. 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). – С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

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.

20. Даки О.А., Бойко С.О. Математична модель функціональних систем суднових комплексів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 1(29). – С. 124-131. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.14.

21. 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.