

УДК 629.5.012
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2024.3\(496\).1](https://doi.org/10.15589/znp2024.3(496).1)

ON THE DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL PROJECT OF AN SEARCH AND RESCUE BOAT

ПРО РОЗРОБКУ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОГО КАТЕРА

Alina O. Astakhova
alina.astakhova@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8686-439X

Yuriy V. Badyul
yuriibadiul@gmail.com
ORCID: 0009-0000-9567-8516

Yuriy M. Pashchenko
yurii.pashchenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8307-0316

А. О. Астахова,
викладач

Ю. В. Бадюл,
магістр

Ю. М. Пашченко,
канд. техн. наук, доцент

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. Target. The purpose of the study is to improve the design process of search and rescue boats using a fundamentally new method of determining their main elements at the initial stages of design.

Method. Conceptual design methods were used to analyze and select the main dimensions of the search and rescue boat.

The results. A model of the operation of the search and rescue boat was created at the stage of conceptual development of its project using the principles of product-oriented and systems-oriented design.

In the virtual environment, with the help of the Bentley Engineering software complex, the formation of the theoretical surface of the boat was made, the seaworthiness of the boat was determined, and the requirements of the classification society for its reliability were ensured.

When solving the problems of product-oriented design of the ship with the help of regression equations for breaking down ship works into parts, estimating labor costs and the cost of materials and equipment, a model of building a ship at a conventional shipyard was used, and the cost price and construction term of the boat were determined.

Scientific novelty. The new task of creating a search-and-rescue boat capable of solving various tasks on rivers and the sea and providing it with moderate versatility based on the analysis of functioning tasks and the cost of performing functional operations was considered.

Practical significance. Developed on the basis of modern achievements in the theory of research design of ships, the software complex for optimizing the selection of the main elements of vessels of the service and auxiliary fleet solves the issue of building efficient specialized vessels to replenish the fleet of Ukraine.

Key words: search and rescue boat; conceptual design; product-oriented design; system-oriented design; optimization; analytical research.

Анотація. Метою дослідження є вдосконалення процесу проектування пошуково-рятувальних катерів за допомогою принципово нової методики визначення їх головних елементів на початкових стадіях проектування.

Методика. Методами концептуального проектування проведено аналіз і вибір головних розмірів пошуково-рятувального катера.

Результати. Створена модель функціонування пошуково-рятувального катера на етапі концептуальної розробки його проекту з використанням принципів продукт-орієнтованого та систем-орієнтованого проектування. В віртуальному середовищі за допомогою комплексу програм «Bentley Engineering» зроблено формування теоретичної поверхні катера, визначені морехідні якості катера, забезпечені вимоги класифікаційного товариства до його надійності.

При розв'язанні задач продукт-орієнтованого проектування судна за допомогою регресійних рівнянь розкладання судових робіт на частини, оцінки трудових витрат та вартості матеріалів і обладнання використана модель побудови судна на умовній верфі, визначена собівартість та термін побудови катера.

Наукова новизна. Розглянуто нову задачу створення пошуково-рятувального катера, здатного вирішувати різні задачі на річках і морі та надання йому помірної універсальності на основі аналізу задач функціонування та вартості виконання функціональних операцій.

Практична значимість. Розроблений на основі сучасних досягнень теорії дослідницького проектування суден програмний комплекс оптимізаційного вибору головних елементів суден службово-допоміжного флоту вирішує питання побудови ефективних спеціалізованих суден для поповнення флоту України.

Ключові слова: пошуково-рятувальний катер; концептуальне проектування; продукт-орієнтоване проектування; систем-орієнтоване проектування; оптимізація; аналітичне дослідження.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглянуто задачу створення пошуково-рятувального катера, здатного вирішувати різні задачі на річках і морі та надання йому помірної універсальності на основі аналізу задач функціонування та вартості виконання функціональних операцій. Для досягнення мети задачі виконано дослідження та вибрані найкращі основні розміри катера на етапі концептуального проектування, реалізовані продукт- та систем-орієнтовані напрямки етапу проектування.

Продукт-орієнтований напрямок проектування визначає вартість будівництва катера, тоді як в систем-орієнтованій частині знайдені головні розміри та характеристики того варіанту проектного рішення, який, при розумних витратах на стадіях виробництва та технічної підтримки експлуатації катера, визначить найвищу його ефективність при заданих умовах активного періоду використання катера як складної системи.

Оптимізацію витрат та ефективності здійснювали на основі програми «Rescue Ship» кафедри теорії та проектування суден НУК [1], яка оптимізує основні розміри катера і його характеристики при виконанні операцій по заданому маршруту.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У вітчизняній практиці актуальність теми визначається:

- відсутністю систематичних досліджень, присвячених обґрунтуванню показників та критеріїв ефективності рятувальних катерів, формулюванню та вирішенню завдань визначення головних елементів на початкових стадіях їх проектування;

- суттєвим впливом випадкових факторів експлуатації на показники ефективності катерів, і, відповідно, необхідністю переходу до вирішення стохастичних завдань проектування.

- відсутністю програмних комплексів, які б на початкових етапах проектування могли б при обмеженій кількості вихідних даних, визначити основні характеристики рятувального катера, орієнтуючись на досягнення найбільшої його ефективності.

Базові рішення з цих напрямів отримано в роботах В.О. Некрасова [2,3,4].

У зарубіжній практиці подібний підхід в основному використовується для проектування та побудови великих суден [5,6,].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Невирішеною частиною проблеми є відсутність систематичних досліджень критеріїв ефективності пошуково-рятувальних катерів та визначення їх головних елементів на початкових стадіях їх проектування за допомогою концептуального проектування.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Вдосконалення процесу проектування пошуково-рятувальних катерів за допомогою розробки нової методики визначення їх головних елементів на початкових етапах проектування з максимально можливими експлуатаційними характеристиками.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використовувались методи теорії і проектування суден, аналізу і теорії ймовірності.

Об'єктом дослідження є процес концептуального проектування пошуково-рятувального катера.

Предметом дослідження є максимальна ефективність катера.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Забезпечення безпеки людини на морі завжди було найважливішою проблемою судноплавства. Небезпека життю людини на морі спричинена аварійною ситуацією, яка може виникнути на судні у будь-який момент часу, починаючи з виходу його в рейс і закінчуючи поверненням до порта, а також обмеженням часу перебування людини у відкритому морі.

Бурхливий розвиток науково-технічного прогресу, а саме розвиток новітніх інформаційно-когнітивних технологій позитивно вплинув на ситуацію і викликав потребу у розробці нових концепцій і створення у всесвітньому масштабі ефективної системи пошуку і рятування (CAP – search and rescue).

Так, було укладено Міжнародну конвенцію з пошуку і рятування на морі (SAR-79), згідно з якою створено міжнародну систему пошуку і рятування з метою забезпечення, незалежно від району Світового океану, у якому судно потерпає аварію, дій з пошуку і рятування людей, що у наслідок аварії опинилися у воді, координують дій між розташованими в цьому районі службами CAP.

На виконання вимог IAMSAR щодо покращення координації керування пошуком і рятуванням людей, що терплять лихо на морі, незалежно від їхнього

статусу, місцезнаходження, громадянства або обставин, також авіаційного і морського пошуку і рятування суден, літальних апаратів, що терплять лихо на морі, і ліквідації аварійних розливів нафти на морі, Україна створила єдину систему пошуку і рятування людей на морі (ЄСПРМ). ЄСПРМ – це система органів, організацій і підприємств, які забезпечують організацію й здійснення операцій з пошуку і рятування людей, суден та інших матеріальних об'єктів під час лиха на морі.

Україні потрібно оновлення плавскладу рятувальних суден, тому ця робота є актуальною.

В основу концепції, а, відповідно, і в основу подальших перспективи розвитку сучасних пошуково-рятувальних катерів з метою підвищення рівня їх технічного удосконалення, повинна бути розроблена відповідна система оцінок критеріїв ефективності катера.

Відповідно до проекту Стратегічного плану розвитку «КП «Морська пошуково-рятувальна служба» у її розпорядженні має з'явитись новий швидкісний пошуково-рятувальний катер проекту «Patrol 26 WPSAR». Його для казенного підприємства збудує естонська компанія «BalticWorkboats» [7].



Рис. 1. Пошуково-рятувальний катер проекту «Patrol 26 WPSAR»

Основні положення, на які в останні роки звертається особлива увага при проектуванні рятувальних суден:

- забезпечення можливості виконання рятувальних робіт в складних метеорологічних умовах чи в несприятливій обстановці;
- використання останніх досягнень науки та техніки;
- зниження відносних експлуатаційних витрат.

Ці положення потребують формуванню якісної нової концепції проектування та побудови рятувальних суден, що призначені для надання допомоги в морі аварійним суднам. В основу концепції подальшого розвитку сучасних рятувальних суден з метою підвищення рівня їх технічного удосконалення, повинна бути покладена розробка відповідної системи критеріальних оцінок ефективності рятувального судна.

З усієї сукупності величин, що підлягають визначенню при розробці проекту судна, виділяються основні елементи – головні розміри L , B , T , H

і коефіцієнти повноти α , β , δ . Значення цих величин визначаються ранніх етапах проектування. Всі інші елементи і характеристики судна: водотоннажність D , потужність СЕУ N , вантажомісткість W_v тощо, залежать від основних елементів і можуть бути знайдені на наступних стадіях.

Традиційний шлях визначення декількох взаємопов'язаних величин полягає в складанні системи рівнянь за кількістю невідомих, вирішення якої дає значення шуканих величин. При проектуванні судна задача визначення його основних елементів не може бути повністю і однозначно вирішена тільки аналітичним шляхом. Перешкоджають цьому обставини, характерні для проектних розрахунків:

- число шуканих невідомих перевищує число рівнянь;
- в ряді випадків, в розрахунках використовуються не рівняння, а нерівності;
- крім аналітичних даних, використовуються залежності, виражені в графічній і табличній формах;
- поряд з однозначно визначеними величинами фігурують величини, що змінюються в якихось межах, чисельні значення яких приймаються проектантом на його розсуд.

Щоб обійти зазначені труднощі, в теорії проектування суден розроблені численні методи, що дозволяють вирішити поставлену задачу. За підходом до визначення основних елементів судна всі ці методи можна поділити на два: метод послідовних наближень і метод варіацій. В основі методу послідовних наближень лежить те, що всі розрахунки і побудови, пов'язані з проектуванням судна і визначенням його елементів, виконуються в кілька етапів або наближень. При цьому в кожному наступному наближенні уточнюються елементи, встановлені в попередніх наближеннях.

Уточнення здійснюється за рахунок застосування більш точних і детальних методик і побудов, або шляхом врахування вимог, що пред'являються до судна, які на попередніх етапах не бралися до уваги. Так повторюється до тих пір, поки не буде забезпечене виконання всіх вимог, що пред'являються до проєктованого судна, які перевірені з найбільш можливою точністю.

Слід мати на увазі, що багатоетапність проектування має зв'язок зі стадіями розробки проекту. Робота по кожній стадії також ведеться методом наближень, що особливо характерно для початкових стадій, пов'язаних з обґрунтуванням його елементів і характеристик.

Всю процедуру розрахунків поділяють на окремі наближення багато в чому з суб'єктивних позицій. У якості об'єктивного критерію, що відокремлює одне наближення від іншого, може бути прийнята сукупність основних елементів, отриманих при виконанні циклу розрахунків та побудов.

Зміст розрахунків в кожному наближенні і їх послідовність не можуть бути однаковими для суден усіх типів. У той же час точність повторюваних розрахунків (наприклад, навантаження, опору води руху судна, місткості, остійності і т.і.) повинна підвищуватися від наближення до наближення.

Починаються розрахунки, здебільшого, з визначення водотоннажності, якщо в завданні на розробку проекту фігурує вантажопідйомність, або головних розмірів судна, якщо необхідно забезпечити певну кубатуру вантажних або пасажирських приміщень. Подальші розрахунки виконуються по самим різним схемам, що відрізняються і послідовністю, і глибиною опрацювання.

Таким чином, для цього методу характерно багаторазове повторення одних і тих же розрахунків (навантаження, ходовості та ін.) зі зростаючою точністю. Наприклад, водотоннажність проектного судна спочатку визначається найпростішим і швидким способом (за допомогою коефіцієнтів утилізації водотоннажності, коефіцієнта Нормана або укрупненого рівняння мас), потім виконується розрахунок укрупненого навантаження і лише на заключних етапах визначення елементів судна виконується обчислення усіх компонентів детального навантаження шляхом постатейного перерахунку по прототипу або безпосереднім розрахунком за кресленнями.

В основі методу варіацій лежить паралельна розробка сукупності варіантів проектного судна з подальшим зіставленням цих варіантів і вибором з них найкращого.

Так само, як і в попередньому випадку, немає і не може бути єдиної розрахункової схеми практичного втілення методу варіацій. Стосовно до задачі визначення основних елементів судна розроблені способи постійної водотоннажності і постійних головних розмірів, існує і багато інших розрахункових схем, що змінюються в залежності від типу судна та конкретної мети розрахунків. Можливо виділити лише характерні риси, що властиві різним підходам до практичної реалізації методу варіацій.

При визначенні основних елементів судна змінними параметрами можуть бути коефіцієнти теоретичного креслення, головні розміри судна чи співвідношення головних розмірів, тощо. Значення варійованих величин призначають, орієнтуючись на статистичні дані або на характеристики відповідного судна-прототипу. Діапазон, а, отже, і крок варійованих величин не повинні бути занадто малі.

Можливі різні підходи і до глибини проробки розглянутих варіантів. Іноді доводять всі варіанти до єдиного рівня, який відповідає виконанню всіх вимог, що можливо лише за рахунок відповідної зміни обраних спочатку основних елементів кожного варіанта, а іноді послідовно виключають з подальшого розгляду ті варіанти, які при вихідних значеннях варійованих параметрів не задовольняють якимось вимогам.

В обох випадках приходять до безлічі варіантів проектного судна, що відповідають всій сукупності техніко-експлуатаційних вимог, тобто до безлічі допустимих рішень проектною задачі. На заключному етапі розрахункової процедури по методу варіацій з допустимих рішень вибирають найкраще, використовуючи прийнятий критерій ефективності.

Недоліком даного методу є його трудомісткість, оскільки при його реалізації замість одного варіанту розробляється кілька. Кількість варіантів залежить від числа варійованих параметрів і кількості значень кожного з них. Для цього стосовно до конкретного типу судна розробляється алгоритм і розрахункові процедури, а на їх основі – відповідне програмне забезпечення, що дозволяє, використовуючи метод послідовних наближень при відомому значенні змінних параметрів, визначати шукані елементи і характеристики судна, а також прийнятий критерій ефективності. Програмне забезпечення вирішує також питання вибору кращого з отриманої безлічі варіантів судна, якому і буде відповідати оптимальне поєднання змінних параметрів.

Основним в теорії проектування суден вважається саме варіантний метод, адже повна реалізація принципів системного підходу до проектування, що потребують підпорядкування проектування усіх підсистем та технічних засобів єдиним вимогам оптимізації судна в цілому, можлива лише при одночасній оптимізації елементів судна та його підсистем в рамках єдиної задачі.

За останній час в розвитку інженерії з'явилося нове явище – концептуальне проектування – вид творчої діяльності в процесі проектування перспективних суден.

На відміну від методів проектування старшого покоління, сучасні методи концептуального проектування враховують стохастичність реальних умов створення та експлуатації судна. У своїй основі ці методи віддають перевагу використанню теорії ймовірностей за якою розглядаються основні операції створення і експлуатації корабля. Крім того, за допомогою методу нелінійного програмування проводиться оптимізація таких операцій. Це забезпечує досягнення необхідного рівня ефективності та надійності майбутнього реального судна.

Перша задача концептуального проектування – створення електронної моделі судна. За нею з'являється друга – проектування конкретного віртуального судна на основі його електронної моделі і реалізація життєвого циклу створення судна.

Концептуальний проект розглядає весь комплекс операцій по створенню і експлуатації судна. При цьому кожна з операцій має дві основні характеристики – час виконання операції і вартість ресурсів операції. Типові часові проміжки, що розглядаються в концептуальному проектуванні, включають термін експлуатації судна, час подорожі туди і назад та інші.

З інтервалом часу, рівним тривалості життя судна T_{life} , період його створення є сумою проектного часу T_{design} і будівництва T_{build} . Період експлуатації судна ділиться на періоди ефективного використання $T_{j\text{ effec.use}}$, протягом яких судно реалізує своє призначення, періоди технічного обслуговування та ремонту $T_{k\text{ Repair}}$, та періоди капітального ремонту та утилізації $T_{m\text{ overhaul}}$.

$$T_{life} = T_{design} + T_{build} + \sum_{j=1}^J T_{j\text{ effec.use}} + \sum_{k=1}^K T_{k\text{ repair}} + \sum_{m=1}^M T_{m\text{ overhaul}}.$$

Результат комерційного використання судна зазвичай представляється як залежність від прибутку P , рівна різниці в доходах I та витрати E протягом терміну служби судна:

$$P = I - E,$$

де I – сума доходів $I_{j\text{ effec.use}}$ під час ефективного використання судна:

$$I = \sum_{j=1}^J I_{j\text{ effec.use}};$$

E – сума витрат на будівництво та реконструкцію судна $E_{prod\&renewal}$ і корисне використання судна $E_{effec.use}$:

$$E = E_{prod\&renewal} + E_{effec.use}.$$

$$E = E_{prod\&renewal} + E_{effec.use}$$

$$E_{prod\&renewal} = E_{design} + E_{build} + \sum_{k=1}^K E_{k\text{ repair}} + \sum_{m=1}^M E_{m\text{ overhaul}}.$$

Усі характеристики у цих формулах є випадковими величинами.

Продукт-орієнтоване проектування рятувального катера.

На етапах продукт-орієнтованого проектування основна увага приділяється оцінці вартості матеріальних та виробничих затрат. На рівні концептуального проекту вартість прогулянкового катера визначається як

$$P = CF \cdot A \cdot D^b \cdot v_s^c,$$

де A , b , c – коефіцієнти, що визначаються за допомогою регресійного аналізу продукції верфей; ці показники залежать від водотоннажності катера; CF – це коефіцієнт складності будівництва

$$CF = TF \cdot DF,$$

де DF – це коефіцієнт розміру $DF = 32,47 D^{-0,3792}$, D – водотоннажність катера, для катера коефіцієнт $TF = 2$.

Більш детально матеріальні та виробничі затрати визначаються за допомогою співвідношень для оцінки вартості матеріальних ресурсів та виробничих затрат на будівництво, ремонт та утилізацію катера. Ці співвідношення допомагає побудувати система структурного підрозділу суднобудівних робіт, наприклад, така, як SWBS/ESWBS.

Розширена система структурного підрозділу суднобудівельних робіт: ESWBS

Система ESWBS (Extended Ship Work Breakdown Structure) – розширена система SWBS, що використовується у Сполучених Штатах Америки для стандартизації робіт на суднобудівних верфях, поділяє масу катера на категорії (таблиця 1).

Таблиця 1

Номер групи	Назва SWBS	Опис групи
Група 100	Конструкції	Включає ваги обшивки, набору палуб, перебірок, надбудов та фундаментів
Група 200	Пропульсивна установка	Включає ваги дизелів, турбін, редукторів, валопроводів та рушіїв
Група 300	Електрична установка	Включає ваги обладнання для вироблення електричної енергії, силових кабелів, освітлюваних систем та аварійних систем електричного постачання
Група 400	Керування та спостереження	Ваги навігаційної системи, системи внутрішнього зв'язку, протипожежної системи, системи дистанційного спостереження, радіолокаторів, радіоприймачів та інших систем керування та контролю
Група 500	Допоміжні системи	Ваги систем кондиціонування, вентиляції, охолодження та пожежогасіння, дистильаторів, вантажних трубопроводів, систем кермового управління
Група 600	Обладнання та фурнітура	Ваги арматури корпусу, ізоляції, фарбування обладнання та фурнітури житлових приміщень, санітарних приміщень, офісів, медичних приміщень, сходів, пральних та майстерень
Група 700	Озброєння	Ваги системи артилерійської, торпедної і ракетної зброї, боєприпасів, систем їх зберігання.
Група F	Вантажі	Ваги всіх змінних вантажів: команди, баласту, води, провізії, палива, мастил і т. д.
Група M	Запаси	Ваги доданих систем, змін та інших доповнень (віртуальна категорія)
Група 800	Інтеграція/Інжиніринг	Невагова категорія. Включає такі елементи, як креслення корабля, 3D-моделі, забезпечення якості, сертифікаційні стандарти, обладнання для навчання
Група 900	Збірка, сервіси та підтримка	Невагова категорія. Включає все, що необхідно для побудови корабля, його спуску та випробувань. Сюди входять будівельні ліси, страхування, елементи спуску корабля, здавальних випробувань

Сума вантажу груп 100-700 формують вагу катера порожнем. Додавання до цієї ваги значення категорій F та M визначає вагу катера в повному вантажі в кінці терміну експлуатації.

Для використання системи SWBS під час будівництва група 800 та її розширення перетворюються в групу затрат на технічну підтримку будівництва катера, а група 900 – у вартість специфічних робіт верфі. При цьому додається група затрат 1000, що відображає затрати на страхування та інші банківські операції при будівництві катера.

Розширені відносини оцінки вартості суднобудування: ECER

Для визначення обсягу проектних робіт та планування виробництва верфі використовується система ECER (Empirical Cost Estimation Relationships) – система емпіричних залежностей для оцінки вартості робіт. Система ECER (таблиця 2) дозволяє спрогнозувати вартість будівництва та експлуатації нового катера на основі попереднього досвіду будівництва та експлуатації однотипних суден. Вона створюється за допомогою статистичного аналізу та спирається на систему розбиття маси катера на групи ESWBS [2]. Для кожної групи розробляються регресивні рівняння.

Таблиця 2. Типові рівняння регресії (ECER) моделі параметричної вартості для катера

SWBS	Витрати на оплату праці, чол/год	Вартість матеріалів, \$
100	$CF * 177 * W100^{0.862}$	$800 * W100$
200	$CF * 365 * W200^{0.704}$	$20011 * W200$
300	$682 * W300^{1.025}$	$25000 * W300$
400	$1605 * W400^{0.795}$	$40000 * W400$
500	$CF * 34.8 * W500^{1.24}$	$10000 * W500$
600	$310 * W600^{0.949}$	$10000 * W600$

Маючи такі рівняння регресії та значення ваги (W_{i00}) груп 100-600, можна спрогнозувати оцінку витрат на будівництво рятувального катера певної водотоннажності.

Результатом продукт-орієнтованого проектування катера є:

час створення катера

$$T_{\text{створення}} = T_{\text{проектування}} + T_{\text{побудови}};$$

маса порожнем

$$M_{\text{порожнем}} = \sum_{i=1}^6 M_{i00};$$

вартість створення катера;

$$C_{\text{створення}} = \sum_{i=1}^{10} C_{i00}.$$

Головні залежності для часу створення катера $T_{\text{продукції}}$ маси катера порожнем $M_{\text{продукції}}$ наприкінці життєвого періоду катера та вартості $C_{\text{продукції}}$ виробничого періоду його життя:

де $T_{k \text{ ремонту}}$ – це час k-того етапу поточного ремонту; $T_{m \text{ капітальн. ремонту}}$ – це вартість m-ного етапу капітального ремонту катера;

$$M_{\text{продукції}} = \sum_{i=1}^6 M_{i00} + \sum_{m=1}^M M_{m \text{ групи } M},$$

де $M_{m \text{ групи } M}$ – це маса ваги, що додається на m-тому етапі капітального ремонту катера;

$$C_{\text{продукції}} = \sum_{i=1}^{10} C_{i00} + \sum_{k=1}^K C_{k \text{ ремонту}} + \sum_{m=1}^M C_{m \text{ капітальн. ремонту}},$$

де $C_{k \text{ ремонту}}$ – це вартість k-того етапу поточного ремонту; $C_{m \text{ капітальн. ремонту}}$ – це вартість m-ного етапу капітального ремонту катера.

Витрати протягом промислово-виробничого періоду життя катера

$$E_{\text{вироб. та оновлення}} = E_{\text{створення}} + E_{\text{ремонт}} + E_{\text{капітальн. ремонт}}, \text{ €}$$

$$E_{\text{створення}} = \sum_{i=1}^{10} C_{i00}; E_{\text{ремонт}} = \sum_{k=1}^K C_{k \text{ ремонту}}.$$

$$E_{\text{капітальн. ремонту}} = \sum_{m=1}^M C_{m \text{ капітальн. ремонту}}.$$

Згідно розрахунку вартість побудови катера складає 119 000 \$ (таблиця 3).

Систем-орієнтоване проектування рятувального катера на інтервалах часу його ефективного використання.

При систем-орієнтованому проектуванні увага приділяється розгляду операцій, пов'язаних з використанням судна за призначенням. Ці операції умовно розосереджуються по різних областях, які називаються умовними просторами функціонування або віртуальними просторами.

Моделі віртуальних просторів експлуатації рятувального катера

Віртуальний простір експлуатації судна під час його використання та призначення формується географічним середовищем експлуатації і середовищами погодних умов району експлуатації та виробничо-фінансових зв'язків процесів створення та експлуатації судна.

Географічний простір операцій катера

Географічне середовище експлуатації судна визначається положенням району дії судна і відстанню між портами призначення. Розглянуте рятувальне судно експлуатується в районі Чорного моря. Судно виконує рятувальні роботи в Україні, між портами Миколаїв та Очаків.

Простір погодних умов району експлуатації

Основними характеристиками цього віртуального простору є погодні умови: інтенсивність морських течій, вітру та хвиль, параметри льодової обстановки. Морські течії, вітер і хвилі впливають на положення судна і швидкість руху. Ці впливи є випадковими

Таблиця 3. Витрати та час робіт з проектування, планування, підготовки виробництва верфі та виробництва катера

КАТЕР

(Версия ECERs: Апрель 2017)

Затраты на проектирование и планирование производства (П/П)

Текущий год	2023	Характеристики катера:	Масса	Скорость	Коэф. TF	Коэф. DF	Европы	Воскр. А	Дата:	05.10.2022	Концептуальный проект	8	-
% Расходы по программе	0,00	%	11,8	22	2	12,7368					Пределительный проект	8	37
% Непредвиденные обстоятельства	16,00	%	тонн	узлов							Контрактный проект	8	414
			Полное								Рабочий проект & Механика	8	2 389
Расходы:											Планирование производства	8	480
Подъем/Падение экономики судостроения	0,00%	%									Закупка деталей, поддержка	8	146
Зарплата плата, Техника, \$/Час	8,60	19,00	наклад.								Запасные части, грузы	8	399
Зарплата плата, Производство, \$/Час	8,60	17,00	наклад.								Инженерные контракты	8	476
% Накладные расходы	100%	%									Непредвиденный труд	8	639
% Работа администрации (АУП)	-	%									Или нарушил авторских прав	8	-
% Материалы для администрации	8%	%									Разные услуги	8	22
% Прибыль	10%	%									Иные материалы и инструменты	8	24
											ВСЕГО ЗАДАЧА на П/П	8	4 928
											АУП и Прибыль	8	491
											Итого	8	5 389
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования
													и строительства
													месяцев
													Оценка
													срока проектирования</

Простір фінансових відносин робочого процесу.

Для рятувальних катерів критерієм ефективності є не прибуток а відношення витрат на їх створення та експлуатацію E до ймовірності PFO виконання основних функціональних операцій використання за призначенням (рис. 3).



Рис. 3. Розподіл потоку коштів транспортної операції одного з рейсів

Модель інженерно-навігаційних якостей катера.

Модель інженерно-навігаційних (морехідних) якостей катера визначає особливості його функціонування як комплексної системи. Ці якості, у свою чергу, представлені набором характеристик, які залежать від основних елементів катера – довжини L , ширини B , осадки T , висоти борту H , коефіцієнтів повноти δ , α , β , швидкості v , параметрів рушійної установки, параметрів судових систем та обладнання.

До інженерних якостей катера відносяться якості місткості та міцності. До навігаційних – такі морехідні якості катера, як плавучість, остійність, непотоплюваність, ходовість, керованість та морехідність.

Модель функціональних операцій катера.

У зв'язку з випадковим характером вітро-хвильових та інших впливів на судно під час його експлуатації, а також випадковим характером реалізації основної функції катера необхідно використовувати інструменти теорії ймовірності.

При ймовірнісному підході до дослідження операцій, характеристики операцій можуть бути знайдені двома способами: за допомогою теорії випадкових подій та за допомогою теорії випадкових функцій.

Теорія випадкових подій дає змогу знайти характеристики надійності катера. При цьому використовуються відомі теореми додавання та множення ймовірних випадкових подій, що супроводжуються функціональними операціями катера.

Характеристики ефективності катера визначаються за допомогою теорії випадкових функцій дає змогу побудувати перетворення випадкових функцій, що представляють людські, матеріальні та фінансові ресурси операцій та час їх реалізацій.

Ймовірнісні характеристики надійності катера.

Ймовірнісні характеристики надійності рятувального катера визначаються за допомогою методів теорії випадкових подій.

Основна функціональна операція – рятувальна операція кругового рейсу катера F . Вона виконується, якщо відбуваються дві події:

– судно вирушає у рейс в погодних умовах області експлуатації (подія F_1);

– в погодних умовах області експлуатації рейс виконано (подія F_2).

Так як $F = F_1 \times F_2$, ймовірність $P[F]$ події F розраховується як

$$P[F] = P[F_1] \times P[F_2][F_1],$$

де $P[F_1]$ – ймовірність події F_1 , $P[F_2][F_1]$ – умовна ймовірність події F_2 , тобто ймовірність, яка вираховується при умові, що подія F_1 відбулася.

Ймовірність $P[F_1]$ – це одна з характеристик надійності катера. Вона визначається частотою зустрічі катера з погодними умовами у області експлуатації, при яких рятувальна операція не може бути здійснена.

Реалізація рейсу супроводжується проміжними операціями: прийняття команди в порті №1,2 (подія F_{21}), приход на місце рятувальної операції (подія F_{22}), ймовірність виконання рятувальної операції (подія F_{23}), повернення в порт №1,2 (подія F_{24}).

Рейс вважається виконаним, коли усі ці проміжні операції (події) виконуються разом $F_2 = F_{21} \times F_{22} \times F_{23} \times F_{24}$.

Ймовірнісні характеристики ефективності катера.

Ймовірнісні характеристики ефективності прогулянкового катера визначаються з використанням методів теорії випадкових функцій.

Головний результат використання катера – це виконання рятувальної операції $P_i = E_i$, де, E_i – витрати.

P_i та E_i – випадкові змінні. Випадковість цих значень визначається змінами цін на паливо, впливом випадкових вітро-хвильових явищ на витрати пального, час кругового рейсу і т.і.

У рамках додатку до кореляційної теорії випадкових змінних, повний набір характеристик випадкових змінних, що розглядаються, P_i та E_i – це набір їх значень та дисперсій, що спостерігаються.

Для значень, що спостерігаються (середніх значень P_i), а E_i мають місце вирази $\bar{P}_i = M[P_i]$, $\bar{E}_i = M[E_i]$, а $M[\dots]$ – це усереднення операції.

Дисперсії випадкових значень P_i та E_i розраховуються за формулами

$$D_P = M[(P_i - \bar{P}_i)^2], D_E = M[(E_i - \bar{E}_i)^2].$$

Враховуючи втрати прибутку у зв'язку з простоем катера, що спричинений погодними умовами, вираз для річного прибутку $\bar{P}_1^*$ представлено формулою $\bar{P}_1^* = P[F_1]$.

Комплексні показники ефективності та надійності катера.

Інтегровані характеристики ефективності та надійності катера представлено складним індексом, який характеризує прибуток від експлуатації катера протягом його життєвого періоду, є також цільовою функцією оптимізаційної задачі, що максимізується, і має вигляд:

$$OF_1 = \sum_{l=1}^L P_{ll}(\bar{I}_l - \bar{E}_l) - \bar{B};$$

де $\bar{I}_l$ – середнє значення отриманого доходу в l -му рейсі життєвого періоду катера, $\bar{E}_l$ – відповідне середнє значення експлуатаційних витрат, $\bar{B}$ – середня вартість створення судна.

$$OF_2 = \left(\sum_{l=1}^L (\bar{E}_l) + \bar{B} \right) / \left(\prod_{i=1}^I P_i \right),$$

де P_{ll} – це ймовірність отримання доходу, $\bar{B} = \bar{E}_{\text{побудови}}$ це середня вартість побудови судна, $\prod_{i=1}^I P_i$ це ймовірність судна виконати базові операції.

В процесі пошуку оптимального проектного рішення для судна перший із показників OF_1 максимізують, налаштовуючи проектне рішення на максимізацію прибутку, другий OF_2 мінімізується, щоб досягнути мінімальних витрат, коли судно виконує набір базових функціональних операцій. Більш повне відображення факторів надійності здійснюється при формуванні обмежень при створенні оптимізаційної задачі проектування.

Формулювання оптимізаційної проблеми визначення головних розмірів катера

Основною задачею при проектуванні катера є вибір головних розмірів та коефіцієнту повноти δ . Головні розміри катера необхідно визначити таким чином, щоб спроектований катер задовольняв проектному завданню, тобто щоб він забезпечував виконання рятувального рейсу.

Як період експлуатації рятувального судна обирається тривалість життя. Він починається з часу, що потребується для його проектування, далі йдуть етапи будівництва, ефективної експлуатації, капітальних ремонтів та утилізації. Вираз показника чистої приведеної вартості як вираз для цільової функції процесу оптимального проектування будь-якого рухомого морського об'єкту комерційної діяльності має вигляд

$$OF_1^* = \sum_{j=1}^J \frac{\bar{I}_j - \bar{E}_j}{(1+i)^j},$$

де сумування середнього прибутку за рік $\bar{I}_j - \bar{E}_j$ продовжується протягом всіх років j життєвого періоду та значення i – це облікова ставка, що враховує рівень інфляції та інші ризики інвестування у даний сектор економіки.

Оптимізаційні критерії – це екстремальні значення цільової функції $OF\{U, x\} \Rightarrow \text{extg}$.

Згідно зі схемою рис 5, у процесі пошуку оптимального проектного рішення рухомий морський об'єкт зазнає серію «занурень» в середовище його існування протягом періоду його життя. В результаті «занурення», виконаного за допомогою імітаційного моделювання, реалізовані основні операції експлуатації об'єкту. Протягом «занурення» показники ефективності та надійності визначають рівні адаптації об'єкту до середовища існування та здатність ефективно виконувати базовий набір функціональних операцій (рис. 4).

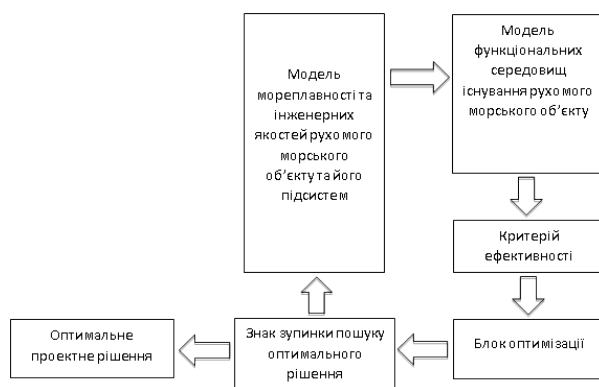


Рис. 4. Блок-схема пошуку оптимального рішення для рухомого морського об'єкту у поєднанні з проблемою умов його експлуатації

У оптимізаційному блоці здійснюється порівняння отриманих проектних рішень та обирається найкоротший напрямок руху до основної оптимізаційної цілі. Процес пошуку рішення для проекту закінчується після виконання оптимізаційного критерію. Кожен етап пошуку представлений перетворенням ймовірнісних характеристик випадкових змінних, що відображають стохастичний характер цін на складові компоненти об'єкту (його експлуатаційні витрати, мінливість погодних умов експлуатації та ін.) у ймовірнісних характеристиках результату операції (характеристиках прибутку, який отримано, витратах на проектування, будівництва, експлуатацію і т. д.), чи, інакше кажучи, – у ймовірнісних характеристиках виконання операцій.

Передбачається, що при переході від даних випадкових величин до різних значень, що розділені інтервалами часу, вони залишаються представниками відповідних ділянок безперервних процесів Маркова.

Вибір головних розмірів судна базується на моделюванні процесу виконання основних функціональних операцій в даній сфері діяльності. Моделювання реалізовано з використанням моделей інженерних та морехідних якостей судна та моделей його функціонування за призначенням.

Ефективність, надійність та безпечність експлуатації розглянутого судна базується на аналізі

виконання основних функціональних операцій за комплексним показником за типом OF2.

Для вирішення оптимізаційної задачі у комп'ютерній програмі були використані методи нелінійного програмування – метод ДСК-Пауелла та метод штрафних функцій.

Результати та аналіз оптимізації.

Оптимізацію було виконано за допомогою програмного комплексу

“Rescue Ship”, розробленого кафедрою теорії та проектування суден НУК.

У результаті оптимізаційних розрахунків маємо наступні значення:

***** Завдання на проектування *****

Автономність плавання.....	2 доби
Екіпаж.....	4 чол.
Морехідність.....	5 балів
Тип енергетичної установки.....	середньобертовий
Кількість двигунів.....	1
Кількість водяних лафетних стволів.....	1
Витрата води через пожарні стволи.....	750 куб.м/год
Кількість пенних лафетних стволів.....	1
Витрата піни через пожарні стволи.....	300 куб.м/годч

Результати оптимізації:

Кількість розрахунків ЦФ N= 498

Значення ЦФ 27.798

Значення незалежних змінних :

X[1]= 19.076	X[2]= 5.156	X[3]= 0.901
X[4]= 2.997	X[5]= 0.412	X[6]= 1562.04

Значення обмежень:

Ог.1. = -0.31572	Ог.2. = 0.01174	Ог.3. = 0.15512
Ог.4. = -0.03357	Ог.5. = 0.53025	Ог.6. = -0.09235
Ог.7. = -0.03044	Ог.8. = -0.04434	Ог.9. = 0.09305
Ог.10. = -0.09794	Ог.11. = -0.00327	Ог.12. = 0.84874
Ог.13. = 0.88316	Ог.14. = 1.03371	Ог.15. = 541.640
Ог.16. = 0.03113	Ог.17. = 0.08214	Ог.18. = 0.67272
Ог.19. = -0.08512	Ог.20. = 0.82974	Ог.21. = 0.19000
Ог.22. = 0.06205	Ог.23. = 0.22928	Ог.24. = 4.93568
Ог.25. = -0.09994	Ог.26. = 399.000	Ог.27. = 593.946
Ог.28. = 2.27379	Ог.29. = -0.04632	

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА:

Довжина судна, м.....	19.08
Ширина, м.....	5.16
Осадка, м.....	0.90
Висота борта, м.....	3.00
Коефіцієнт загальної повноти C_b	0.412
Коефіцієнт повноти мидель-шпангоута C_m	0.772
Коефіцієнт повноти ватерлінії C_w	0.864
Об'єм водотоннажності.....	37.486
Об'єм корпусу.....	250.861
Тяга на гаку, кН.....	195.694
Марка ГД.....	3506
Максимальна тривала потужність двигуна, кВт.....	2030.00
Максимальна швидкість V_s , вуз.....	22.20
Економічна швидкість V_r , вуз.....	14.44
Маса конструкцій, т.....	11.82
Маса енергетичної установки, т.....	5.20
Маса електричної установки, т.....	2.13
Маса систем управління і навігації, т.....	0.07
Маса допоміжних систем, т.....	0.67
Маса суднового обладнання і фурнітури, т.....	1.87

Маса спец. обладнання для надання допомоги АС, т...	0.34
Водотоннажність порожньому, т.....	21.710
Маса екіпажу, провізії і постачання, т.....	2.843
Маса запасів прісної води, т.....	1.49
Маса запасів піноутворювача, т.....	4.65
Маса запасів палива, масла, т.....	3.96
Маса команди і спорядження рятувальників, т.....	2.750
Дедвейт, т.....	15.69
Водотоннажність повна, т.....	37,4
Апліката Центру Ваги судна, м.....	1.413
Апліката Центру Величини судна, м.....	0.573
Поперечний метацентричний радіус, м.....	3.302
Початкова метацентрична висота.....	3.000
Кут закату ДСО, град.....	95.000
Максимальне плече ДСО, м.....	1.014
Кут, відповідний максимальному плечу, град.....	42.000
Критерій остійності.....	1.810
Період вільних бортових коливань, с.....	3.11
ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ СУДНА:	
Вартість проектування судна, млн.\$.....	0.02
Вартість судна, млн.\$.....	0.20
Річні експлуатаційні витрати, млн.\$.....	0.12
Експлуатаційні витрати на життєвий цикл судна, млн.\$.....	2.89
Загальні витрати на побудову і експлуатацію судна, млн.\$.....	3.13
Критерій «Витрати-Ефективність».....	3.83
Вірогідність успішного прибуття СС на місто аварії P01..	0.986
Вірогідність успішного прибуття СС на місто аварії P02 ...	0.859
Вірогідність успішного прибуття я СС на місто аварії P03...	0.966
Вірогідність успішного зняття АС с мілини.....	0.608
Вірогідність успішного водогасіння Pwater.....	0.259
Вірогідність піногасіння Pfoam.....	0.27
Вірогідність буксировки АС на базу.....	1
Ефективність виконання сукупності рятувальних задач..	0.6677

Технічне проектування катера.

Було створено 3D-поверхню катера в програмному продукті «MaxSurf» (рис. 5).

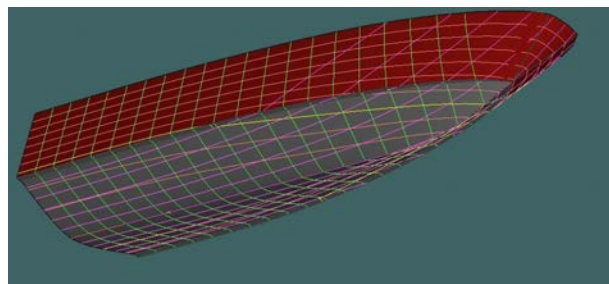


Рис. 5. Створення поверхні катера в MaxSurf

В ньому проведені розрахунки гідростатики, буксиральної потужності та перевірка остійності судна за Правилами РСУ та ІМО.

ВИСНОВКИ

Програмний комплекс оптимізаційного вибору головних елементів суден службово-допоміжного флоту, розроблений на основі сучасних досягнень теорії дослідницького проектування суден, за допомогою принципово нової методики визначення їх головних елементів на початкових стадіях проектування вирішує питання придбання спеціалізованих суден для ефективного виконання флоту.

REFERENCES

- [1] Nekrasov, V. O. (2023). Komplex program viboru holovnyh elementiv suden sluzhbovo-dopomizhnogo flotu Ukraini. [A complex of programs for selecting the main elements of ships of the service and auxiliary fleet of Ukraine (2023)]. Suchasni tehnologii proektuvannya, pobudovi, ekspluatatsii i remontu suden, morskikh tehniknih zasobiv i inzhenernih sporud. Vseukrainska naukovo-tehnichna konferenciya z mizhnarodnoyu uchastyu. 17–18 travnya 2023 r. Mykolayiv, NUK. S. 8-21. [in Ukrainian].
- [2] Nekrasov, V. (2019). Conceptual Designing of Ships: monograph (2019). Valeriy Nekrasov. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus. 112 p. (in English). ISBN 978-966-289-342-7
- [3] Nekrasov V. O. (2022). Zadachi optimizatsii skladu i popovnennya sluzhbovo-dopomizhnogo ta tehnikhnogo flotu. [Tasks of optimizing the composition and replenishment of the service and auxiliary and technical fleet. (2022)]. Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotehnici: Materiali XIII mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii. – Mikolaiv, NUK, 2022. S. 4-8. [in Ukrainian].
- [4] Nekrasov V. O. (2017). Otsinyuvannya vartosti ta terminiv pobudovy korabliv ta suden. [Estimation of the cost and terms of construction of ships and vessels] – Mikolaiv, NUK. S. 36.
- [5] Naval Ship Engineering Center, Ship Work Breakdown Structure.(1977) Washington, D. C. Washington, D. C. Naval Sea Systems Command. Document No. NAVSEA 0900-LP-039-9010, 1977.
- [6] Malay Pal. (2015). Ship work breakdown structures through different ship lifecycle stages..International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2015, Bremen, Germany.
- [7] «Baltic Workboats AS». Retrieved from <https://bwb.ee/vessels/sar/>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Некрасов В. О. (2023). Комплекс програм вибору головних елементів суден службово-допоміжного флоту України. Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд. Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. 17 – 18 травня 2023 р. Миколаїв, НУК. С. 8-21.
- [2] Nekrasov V. (2019). Conceptual Designing of Ships: monograph. Valeriy Nekrasov. – Kyiv-Kherson: Oldi-Plus, 112 p. ISBN 978-966-289-342-7
- [3] Некрасов В. О. (2022). Задачі оптимізації складу і поповнення службово-допоміжного та технічного флоту. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв, НУК. С. 4-8.
- [4] Некрасов В. О. (2017). Оцінювання вартості та термінів побудови кораблів та суден. – Миколаїв. НУК. С. 36.
- [5] Naval Ship Engineering Center, Ship Work Breakdown Structure. (1977) Washington, D. C. Washington, D.C.: Naval Sea Systems Command. Document No. NAVSEA 0900-LP-039-9010, 1977.
- [6] Malay Pal. (2015) Ship work breakdown structures through different ship lifecycle stages. International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2015, Bremen, Germany.
- [7] «Baltic Workboats AS». URL: <https://bwb.ee/vessels/sar/>

© Астахова А. О., Бадюл Ю. В., Пащенко Ю. М.
 Дата надходження статті до редакції: 10.06.2024
 Дата затвердження статті до друку: 01.07.2024