

Sagin S.V., Zablotskyi Yu.V.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF ELEMENTS OF THE MAIN POWER PLANT OF WATER TRANSPORT

Consider the issue of diagnosing the technical condition of the power plant of water transport. The performed analysis of the design and operation of power plants of water transport means determined that their improvement should be carried out in the following directions: increasing the stability of the work of the parts of the crank-connecting mechanism and the motion bearings; reduction of energy losses due to the increase of elastic damping properties of the lubricant, which ensures lubrication and cooling of the diesel components of the shaft and the shaft line; minimization of hydraulic losses and contact loads in high-pressure fuel equipment; development of methods for diagnosing the technical condition of diesel engine components and parts, as well as the functional characteristics of working fluids that ensure useful work. This was confirmed by the results of tests performed on 6EY22AW marine diesel engines, which consisted in measuring the mechanical efficiency coefficient at different operating modes (corresponding to 35, 50, 65 and 80% load) at different intensities replenishment of the lubrication system (after every 100 hours of operation, after every 25 hours of operation and after every 10 hours of operation) and according to various options of adding surface-active substances to engine oil. As a result of experimental studies, it was established that the reduction of mechanical losses of a diesel engine is proportional to the increase of its mechanical efficiency. This parameter during the operation of the Yanmar 6EY22AW diesel engine with the intensity of adding motor oil to the circulation lubrication system recommended by the manufacturer and without additional addition of surfactants to the volume of motor oil in the load range of 35...80% of the nominal load is within 0.722 ...0.842. The choice of the optimal mode of replenishment of the circulation system, as well as the addition of a surfactant with an optimal concentration to the total volume of the circulation system contributes to a 9.62-14.62% increase in the mechanical efficiency of the diesel engine and a corresponding reduction in its mechanical losses. At the same time, studies were carried out to determine the content of metal impurities entering the engine oil of the circulating lubrication system and the total alkalinity of the oil during 1,000 hours of diesel engine operation. At the same time, it was determined that the operating conditions, during which the highest values of the mechanical coefficient of useful action are observed, correspond to the cases of the lowest content of metal impurities in the lubricant and the highest values of the final alkaline number of the lubricant.

Key words: analysis, diagnosis, total alkalinity, water transport means, efficiency factor, technical condition control, control methods, engine oil, lubrication system, ship power plant, technical condition

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19

Сажін С.В., Бондар С.А.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ГОЛОВНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Розглянути питання щодо розробки методу діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту. Визначено, що експлуатація пропульсивних комплексів засобів водного транспорту пов'язана з забезпеченням надійності, безвідмовності та належного технічного стану всіх його складових – корпусу судна, головного

двигуна та гребного гвинта. При цьому найбільша увага приділяється саме головній енергетичній установці, саме від її здатності виконувати функції з перетворення енергії палива на обертальних рух валу та з'єднаного з ним гребного гвинта залежать швидкісні та маневрові характеристики судна. Навіть тимчасова відсутність здатності головної енергетичної установки забезпечувати рух судна може призвести до необоротних наслідків та стати причиною виникнення аварій, забруднення довкілля, втрати вантажу, зіткнення суден, нанесення шкоди судновому екіпажу. Зазначено, що критерії оцінки виникнення аварійних подій ґрунтуються на суворо встановлених рівнях ризику. Ідентифікація ризиків виконується виходячи з аналізу небезпек, пов'язаних з потоком відмов механізмів в зазначений період експлуатації. Така ідентифікація була виконана шляхом збору, обробки та аналізу статистичних даних машинних журналів з експлуатації головної енергетичної установки судна класу «річка-мор» за п'ятнадцятирічний період експлуатації. Збір та обробка статистичних даних проводилась для наступних інтервалів – 1...5 років, 5...10 років, 10...15 років, причому на протязі всього зазначеного часу головна енергетична установка експлуатувалася за системою безперервного технічного обслуговування. Аналіз отриманої інформації дозволив розрахувати значення параметру потоку відмов суднового середньооборотного дизеля Wärtsilä 6R32BC, який виконував функції головного двигуна на судні дедекейтом 6450 тонн. Були визначені значення потоку відмов; градації вірогідності виникнення ризику та витрат, що пов'язані з їх усуненням, а також розраховані матриці розподілення вірогідності виникнення ризику елементів суднового дизелю. Саме розрахунок матриць розподілення вірогідності ризиків пропонується як метод діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту.

Ключові слова: безвідмовність, вірогідність виникнення ризику, головна енергетична установка, діагностування, засоби водного транспорту, метод, надійність, оцінка ризику, ризик, технічне обслуговування, технічний стан

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Експлуатація пропульсивних комплексів засобів водного транспорту пов'язана з забезпеченням надійності, безвідмовності та належного технічного стану всіх його складових – корпусу судна, головного двигуна та гребного гвинта [1, 2]. При цьому найбільша увага приділяється саме головній енергетичній установці, саме від її здатності виконувати функції з перетворення енергії палива на обертальних рух валу та з'єднаного з ним гребного гвинта залежать швидкісні та маневрові характеристики судна [3, 4]. Навіть тимчасова відсутність здатності головної енергетичної установки забезпечувати рух судна може призвести до необоротних наслідків та стати причиною виникнення аварій [5, 6] забруднення довкілля [7, 8], втрати вантажу [9, 10], зіткнення суден [11, 12], нанесення шкоди судновому екіпажу [13, 14].

Безпечна експлуатація засобів водного транспорту знаходиться під постійним контролем та регулюванням класифікаційних товариств, національних та міжнародних організацій, діяльність яких спрямована на судноплавство та морські перевезення. Одним з документів, що розроблено та прийнято Міжнародною морською організацією (International Maritime Organization – IMO), є Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню (International Safety Management Code – ISM Code), головна мета якого – забезпечення безпеки на морі, запобігання нещасним випадкам або загибелі людей та уникнення заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу, зокрема морському середовищу та майну. ISM Code визначає обов'язки судноплавних компаній з організації технічного обслуговування судових технічних засобів. Також Комітетом безпеки на морі та Комітетом захисту морського навколишнього середовища IMO затверджено «Посібник з формальної оцінки безпеки» (Formal Safety Assessment – FSA), яке може бути використане для формалізованої оцінки безпеки різних технічних та експлуатаційних рішень. Впровадження стандартів управління безпечною експлуатацією суден та запобігання забрудненню, що визначені

ISM Code, посилило вимоги щодо забезпечення безпеки на морі. Відповідно до положень Глави IX Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (International Convention for the Safety of Life at Sea – SOLAS-74), дії будь-якої компанії, що здійснює діяльність у галузі торговельного мореплавання, та її методи управління на судні повинні здійснюватися на основі схваленої Адміністрацією системи управління безпекою (Safety Management System – SMS). Кожне судно має бути оглянуте Адміністрацією прапора з видачею відповідного сертифіката (свідоцтво про управління безпекою). Поряд з багатьма вимогами до SMS вона повинна включати процедури, що забезпечують передачу повідомлень адміністрації керуючої компанії про випадки недотримання вимог, нещасні випадки та небезпечні ситуації, їх розслідування та аналіз з метою вдосконалення безпеки. Компанія, у свою чергу, має встановити процедури дій щодо усунення виявлених недоліків. При цьому процедури та керівні принципи повинні тлумачитися у поєднанні з іншими процедурами, що містяться у документації щодо SMS.

Інструменти FSA та SMS засновані 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 [3, 15, 16].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пропульсивні комплекси засобів водного транспорту суден поєднують між собою головну енергетичну установку, 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 [4, 17].

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 [8, 18, 19]. Оцінка технічного стану судових дизелів (головних та допоміжних) виконуються шляхом безпосереднього спостереження за їх роботою та контролю їх основних експлуатаційних показників, шляхом діагностування їх технічного стану, а також за допомогою аналізу статистичних даних з їх попередньої експлуатації [3, 20]. 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 [21, 22].

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 [23, 24].

Критерії оцінки виникнення аварійних подій ґрунтуються на суворо встановлених рівнях ризику. Якщо ризик знаходиться у прийнятній зоні, то немає потреби вживати якихось дій для зменшення ступеню ризику, а саме мінімізувати фактори ризику та їх наслідки (технічні або економічні) [25, 26]. Ідентифікація ризиків виконується виходячи з аналізу небезпек, пов'язаних з потоком відмов механізмів в зазначений період експлуатації.

Формулювання цілей статті. Ціллю статті була розробка методу діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту, який дозволяє визначити вірогідність виникнення ризику аварійного стану судового дизелю з підвищеним терміном експлуатації.

Виклад основного матеріалу. Досягнення поставленої цілі здійснювалось шляхом коригування оптимального методу технічного обслуговування для конкретної групи суден, що

знаходяться в технічному менеджменті малих судноплавних компаній і часто відчують брак фінансування на придбання змінно-запасних частин для судових енергетичних установок [27, 28]. Для розв'язання цього завдання збиралися та оброблялися статистичні дані машинних журналів з експлуатації головної енергетичної установки судна класу «річка-мор» за п'ятнадцятирічний період експлуатації. Збір та обробка статистичних даних проводилась для наступних інтервалів – 1...5 років, 5...10 років, 10...15 років, причому зазначимо, що на протязі всього зазначеного часу головна енергетична установка експлуатувалася за системою безперервного технічного обслуговування, що відповідало вимогам ISM-Code [9, 11, 29]. Аналіз отриманої інформації дозволив розрахувати значення параметру потоку відмов судового середньообертового дизеля Wärtsilä 6R32BC, який виконував функції головного двигуна на судні дедвейтом 6450 тонн.

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 на рис. 1, 2 ці елементи позначені від 1 до 18).

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 замін 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

$$\omega_\Sigma(t_i) = \sum_1^i \left(\omega_i(t_i) \frac{i+1\sqrt{i}}{i^i} \right);$$

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 табл. 1.

Таблиця 1 – Визначення параметру потоку відмов за різний експлуатаційний період головної енергетичної установки судна дедвейтом 6450 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. Форсунки	0,082	0,091	0,101	0,123
2. З'єднання та ущільнення	0,063	0,077	0,079	0,080
3. Паливні насоси високого тиску	0,042	0,047	0,055	0,058
4. Трубопроводи високого тиску	0,027	0,034	0,037	0,038
5. Регулятор частоти обертання	0,023	0,024	0,027	0,028
6. Розподільний вал	0,017	0,020	0,018	0,018
7. Охолоджувач мастила	0,016	0,017	0,017	0,017
8. Мотильові підшипники	0,033	0,034	0,041	0,042
9. Охолоджувач повітря	0,017	0,010	0,018	0,018
10. Системи підготовки палива	0,011	0,012	0,012	0,013
11. Клапани системи розподілення газів	0,011	0,011	0,013	0,014
12. Циліндрові кришки	0,016	0,018	0,021	0,022
13. Поршні та поршневі кільця	0,013	0,017	0,019	0,020
14. Циліндрові втулки	0,011	0,007	0,015	0,017
15. Газотурбонагнетач	0,006	0,004	0,008	0,009
16. Редуктор	0,009	0,008	0,010	0,011
17. Рамові підшипники	0,004	0,003	0,005	0,006
18. Упорний підшипник	0,021	0,019	0,022	0,024

На підставі даних, що наведені в табл. 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, 30, 31]. При цьому градації вірогідності виникнення ризику R та градації витрат C на усунення наслідків відмов, що пов'язані з аварійними ситуаціями визначались відповідно до табл. 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.

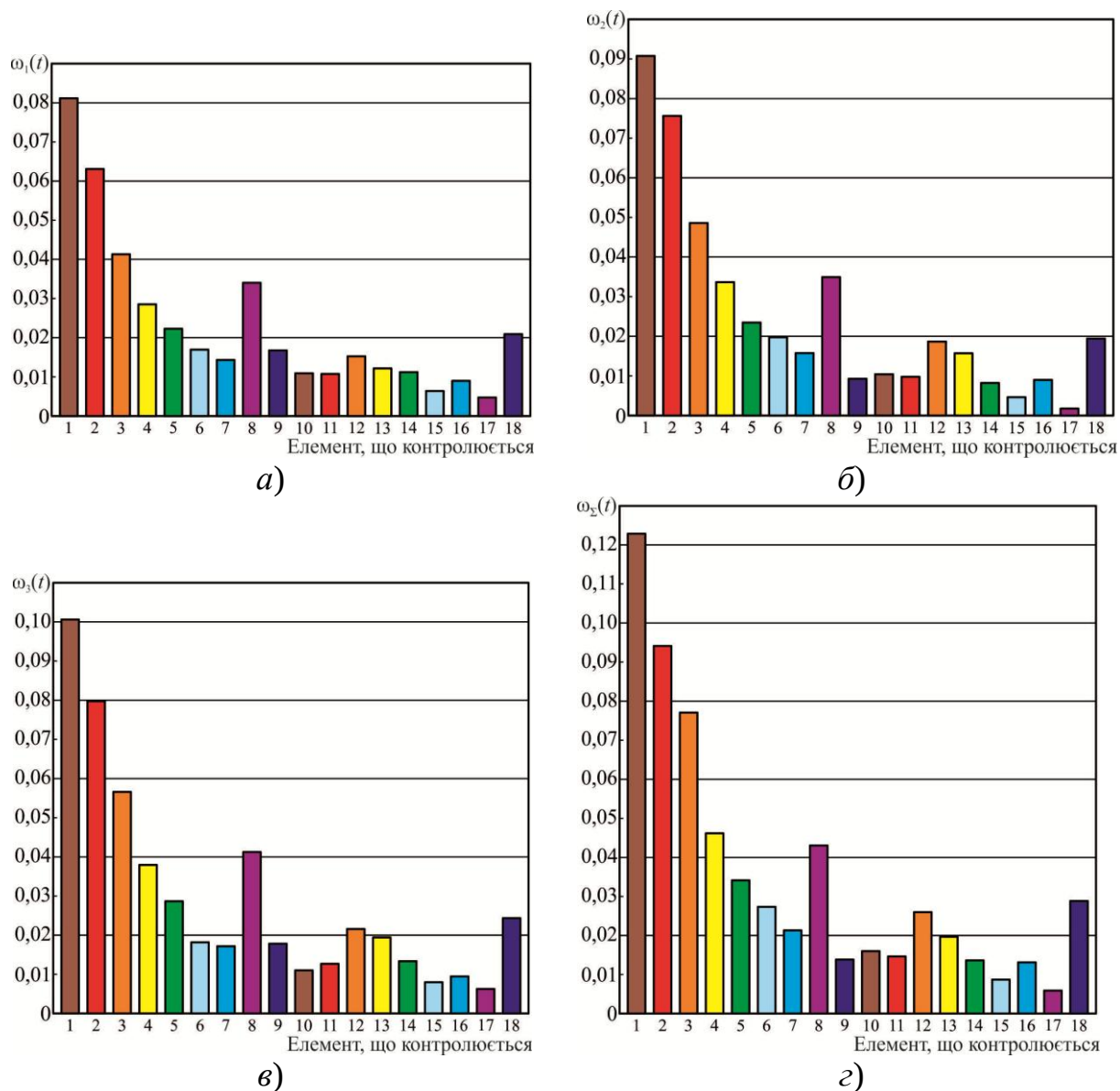


Рисунок 1 – Параметр потоку відмов $\omega_i(t)$ за різний експлуатаційний період роботи дизеля Wärtsilä 6R32BC в складі пропульсивного комплексу судна дедвейтом 6450 тонн:
 а – 1...5 років; б – 5...10 років; в – 10...15 років; г – загальний потік відмов

У 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 дизелі – 1...5 років, 5...10 років, 10...15 років.

Параметр C , що входить до матриці розподілення вірогідності виникнення ризику, також визначає градації трудомісткості усунення відмов. У табл. 2 представлені градації параметра C з відповідними кількісними характеристиками трудомісткості ремонту T . Під трудомісткістю ремонту тут розуміється добуток середньої трудомісткості одного ремонту T_1 (вираженої в людино/годин) і середньої кількості відмов $q(\delta t)$ на проміжку часу експлуатації $T = q(\delta t) \cdot T_1$, що розглядається.

Таблиця 2 – Градації вірогідності виникнення ризику та витрат

Градація вірогідності виникнення ризику R	Щільність вірогідності виникнення ризику	Градації витрат C	Трудовитрати, щодо усунення відмови елемента двигуна, люд/год
1	0,01...0,17	1	0...16
2	0,17...0,33	2	16...32
3	0,33...0,5	3	32...48
4	0,5...0,67	4	48...64
5	0,67...0,83	5	64...80
6	0,83...1,0	6	більше 80

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

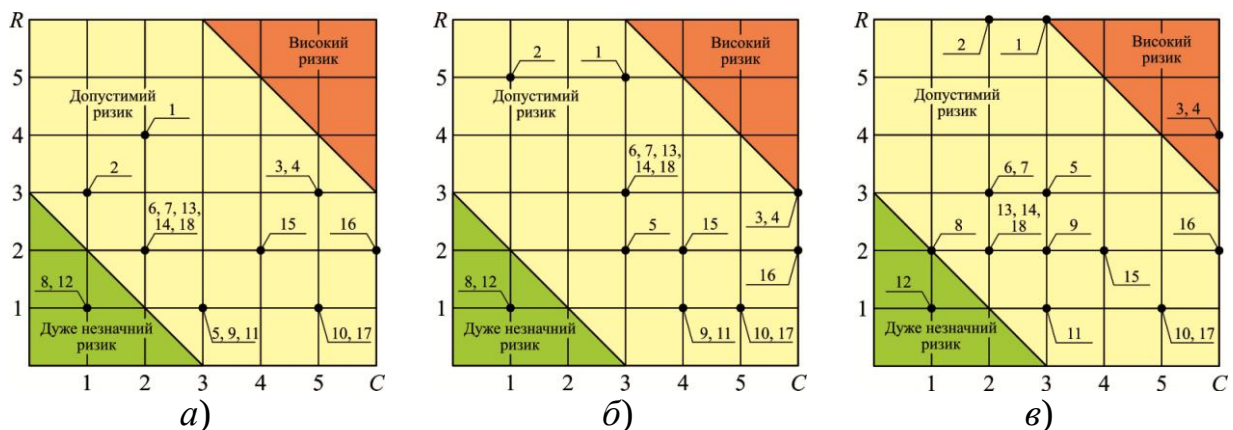


Рис. 2. Матриці розподілення вірогідності виникнення ризику елементів суднового дизелю Wärtsilä 6R32BC за різний період експлуатації:
 а – 0...5 років; б – 5...10 років; в – 10...15 років

Аналізуючи наведені дані потоку відмов (рис. 1, а, б, в) за період експлуатації 1...5 років, 5...10 років, 10...15 років, можна відзначити, що стабільно високу ймовірність настання ризику мають відмови форсунок. В останньому п'ятирічному циклі в область високого ризику додані паливні насоси високого тиску та трубопроводи високого тиску.

Наслідки відмов основних елементів головної енергетичної установки (середньообертового дизеля Wärtsilä 6R32BC) судна типу «річка-море» дедвейтом 6450 тонн наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Наслідки відмов основних елементів головної енергетичної установки (середньообертового дизеля Wärtsilä 6R32BC) судна дедвейтом 6450 тонн

Елемент головної енергетичної установки	Середня тривалість ремонту, то пов'язаного з ним часу виведенням судна з експлуатації, год	Відносна частина втраченого часу, пов'язаного з виведенням судна з експлуатації, %
1	2	3
Циліндро-поршнева група	164	53,59
Газотурбонагнітач	46	15,03
Паливний насос високого тиску	36	11,76
Паливна система	16	5,24

Закінчення табл. 3

1	2	3
Система охолодження	9	2,94
Форсунка	23	7,52
Циркуляційна система мащення	8	2,61
Пуско-реверсивна система	4	1,31
Загальний час	306	100

Стосовно стандартів управління безпечної експлуатації головних енергетичних установок засобів водного транспорту найбільшу загрозу безпечній роботі становить недостатнє розпізнавання (визначення) небезпеки, оскільки не будучи правильно визначеними, небезпеки не можуть бути належним чином оцінені та взяті під контроль. «Оцінка ризику» – це ретельне дослідження небезпек, які могли б заподіяти шкоду людям, шкоду довкіллю та вантажу, або шкоду технологічному процесу, що здійснюється на судах. Оцінивши ризик можна вирішувати, чи достатньо вжитих запобіжних заходів, або для запобігання шкоди має бути зроблено більше. Мета полягає в тому, щоб на судах звести до мінімуму аварійні події з енергетичною установкою та погіршення технічного стану суднового обладнання та безпосередньо корпусу судна. Оцінка ризику складається з наступних етапів: визначення ризиків, пов'язаних із виробничим процесом; припущення щодо наслідків події, яка може статися внаслідок цієї небезпеки, та ступені можливої шкоди; приблизна оцінка ймовірності наступних повторень подібних подій; ухвалення рішення прийнятний (припустимий) даний ризик, чи ні. Оцінка ризику – це процес систематичного зменшення ризику. Це процес прийняття рішень щодо проведення робіт, приймаючи або змінюючи ступінь ризику. Процес обмежує та утримує ризик ідентифікованих небезпек у певних допустимих межах.

Висновки. На підставі виконаних досліджень визначимо наступне.

1. Оцінка ризиків та вибір правильного методу технічного обслуговування деталей та вузлів головної енергетичної установки є дієвим фактором підвищення її подальшої безаварійної експлуатації протягом усього життєвого циклу. Особливо ця оцінка актуальна для головної енергетичної установки судна та систем, які забезпечують її функціонування.

2. В результаті аналізу статистичних даних щодо експлуатації суднового дизеля Wärtsilä 6R32BC у складі пропульсивного комплексу судна типу «річка-море» дедвейтом 6440 тонн за п'ятнадцятирічний період експлуатації з інтервалом кожні п'ять років встановлено, що потік відмов за кожним із тимчасових інтервалів має різне значення для всіх розглянутих деталей та вузлів, що обумовлює різний ступінь ризику для двигуна: найбільшу ймовірність ризику за період експлуатації мають форсунки; в інтервалі експлуатації 10...15 років зростає ймовірність ризику виникнення аварійної ситуації для паливних насосів високого тиску та трубопроводів високого тиску, а також підвищується ризик виникнення аварійної ситуації для циліндрових кришок, циліндрових втулок та поршневих кілець.

3. 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 діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

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. 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.
3. Даки О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
4. 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.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.
5. 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>.
6. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
7. 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 of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
8. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності судових 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.
9. Майданевич С.Б., Тимошук О.М. Суб'єкти та принципи міжнародного морського права // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.
10. 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 Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.
11. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal of Maritime Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
12. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.
13. Даки О.А., Якусевич Ю.Г., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Модель системи кондиціонування та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних суднах і газовозах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.
14. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
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. 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.

17. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.

18. Сагин С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств : науч. -техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – С. 79-89.

19. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.

20. 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 Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>

21. 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.

22. 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>.

23. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-100.

24. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – С.109-118.

25. Сагин 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. – С.116-125.

26. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.

27. 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>.

28. 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: [10.33298/2226-8553.2023.1.37.06](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06).

29. 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. – С. 118-131. doi: [10.31653/smf46.2023.118-131](https://doi.org/10.31653/smf46.2023.118-131).

30. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : [10.31653/smf341.2020.20-25](https://doi.org/10.31653/smf341.2020.20-25).

31. 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: [10.33298/2226-8553/2020.1.29.01](https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01).

REFERENCES

1. Golikov V.A., Golikov V.V., Onishchenko O.A. Use of scientific and methodological technologies in maritime and inland waterway transport // *Water transport*. – 2022. – Vol. 1(35). – P. 5-14. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.01.
2. Bohomia V., Bazhak O. // *Water transport* – 2022. – Vol. 1(35). – P. 25-32. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.03.
3. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // *Water transport*. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
4. Bazhak O.V. Method of increasing safety of shipping // *Water transport*. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 148-159. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.17.
5. 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.
6. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018*. – № 7-8. – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
7. 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 of Maritime Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – P. 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.
8. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment *Water transport*. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
9. Maydanevich S.B., Tymoshchuk O. Subjects and principles of the international maritime law // *Water transport*. – 2021. – Vol. 3(34). – P. 39-47. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.05.
10. 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 Maritime Science and Engineering*. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. https://doi.org/10.3390/jmse11010120.
11. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal of Maritime Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – P. 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
12. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.
13. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V. Model of air conditioning and cooling system on modern oil-filling ships and gas carriers // *Water transport* – 2022. – Vol. 1(35). – P. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.
14. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // *American Scientific Journal*. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.
15. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // *Herald of the Odessa National Maritime University*. – 2018. – Vol. 4(57). – P. 109-120.
16. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // *Automation of ship technical facilities*. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
17. Sagin S.V. Reduction of energy losses in precision steam fuel equipment of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2018. – Vol. 38. – P. 132-142.

18. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Optimization of operating modes of the exhaust gas bypass system of marine medium-speed diesel engines // Automation of ship technical facilities. – 2019. – Vol. 25. – P. 79-89.
19. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Marine diesel exhaust gas management to ensure environmental performance // Automation of ship technical facilities. – 2018. – Vol. 24. – P. 72-80.
20. 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 Maritime Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>
21. 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.
22. 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>.
23. Sagin S.V. Determination of the range of lubricant viscosity stratification in tribological systems of marine diesel engines // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2019. – Vol. 1(58). – P. 89-100.
24. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // Ship power plants. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
25. Sagin S.V., Matskevych D.V. Optical characteristics of boundary lubricating layers of oils used in circulation systems of marine diesel engines // Ship power plants. – 2011. – Vol. 26. – P. 116-125.
26. Sagin S.V., Zablotzky Yu. V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // Problems of technical. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.
27. 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>.
28. Sagin S.V., Bondar S.A., Stoliaryk T.O. Assessment of the reliability of marine diesel engines according to the technical condition of engine oil of circulating lubrication systems // Water transport. – 2023. – Vol. 1(37). – P. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
29. Sagin S.V., Sagin A.S. Control and diagnosis of reliability and economy of diesel engines of sea and river means of transport // Ship power plants. – 2023. – Vol. 46. – P. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
30. Zverkov D.O., Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine diesel engines. – 2020. – Vol. 40. – P. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
31. Timoshchuk O.M., Melnik O.V. Research of safety of bunking on maritime transport // Water transport. – 2020. – Vol. 1(29). – P. 5-13. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29.01.
32. Zablotzky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

Sagin S.V., Bondar S.A.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF ELEMENTS OF THE MAIN POWER PLANT OF WATER TRANSPORT

Consider the issue of developing a method for diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport. It was determined that the operation of propulsion complexes of water transport means is related to ensuring the reliability, reliability and proper technical condition of all its components - the ship's hull, the main engine and the propeller. At the same time, the greatest attention is paid to the main power plant, it is on its ability to perform the functions of

converting fuel energy into rotational movements of the shaft and the propeller connected to it that the speed and maneuvering characteristics of the vessel depend. Even a temporary lack of the ability of the main power plant to ensure the movement of the ship can lead to irreversible consequences and cause accidents, environmental pollution, loss of cargo, ship collisions, harm to the ship's crew. It is noted that the criteria for assessing the occurrence of emergency events are based on strictly established risk levels. Risk identification is performed based on the analysis of hazards associated with the flow of mechanism failures in the specified period of operation. Such identification was carried out by collecting, processing and analyzing statistical data of engine logs from the operation of the main power plant of the "River-Sea" class ship over a fifteen-year period of operation. The collection and processing of statistical data was carried out for the following intervals – 1...5 years, 5...10 years, 10...15 years, and during the entire specified time, the main power plant was operated according to the continuous maintenance system. The analysis of the received information made it possible to calculate the value of the failure flow parameter of the Wärtsilä 6R32BC marine medium-speed diesel engine, which served as the main engine on a 6450-ton vessel. The failure rate values were determined; gradations of the probability of risk occurrence and the costs associated with their elimination, as well as calculated matrixes of the distribution of the probability of risk occurrence of elements of the marine diesel engine. It is the calculation of risk probability distribution matrices that is proposed as a method of diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport.

Key words: diagnostics, main power plant, means of water transport, method, probability of risk occurrence, reliability, risk assessment, risk, technical condition, technical maintenance

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.20

Cazin C.B., Cazin C.C.

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ БЕЗПЕЧНОГО РОЗХОДЖЕННЯ

Розглянуті методи контролю та управління рухом морських суден під час маневрування з метою забезпечення їх безпечного розходження за умовою хорошої видимості. Для вирішення питання щодо забезпечення безпеки судноплавства були розглянуті підмножини ситуацій надмірного зближення суден з різною взаємною відповідальністю та з різним розташуванням суден один від одного, що регламентуються відповідними вимогами Міжнародних правил запобігання зіткнення суден у морі які встановлюють взаємодію суден залежно від ситуації, що виникла під час небезпечного зближення.

Визначено, що процес розходження двох суден передбачає зміну ситуації небезпечного зближення на допустиму безпечну ситуацію за допомогою маневру розходження. Вказано, що для забезпечення процесу безпечного розходження важливою складовою є управління ситуацією зближення, за допомогою якого визначається потенційна можливість зміни небезпечної ситуації шляхом виконання маневру розходження. Також зазначено, що через велику кількість різноманітних ситуацій у взаємних розташуваннях суден, виникають певні труднощі в коректності дій, що приймаються з метою забезпечення їх безпечного розходження. Тому питання формалізації процесу розробки методів управління рухом судна, у частині маневрування суден під час розходження, а також визначення методу управління рухом суден