

УДК 629.5.01
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).6](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).6)

STOCHASTIC THEORY OF CONCEPTUAL DESIGNING THE SERVICE-AUXILIARY AND TECHNICAL FLEETS

СТОХАСТИЧНА ТЕОРІЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ СЛУЖБОВО-ДОПОМІЖНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ФЛОТІВ

Valeriy O. Nekrasov
valery.nekrasov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7157-9481

В. О. Нєкрасов,
докт. техн. наук, професор

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

Abstract. Purpose. The aim of the work is to develop a generalized method for designing the composition of vessels of service-auxiliary and technical fleets, which is based on the methodology for creating structurally complex organization-technical systems, which is based on the use of methods of the stochastic theory of conceptual design. The features of these methods are to consider the random nature of the functional operations of creating and operating fleets during a certain period of their life and to use probability theory not only to determine the characteristics of the efficiency of fleet operation, but also the characteristics of their reliability. **Method.** For structurally complex organization-technical systems, such as fleets that are under the influence of random factors, the proposed design method is based on the use of probabilistic methods of the theory of operations research that do not use algorithms of the theory of mass service. In this case, a set of interconnected operations of creating and operating service-auxiliary and technical fleets constitute models of their functioning. They are built using stochastic mathematical modeling methods and allow achieving two main design goals – to determine the efficiency and reliability indicators of design solutions. With the participation of these indicators, optimization problems are formulated, in which complexes of efficiency and reliability indicators play the role of objective functions. The solution of optimization problems is carried out by nonlinear programming methods. **Results and their scientific novelty.** In the work, the general issues of the developed generalized method of stochastic theory of conceptual design of service-auxiliary and technical fleets, which constitutes its scientific novelty, are not only presented, but they also accompanied by illustrations of examples of solving problems of optimization replenishment and optimization of the composition of these fleets. **Practical importance.** This method can be a practical tool for relevant scientific research in higher educational institutions and scientific organizations of shipbuilding, river, marine and naval departments.

Key words: service-auxiliary fleet; technical fleet; stochastic theory; conceptual designing; operating models; efficiency and reliability indicators; optimization methods.

Анотація. Метою роботи є розробка узагальненого методу проектування складів суден службово-допоміжного та технічного флотів, який спирається на методологію створення структурно-складних організаційно-технічних систем, в основі якої знаходиться використання методів стохастичної теорії концептуального проектування. Особливостями цих методів є врахування випадкового характеру функціональних операцій створення і експлуатації флотів на протязі певного періоду їх життя та використання теорії ймовірностей не тільки для визначення характеристик ефективності експлуатації флотів, але і характеристик їх надійності. **Методика.** Для структурно-складних організаційно-технічних систем, таких як флоти, що знаходяться під впливом випадкових факторів, запропонований метод проектування ґрунтується на використанні ймовірнісних методів теорії дослідження операцій, які не використовують алгоритми теорії масового обслуговування. При цьому множина взаємно пов'язаних операцій створення та експлуатації службово-допоміжного та технічного флотів складають моделі їх функціонування. Вони будуються за допомогою методів стохастичного математичного моделювання і дозволяють досягнути дві основні цілі проектування – визначити показники ефективності та надійності проєктних рішень. За участю цих показників формуються оптимізаційні задачі, в яких комплекси показників ефективності та надійності грають роль цільових функцій. Розв'язання оптимізаційних задач здійснюється методами нелінійного програмування. **Результати та їхня наукова новизна.** В роботі викладення загальних питань розробленого узагальненого методу стохастичної

теорії концептуального проектування службово-допоміжного та технічного флотів, який складає її наукову новизну, супроводжується ілюстраціями прикладів розв'язання проблем оптимізаційного поповнення та оптимізації складів цих флотів. *Практична значимість.* Метод може бути практичним інструментом для відповідних наукових досліджень в вищих навчальних закладах та наукових організаціях суднобудування, річкового, морського та військово-морського відомств.

Ключові слова: службово-допоміжний флот; технічний флот; стохастична теорія; концептуальне проектування; моделі функціонування; показники ефективності і надійності; методи оптимізації.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У Військово-морському флоті окреме угруповання кораблів спеціального призначення зветься флотилією. У службово-допоміжному та технічному флоті також є угруповання спеціального призначення, але флотиліями вони звичайно не називаються. Для цих угруповань звичайно використовується термін «флот». Тому, коли мова йде про службово-допоміжний флот морської держави, тоді, використовуючи означений термін, говорять, що цей флот у своєму складі має такі угруповання, як флот морської охорони, флот екологічної безпеки, науково-дослідний флот, буксирний флот, рятувальний флот, криголамний флот, тощо. Службово-допоміжний флот також має окремі судна спеціального призначення, такі як вододозні судна, судна забезпечення підводно-технічних робіт, лоцманські судна, бункерувальники, плавучі перевантажувачі, обстановкові судна, лоцмейстерські судна, плавучі маяки, навчальні судна, тощо.

До складу технічного флоту входять підійомно-монтажні судна, плавучі бурові вишки, днопоглиблювальні судна: землесоси чи рефулери, ґрунтовози (шаланди), ґрунтовоznі баржі, баржі, що само перекидаються, грязьові баржі, тощо. Але ні до одного з угруповань цього флоту термін «флот» не використовується. Звичайно угруповання технічного флоту називають комплексами. Наприклад, – днопоглиблювальний комплекс, який складається з днопоглиблювального судна та декілька барж і буксиру.

Проблеми проектування складу угруповувань службово-допоміжного та технічного флоту, а також вибору окремих суден для поповнення таких угруповувань відрізняються. Тому розгляд формулювання та розв'язання проблем проектування комплексів технічного флоту має свої особистості.

Значний вік українських суден службово-допоміжного та технічного флотів, який виявлено при аналізі їх стану [1], обумовлює низьку продуктивність та слабу надійність функціонування цих флотів і, у цьому зв'язку, негативний вплив їх функціонування на навколишнє середовище та безпеку судноплавства.

Тому поліпшення роботи службово-допоміжного та технічного флотів можливо лише за рахунок їх оновлення, яке потрібно виконувати вже на стадії проектування, при орієнтації процесу проектування у цілому на досягнення екстремальних значень показників не тільки ефективності, як це звичайно реалізується, але й екологічності і надійності (безпеки) їх

функціонування згідно з сучасними вимогами Міжнародної морської організації (ІМО). Ця організація починаючи з 2002 року пропонує використовувати Методологію формалізованої оцінки безпеки, основним призначенням котрої є підвищення надійності експлуатації плавучих споруд за рахунок контролю ризиків операцій їх створення і експлуатації на усіх етапах життєвого періоду, починаючи з проектування. При цьому вибір раціонального кількісного та якісного складу суден при формуванні службово-допоміжного і технічного флотів та задоволення необхідних вимог до їх енергоефективності, екологічності і безпеки необхідно також здійснювати з врахуванням залежності від поточного стану морського і річкового транспортного і промислового флотів, які вони обслуговують, а також стану організацій і відомств інфраструктури держави, в яких вони виконують свої місії.

Таким чином, перспективи удосконалення службово-допоміжного та технічного флотів України обумовлюється сучасним станом та тенденціями розвитку її транспортного і промислового флотів та організацій інфраструктури країни, а також розробкою, впровадженням та послідовним використанням методології проектування та оптимізації складів флотів, яка повинна враховувати випадковий характер операцій їх функціонування та забезпечувати визначення не тільки ефективності, але і надійності функціонування. Така методологія може бути створена на основі використання стохастичної теорії концептуального проектування суден [2].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Розробці методів визначення характеристик надійності суден при виконанні своїх функціональних операцій, як с точки зору охорони життя людини на морі, так і захисту навколишнього середовища, а також формуванню відповідних рекомендацій, присвячені роботи автора [3, 4 (1982)–(1985)]. В цих роботах на основі розгляду рішень стохастичних диференціальних рівнянь морехідності суден та аналізу критеріїв стійкості цих рішень досягнуто узагальнення проблеми надійності функціонування суден, яке викладено в термінах теорії технічної стійкості, наведено ознаки перебування суден у робочих і відмовних станах, які проявляються в специфічних розрахункових ситуаціях, створено алгоритми визначення ймовірностей знаходження суден у робочих станах та ризиків переходу до відмовних станів в цих розрахункових ситуаціях.

В наступній роботі [4 (2001)] підкреслено пряме відношення розроблених алгоритмів визначення характеристик надійності до забезпечення безпеки суден.

У 2002 році комітети Міжнародної морської організації (з безпеки на морі та захисту морського середовища) схвалили керівні принципи Формальної оцінки безпеки (ФОБ) для використання їх в процесі створення вимог до класифікації і побудови суден та впровадження методології ФОБ як раціонального і систематичного процесу оцінки ризиків, пов'язаних з безпекою на морі та захистом морського середовища, а також для оцінки витрат і переваг варіантів ІМО для зменшення ризиків [5]. Це обумовило необхідність переведення процесу проектування суден, в якому увага приділялася лише ефективності суден, на комплексне визначення ефективності та надійності.

Формулюванню методу розв'язання цієї проблеми присвячена робота В. О. Некрасова і Ю. Б. Богової [4 (2003)]. У цій роботі процес експлуатації суден представлено множиною функціональних операцій, яку визначено набором випадкових функцій, що являються результатом розв'язання стохастичних диференціальних рівнянь руху суден, роботи портового обладнання та інших операцій їх функціонування та обслуговування. При цьому комплекс показників ефективності і надійності означено як результат виконання операцій в середовищах функціонування суден. На цій основі сформульована оптимізаційна задача стохастичного концептуального (дослідницького) проектування суден, у якій ймовірнісні характеристики комплексу показників ефективності і надійності обрано цільовими функціями, граничні значення технічної стійкості (параметрів інженерних і морехідних (навігаційних) якостей) суден – обмеженнями, а головні розмірення та характеристики суден – незалежними змінними.

В повному обсязі запропонований метод формулювання та розв'язання оптимізаційних задач стохастичного концептуального проектування суден використано в роботах: [6] і [7] для кораблів берегової охорони; [8, 9] для рятувальних суден; [3, 10] для транспортних суден, що використовуються на незакріплених лініях експлуатації; [3, 11] для суден, що обслуговують морські споруди та газо-нафтодобувні промисли; [3, 12] для транспортних суден, що перевозять вантажі послідовними рейсами; [3, 13] для накатних транспортних суден; [4, 14] для швидкохідних пасажирських суден; [4, 15] для суден льодового плавання, що транспортують зріджені гази, [4, 16] для ескортних та льодоламних буксирів.

Розроблена методологія стохастичного концептуального проектування суден за показниками ефективності і надійності, що опублікована у монографії [3], звертала увагу, в основному, на ризики активного періоду їх експлуатації, коли використання суден за призначенням реалізовувалося у вигляді функціонування складних динамічних систем. Визначення ризиків проектування, побудови

та підтримки суден як продуктів промисловості на протязі усього їх життєвого періоду, що згідно з вимогами ІМО 2002 року повинно враховуватися, не було здійснено. Удосконалення методології у цьому напрямку виконано після розробки по заказу ВМФ методу оцінки вартості і термінів побудови кораблів і суден та введення на цій основі у склад дослідницького проектування напрямів продукт-орієнтованого та систем-орієнтованого концептуального проектування. Це здійснено в роботах [2, 17, 18].

Введення в дію новітніх вимог [19 (2018)] Міжнародна морська організація обумовила необхідністю використання показників надійності функціональних операцій суден в умовах майбутньої експлуатації вже в процесі їх проектування. Здійснюватися вимоги повинні бути за окремими розрахунковими ситуаціями – небезпечними подіями – які мають місце у життєвому періоді суден. Такий ж підхід було запропоновано ще у згаданих роботах (1982)–(1985) при удосконаленні стохастичної теорії морехідності суден. Цій підхід потім було покладено в основу та реалізацію розробленої стохастичної теорії концептуального проектування суден [2, 3, 4].

Першими роботами на шляху поширення методів стохастичної теорії концептуального проектування суден для вирішення задач оптимізації та поповнення складу окремих угруповань службово-допоміжного флоту з'явилися роботи [20–22], присвячені удосконаленню буксирних флотів морських портів «Авліта» та «Південний», які ініціювали ці роботи своїми замовленнями.

Подальше застосування розроблених методів стохастичної теорії концептуального проектування для об'єднань службово-допоміжних та технічних суден у можливі флотські з'єднання виконано у доповідях [23–25].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

З цих доповідей випливає, що основними проблемами, які потребують рішення, є: вибір методу формулювання та розв'язання задач концептуального проектування об'єднань службово-допоміжних та технічних суден у можливі флотські утворення; визначення основного принципу побудови просторів функціонування цих об'єднань; розробка методів формулювання та розв'язання задач функціонування службово-допоміжних флотів та комплексів технічних суден; визначення найбільш значимих показників ефективності та надійності цих угруповань; удосконалення методів формулювання та розв'язання оптимізаційних задач вибору та поповнення складів службово-допоміжних флотів та комплексів технічних суден.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Перерахований комплекс мер, направлений на розв'язання означених проблем проектування,

формує мету дослідження як розробку методології визначення кількісного та якісного складу суден службово-допоміжного та технічного флотів, їх головних розмірів та характеристик, що забезпечує ефективне та надійне функціонування цих флотів при обслуговуванні морського і річкового транспортного, промислового та оборонного комплексів, а також відповідну реалізацію призначень в організаціях і відомствах інфраструктури країни.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є процес підвищення ефективності, екологічності і надійності функціонування службово-допоміжного та технічного флотів.

Предметом дослідження є методологія і методи оновлення сучасними суднами та оптимізації складів службово-допоміжного і технічного флотів.

Методами дослідження є методи теорії дослідження операцій [26], які пов'язані з побудовою за допомогою стохастичного математичного моделювання моделей функціонування таких структурно-складних організаційно-технічних систем як службово-допоміжний і технічний флот, формулювання та розв'язання задач їх функціонування, визначення ймовірнісних характеристик показників ефективності та надійності, формулювання та розв'язання оптимізаційних задач визначення на етапах концептуального (дослідницького) проектування кількісного та якісного складу флотів за критеріями екологічності, економічної ефективності та надійності експлуатації.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

1. Методологія визначення ефективного та надійного складу суден службово-допоміжного та технічного флотів. Пропонована розробка методів збільшення ефективності та надійності суден при розв'язанні проблеми поповнення службово-допоміжного та технічного флоту окремо взятими суднами та проблеми оптимізації складів службово-допоміжного та технічного флоту, точніше таких угруповань цих флотів, як буксирний флот морського порту, науково дослідний флот академії наук, флот екологічної охорони морських акваторій, флот морської охорони, рятувальний флот, флот обслуговування морських нафтогазових промислів, днопоглиблювальний комплекс, тощо, реалізується на єдиній методологічній основі – теорії стохастичного концептуального проектування суден [2].

Відповідно до цієї теорії, дослідження проблем поповнення та оптимізації службово-допоміжного або технічного флоту має здійснюватися на основі створення дослідницького полігону функціональних операцій флоту та його випиткування на цьому полігоні при такій трансформації складу флоту, яка забезпечить отримання екстремальних значень показників ефективності та надійності його місії. Це потребує

створення наступних математичних моделей складових дослідницького полігону: віртуального простору експлуатації флоту; складу флоту та властивостей його елементів; функціонування флоту; результатів функціонування – показників ефективності та надійності, та формування на основі покрокового занурення флоту в дослідницький полігон відповідної оптимізаційної задачі, складовими якої є: цільові функції та критерії оптимізації складу флоту; покроковий алгоритм оптимізації.

Фіксованими часовими інтервалами, протягом яких розглядаються функціональні операції флоту загалом та його елементів, є термін функціонування флоту у визначеному складі: доба, місяць, календарний рік. Оптимізація здійснюється, як правило, на тимчасовому інтервалі, що дорівнює декілька діб, місяців, календарних років.

2. Методи формулювання та розв'язання задач функціонування флоту. Методами, за допомогою яких здійснюється побудова моделей середовища експлуатації, інженерних та навігаційних властивостей, функціонування флоту, а також показників ефективності та надійності його функціонування є методи стохастичної теорії концептуального проектування суден [2].

При цьому віртуальний простір експлуатації флоту формується на основі розгляду географічного середовища його позиціонування, погодних умов району експлуатації, сукупності виробничих та фінансових операцій процесів експлуатації елементів флоту.

Географічне середовище експлуатації флоту визначається картографічним положенням району експлуатації та місцями позиціонування його елементів у районі функціональних операцій флоту (портами з їх причалами, а також позиціями суден та інших технічних засобів в акваторіях експлуатації). Параметричне уявлення географічного довкілля у найбільш спрощеному випадку задається координатами і відстанями між місцями позиціонування елементів флоту. Для цього розробляються схеми позиціонування [20–22].

Наступними основними характеристиками віртуального простору експлуатації флоту є ймовірнісні характеристики погодних умов: інтенсивність морських течій, вітру та хвилювання; параметри льодової ситуації.

Вихідний склад флоту визначається типами суден їх призначенням та кількістю у кожному типі, головними розмірами та розподілом суден за пунктами позиціонування. До складу віртуального простору довкілля флоту також входить сервісне обладнання портів базування, обладнання та елементи місії суден в інших пунктах позиціонування, основною характеристикою яких є продуктивність портового та спеціального обладнання, а також властивості та розмірення інших елементів сприяння місії флоту.

Моделі функціонування елементів флоту будуються на основі моделювання операцій портового обслуговування суден, транспортних операцій, що здійснюються судами внаслідок переміщень між портами та іншими пунктами позиціонування, а також виробничих операцій у пунктах або сферах виробничого позиціонування, визначених місцями елементів флоту. Основними характеристиками цих операцій є такі ймовірнісні характеристики: час операції, «речовини», що беруть участь в операції, вартості операції, її швидкість та ймовірність виконання в комплексі погодних та виробничих умов функціонування флоту. Характеристики операцій визначаються рішеннями стохастичних диференціальних рівнянь роботи портового і спеціального устаткування, переміщення або позиціонування суден в акваторії експлуатації флоту. Для всієї сукупності функціональних операцій будуються структурні схеми операцій та умови руху по гілкам схем [20–22].

У разі, близьким до стаціонарних режимів роботи, випадкові функції рішень диференціальних рівнянь замінюються випадковими величинами відповідних рівностей. Ймовірнісні характеристики вартості устаткування, суден і витратних матеріалів їх експлуатації, що беруть участь в експлуатації флоту, визначаються на основі обробки статистичних даних за цінами на відповідних ринках товарів і послуг на момент розгляду проблем оптимізації.

Методи побудови моделей функціонування окремих суден, які входять до складу службово-допоміжного та технічного флотів, визначено у роботі [2].

Стохастичний характер та різноманітність функціональних операцій таких суден та їх характеристик, необхідність оцінки результатів операцій з точки зору ефективності, ініціюють використання, як при описі самих операцій, так і при формуванні показників ефективності, повного набору об'єктів теорії ймовірностей – випадкових подій, величин, функцій та їх ймовірнісних характеристик. Для k -го судна комерційного використання, що входить до складу флоту або комплексу, як показник ефективності зазвичай використовується ймовірнісна характеристика прибутку:

$$\overline{OF}_{1k} = \left(\sum_{l=1}^L P_{ll} (\bar{I}_l - \bar{E}_l^*) - \bar{B} \right)_k, \quad (1)$$

яка є математичним сподіванням прибутку від експлуатації цього судна флоту у певний період часу.

У формулі (1) L – кількість основних функціональних операцій судна, що приносять дохід, реалізованих протягом означеного періоду його експлуатації; $\bar{I}_l$ – дохід від виконання l -ої основної функціональної операції, $\bar{E}_l^*$ – витрати при виконанні основної функціональної операції судна та всього комплексу пов'язаних з нею допоміжних операцій; $\bar{B}$ – амортизаційні витрати k -го судна, P_{ll} – ймовірність виконання комплексу основної та пов'язаних із нею функціональних операцій l .

Для судна службового використання показником ефективності є вираз

$$\overline{OF}_{2k} = \frac{(\sum_{l=1}^L \bar{E}_l^* + \bar{B})_k}{\sum_{l=1}^L (\prod_{i=1}^I P_i)_{lk}}, \quad (2)$$

де $(\prod_{i=1}^I P_i)_{lk}$ – ймовірність виконання комплексу основної та пов'язаних із нею функціональних операцій k -м судном флоту.

Моделі функціонування окремих суден підпорядковуються алгоритму роботи флоту загалом, з допомогою якого будується модель його функціонування та визначаються наступні показники ефективності функціонування:

– для флоту, що складається з K суден комерційного використання

$$\overline{SOF}_1 = \sum_{k=1}^K \overline{OF}_{1k}, \quad (3)$$

– для флоту суден службового використання

$$\overline{SOF}_2 = \sum_{k=1}^K \overline{OF}_{2k}. \quad (4)$$

Для флоту, до складу якого входять судна комерційного та службового використання, застосовується формула (3).

3. Формулювання задач оптимізації складу службово-допоміжного та технічного флоту. На основі моделі функціонування флоту та показників ефективності його роботи (цілових функцій) формується наступна оптимізаційна задача:

$$\text{знайти: } \overline{SOF}_m(U, x) \Rightarrow \text{extr}, \quad m = 1, 2, \quad (5)$$

$$\text{при: } E_n(x) \geq 0 \quad n = 1, 2; \quad (6)$$

$$F_p(x) \geq [F_p], \quad p = 1, 2, 3, \dots, P; \quad (7)$$

$$PC_q(x) \geq [PC_q], \quad q = 1, 2, 3, \dots, Q; \quad (8)$$

$$x \geq x_r, \quad r = 1, 2, 3, \dots, R; \quad (9)$$

де $E_n(x) \geq 0$ – обмеження ефективності, що забезпечують необхідний рівень працездатності флоту (обмеження кількості і водотоннажності суден та продуктивності устаткування, що використовується);

$F_p(x) \geq [F_p]$ – обмеження надійності, що забезпечують рівень виконання судами флоту функціональних операцій; $[F_p]$ – нормативні значення цих показників, які регламентуються класифікаційними товариствами, стандартами та умовами функціонування флоту;

$PC_q[P_L] \leq [PC_q]$ – функціональні обмеження фінансових коштів на проектування, будівництво та експлуатацію суден флоту, а також на відшкодування можливої шкоди; $[PC_q]$ – граничні значення цих коштів;

U – вектор параметрів довкілля експлуатації, типів суден флоту та використовуваного устаткування, інших певних умов функціонування флоту за призначенням;

x – вектор незалежних змінних (кількості суден певного типу, їх вантажомісткості, продуктивності обладнання, швидкості руху тощо);

x_r – вектор обмежень на незалежні змінні.

Вирішення цієї задачі виконується за допомогою методів нелінійного програмування за алгоритмом, представленим на рисунку 1.



Рис. 1. Блок-схема пошуку рішення задачі оптимального синтезу складу службово-допоміжного або технічного флоту

4. Спрощення методу формулювання та розв'язання задач функціонування та оптимізації складу флоту. Запропонований метод вирішення задач оптимізації складу службово-допоміжних та технічних флотів може бути значно спрощений на основі використання прийнятого в теорії проектування суден поділення задачі проектування на зовнішню, яка розглядає лише угруповання суден і використовує у якості незалежних змін лише водотоннажність суден та швидкість їх руху, або продуктивність їх спеціального обладнання, та на внутрішню, що розглядає лише окреме судно і при його оптимізації враховує усі головні розміри судна.

При використанні концепції зовнішньої задачі проектування у формулюванні задачі оптимізації складу флоту (5)–(9) залишається незмінними вирази цільової функції (5) та значно спрощуються обмеження ефективності і надійності (6)–(7).

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розв'язання задач оптимізації складу службово-допоміжного та технічного флотів виконується на основі підрозділу їх на два типи.

До першого типу відносяться задачі, в яких розглядається оптимізація складу групи суден, кожне з яких має певне завдання функціонування в певній області відповідальності. У такому разі оптимізаційна задача формулюється для кожного з них окремо. Окремо розробляється і програмні комплекси розв'язання

таких задач для всіх новітніх елементів флоту. В підсумку кінцева оптимізація складу флоту визначається сумарним ефектом оптимізації його елементів.

Прикладом розв'язання такої задачі є оптимізація складу суден Морської охорони, котра має катери охорони територіального моря, які повинні бути оптимізовані в результаті розподілу по своїх ділянках відповідальності, та кораблі підтримки режимів спеціальних економічних зон, головні елементи котрих мають бути визначені з урахуванням особливостей їх роботи в своїх областях відповідальності [6, 7]. До цього типу відносяться також задачі оптимізації складу суден рятувального флоту [8, 9] та флоту обслуговування нафтогазодобувних промислів [3, 11].

До другого типу відносяться задачі, в яких розглядається оптимізація складу групи суден, що колективно працює на досягнення певного результату. Прикладом такої задачі є оптимізація буксирного флоту крупного морського порту, якій повинен ефективно обслуговувати групами буксирів потік різних типів суден, що заходять у цей порт [20–22].

Розв'язання означених типів задач оптимізації складу службово-допоміжного та технічного флоту з метою удосконалення роботи діючих флотів та поповнення їх новітніми суднами дозволяє реалізувати визначення дійсно оптимальних поточних і перспективних їх складів та забезпечити високий рівень економічної та екологічної ефективності експлуатації флотів.

ВИСНОВКИ

Запропонована методологія концептуального проектування суден службово-допоміжного і технічного флотів та вирішення проблем оптимізаційного удосконалення їх складу та поповнення новітніми суднами ґрунтується на створенні за допомогою методів теорії ймовірностей моделей віртуальних полігонів експлуатації цих об'єктів, зануренні об'єктів у віртуальні середовища експлуатації (регіональне, гідрометеорологічне, виробниче і фінансове середовища) та пошуку шляхом трансформації параметрів об'єктів найбільш удосконалих за показниками ефективності і надійності варіантів проєктних рішень. Її основним завданням є реалізація у першому наближенні двох основних цілей проектування судна або флоту – визначення рівнів їх ефективності та надійності вже на початкових стадіях проектування. Слід особливо підкреслити, що друга ціль проектування – визначення надійності функціонування – може бути досягнута тільки за допомогою використання методів теорії ймовірностей.

Тому пошукова технологія розробленого стохастичного концептуального проектування суден та їх флотів не є традиційною технологією проектування, яка реалізується в результаті застосування детерміністських теорій та таких комплексів CAD, CAE, CAM, CFD і CALS/PLM цифрових технологій як

Maxsurf, Aveva, Catia, Ansys тощо. Вона використовується до застосування цих комплексів. Її використання, за умови спільного включення до процесу концептуального проектування продукт-орієнтованого та систем-орієнтованого напрямів, є активною інновацією, яка дає не лише значну економію часу та коштів на наступних етапах технічного та робочого проектування, але й створює суттєвий позитивний вплив на вирішення питань ефективності та надійності наступної експлуатації судна або флоту.

Однак корисність пропонованої технології не обмежується введенням у вказану звичайну трьох

ступеневу процедуру проектування. Розроблені методи стохастичного концептуального проектування в першу чергу призначені бути інструментом наукових досліджень вищих навчальних закладів, відділів головних конструкторів проектних бюро, науково-дослідних інститутів суднобудування, річкового, морського та військово-морського флотів для вирішення проблем удосконалення суден та оновлення флотів. Вони також можуть використовуватися організаціями і відомствами для розміщення замовлень на потрібну суднобудівну продукцію та суднобудівними підприємствами для виходу на рівень конкурентоздатного виробництва.

REFERENCES

- [1] Nekrasov, V.O. (2025) Analiz suchasnoho stanu suden sluzhbovo-dopomizhnoho i tekhnichnoho flotiv Ukrainy ta napryamiv udoskonalennya yikh efektyvnosti i nadiynosti. [Analysis of the current state of the vessels of the service-auxiliary and technical fleets of Ukraine and directions for improving their efficiency and reliability] *Zbirnyk nauk. prats' NUK*, №1 2025.
- [2] Nekrasov V. (2019) Conceptual Designing of Ships. Kyiv–Kherson: Oldi-Plus.
- [3] Stvorenniya universal'nykh transportnykh suden ta zasobiv okeanotekhniki (2011) [Creation of universal transport vessels and ocean engineering tools] / Ryzhkov S.S. ta in, Mykolayiv: *NUK*, 2011. 340 p.
- [4] Nekrasov, V.O. (2024) Stokhastychna teoriya kontseptual'noho proyektuvannya suden ta yiyi zastosuvannya [Stochastic theory of conceptual designing of vessels and its applications]. *Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi: materialy XIV mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi*. Mykolayiv : *NUK*, 2024. Pp. 3–14.
- [5] Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (2002). IMO, MSC/Circ. 1023-MEPC/Circ. 392, 5 April 2002. 51 p.
- [6] Opredelenye bazovykh proektnykh kharakterystyk sudna berehovoy okhrany dlya severo-zapadnoho rayona Chernoho morya (2003) [Determination of basic design characteristics of a coast guard vessel for the northwestern region of the Black Sea]: zvit pro NDR / ker. V.O. Nyekrasov. Mykolayiv: Ukrayins'kyi derzhavnyi mors'kyi tekhnichnyi universytet, 2003. 50 p.
- [7] Dam Suan Tuan. (2003) Vybir osnovnykh proektnykh kharakterystyk korabliv berehovoyi okhorony [Selection of the main design characteristics of coast guard ships]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2003. 197 p.
- [8] Nekrasov, V.O., Le Kuanh Khunh. (2004) Zadacha doslidnyts'koho proyektuvannya ryatuval'noho sudna [The task of research design of a rescue vessel]. *Zbirnyk naukovykh prats' NUK*. Mykolayiv, 2004. № 5 (398). S. 1–8.
- [9] Le Kuanh Khunh. (2006) Vyznachennya osnovnykh elementiv ryatuval'nykh suden [Determination of the main elements of rescue vessels]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2006. 184 p.
- [10] Kabanova, N.M. (2013) Vyznachennya holovnykh elementiv sukhovantazhnykh suden trampovoho sposobu ekspluatatsiyi [Determination of the main elements of dry cargo ships of the tramp method of operation]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2013. 152 p.
- [11] Fam Suan Nhok. (2008) Vyznachennya osnovnykh elementiv suden, shcho obsluhovuyut' mors'ki sporudy ta naftodobuvni promysly [Determination of the main elements of vessels servicing offshore structures and oil fields]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2008. 193 p.
- [12] Pankova, O. V. Vyznachennya kharakterystyk transportnoho sudna, shcho perevozyt' vantazhi poslidovnymy reysamy [Determination of the characteristics of a transport vessel carrying cargo in consecutive voyages]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2011. 228 p.
- [13] Nho Tiyen Khyonh. (2012) Metodyka vyznachennya osnovnykh kharakterystyk nakatnykh suden [Method for determining the main characteristics of rolling ships]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2012. 227 p.
- [14] Nhuen Huy Khoanh. (2014) Vyznachennya optimal'nykh holovnykh elementiv shvydkokhidnoho pasazhyrs'koho sudna [Determination of optimal main elements of a high-speed passenger ship]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2014. 270 s.
- [15] Dun Sin'sho. (2016) Vyznachennya optimal'nykh holovnykh rozmiriv sudna-hazovoza dlya perevezennya zridzhenykh haziv [Determination of the optimal main dimensions of a gas carrier for the transportation of liquefied gases]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2016. 160 p.
- [16] Yastreba, O.P. (2021) Vyznachennya optimal'nykh holovnykh rozmiriv eskortnykh buksyryv [Determination of the optimal main dimensions of escort tugs]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.03. Mykolayiv, 2021. 237 p.
- [17] Nekrasov, V.O. (2017) Metod otsinky vartosti i terminiv pobudovy korabliv i suden [Method for estimating the cost and terms of building of ships and warships]. *Zbirnyk naukovykh prats' NUK im. adm. Makarova*. Mykolayiv: *NUK*, 2017. № 5. Pp. 28–39.
- [18] Nekrasov, V.O. (2018) Produkt-oriyentovane ta system-oriyentovane proyektuvannya na etapi naukovo-doslidnoho proyektuvannya suden [Product-oriented and system-oriented design at the stage of research design of ships]. *Suchasni*

- tehnolohiyi proektuvannya, budivnytstva, ekspluatatsiyi i remontu suden, mors'kykh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud. Materialy Vseukrayins'koyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu». Mykolayiv: *NUK*, 2018. pp. 19–23.
- [19] Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (2018). IMO. MSC-MERC.2/Circ.12/Rev.2. 9 April 2018. 71 p.
- [20] Bondarenko O., Nekrasov V., Yastreba O. (2020) Simulation Technologies of the Mooring Operation to the Berthing Port. Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Selected Papers from the 20th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat2020, 14–17 October 2020, Riga, Latvia. pp. 497–506. DOI: 10.1007/978-3-030-68476-1_46
- [21] Bondarenko O. V., Nekrasov V. O., Yastreba O. P. (2016) Effectiveness harbour tug fleet: problem formulation and methodology of its solution Brodogradnja /Shipbuilding: Theory and Practice of Naval Architecture, Marine Engineering and Ocean Engineering, Vol. 67 № 2 June 2016. Pp. 33–46. DOI:10.21278/brod67203
- [22] Bondarenko O., Nekrasov V., Yastreba O. (2018) Effectiveness and Optimization of Harbour Tug Fleet. Transport and Telecommunication, 2018. 19 (2). Pp. 140–150. DOI:10.2478/ttj-2018-0012
- [23] Nekrasov, V.O. (2022) Zadachi optymizatsiyi sostavu ta popovnennya sluzhbovo-dopomizhnoho i tekhnichnoho flotu [Tasks of optimizing the composition and replenishment of the service–auxiliary and technical fleets]. Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi Materialy XIII mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Mykolayiv: *NUK*, 2022. Pp. 4–8.
- [24] Nekrasov, V.O. (2023) Kompleks prohram vyboru holovnykh elementiv suden sluzhbovo-dopomizhnoho flotu Ukrayiny [Complex of programs for selecting the main elements of vessels of the service and auxiliary fleet of Ukraine]. Suchasni tekhnolohiyi proektuvannya, pobudovy, ekspluatatsiyi i remontu suden, mors'kykh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud. Materialy Vseukrayins'koyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi z mizhnarodnoyu uchastyu. Mykolayiv: *NUK*, 2023. Pp. 8–21.
- [25] Nekrasov, V.O. (2023) Mozhlyvosti ta pryznachennya suchasnoho kontseptual'noho proektuvannya suden ta yikh flotiv [Possibilities and purpose of modern conceptual design of vessels and their fleets]. Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi. Materialy XIV mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Mykolayiv: *NUK*, pp. 22–24.
- [26] Hamdy A. (2007). Naha. Operations research. An introduction. Eight edition. Pearson Prentice Hal. 839 p.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Некрасов, В.О. (2025) Аналіз сучасного стану суден службово-допоміжного і технічного флотів України та напрямів удосконалення їх ефективності і надійності. *Збірник наук. праць НУК*, №1 2025.
- [2] Nekrasov V. (2019) Conceptual Designing of Ships. Kyiv-Kherson: Oldi-Plus.
- [3] Створення універсальних транспортних суден та засобів океанотехніки (2011) / Рижков С.С. та ін, Миколаїв: *НУК*, 2011. 340 с.
- [4] Некрасов, В.О. (2024) Стохастична теорія концептуального проєктування суден та її застосування. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : *НУК*, С. 3–14.
- [5] Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (2002). IMO, MSC/Circ. 1023-MERC/Circ. 392, 5 April 2002. 51 p.
- [6] Визначення базових проєктних характеристик судна берегової охорони для південно-східного району Чорного моря (2003): звіт про НДР / кер. В. О. Некрасов. Миколаїв: Український державний морський технічний університет, 2003. 50 с.
- [7] Дам Суан Туан. (2003) Вибір основних проєктних характеристик кораблів берегової охорони: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2003. 197 с.
- [8] Некрасов, В. О., Ле Куанг Хунг. (2004) Задача дослідницького проєктування рятувального судна. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв, 2004. № 5 (398). С. 1–8.
- [9] Ле Куанг Хунг. (2006) Визначення основних елементів рятувальних суден: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2006. 184 с.
- [10] Кабанова, Н.М. (2013) Визначення головних елементів суховантажних суден трампового способу експлуатації: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2013. 152 с.
- [11] Фам Суан Нгок. (2008) Визначення основних елементів суден, що обслуговують морські споруди та нафтодобувні промисли: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2008. 193 с.
- [12] Панкова, О.В. Визначення характеристик транспортного судна, що перевозить вантажі послідовними рейсами: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2011. 228 с.
- [13] Нго Тієн Хюнг. (2012) Методика визначення основних характеристик накатних суден: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2012. 227 с.
- [14] Нгуєн Гуй Хоанг. (2014) Визначення оптимальних головних елементів швидкохідного пасажирського судна: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2014. 270 с.
- [15] Дун Сіншо. (2016) Визначення оптимальних головних розмірів судна-газовоза для перевезення зріджених газів: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2016. 160 с.

- [16] Ястреба, О.П. (2021) Визначення оптимальних головних розмірів ескортних буксирів: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. Миколаїв, 2021. 237 с.
- [17] Некрасов, В.О. (2017) Метод оцінки вартості і термінів побудови кораблів і суден. *Збірник наукових праць НУК ім. адм. Макарова*. Миколаїв: НУК, 2017. №5. С. 28–39.
- [18] Некрасов, В.О. (2018) Продукт-орієнтоване та систем-орієнтоване проєктування на етапі науково-дослідного проєктування суден. Сучасні технології проєктування, будівництва, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю». Миколаїв: НУК, 2018. С. 19 – 23.
- [19] Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (2018). IMO. MSC-MERC.2/Circ. 12/Rev.2. 9 April 2018. 71p.
- [20] Bondarenko O., Nekrasov V., Yastreba O. (2020) Simulation Technologies of the Mooring Operation to the Berthing Port. Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Selected Papers from the 20th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat2020, 14–17 October 2020, Riga, Latvia. Pp. 497–506. DOI: 10.1007/978-3-030-68476-1_46
- [21] Bondarenko O.V., Nekrasov V.O., Yastreba O.P. (2016) Effectiveness harbour tug fleet: problem formulation and methodology of its solution *Brodogradnja /Shipbuilding: Theory and Practice of Naval Architecture, Marine Engineering and Ocean Engineering*, Vol. 67 №. 2 June 2016. pp. 33–46. DOI:10.21278/brod67203
- [22] Bondarenko O., Nekrasov V., Yastreba O. (2018) Effectiveness and Optimization of Harbour Tug Fleet. *Transport and Telecommunication*, 2018. 19 (2). Pp. 140–150. DOI:10.2478/ttj-2018-0012
- [23] Некрасов, В.О. (2022) Задачі оптимізації складу та поповнення службово-допоміжного і технічного флоту. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, 2022. С. 4–8.
- [24] Некрасов, В.О. (2023) Комплекс програм вибору головних елементів суден службово-допоміжного флоту України. Сучасні технології проєктування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. Миколаїв: НУК, 2023. С. 8–21.
- [25] Некрасов, В.О. (2023) Можливості та призначення сучасного концептуального проєктування суден та їх флотів. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці. Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, С. 22–24.
- [26] Hamdy, A. (2007). *Naha. Operations research. An introduction*. Eight edition. Pearson Prentice Hal. 839 p.

© Некрасов В. О.

Дата надходження статті до редакції: 13.05.2025

Дата затвердження статті до друку: 26.05.2025