

УДК 629.5.016

О. М. Тимошук,

к. е. н., доцент кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій на водному транспорті, Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Інституту технологій управління та права

О. М. Коломієць,

аспірантка кафедри суднових енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації, Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Інституту технологій управління та права

О. В. Данік,

аспірант кафедри технічних систем і процесів управління судноводіння, Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Інституту технологій управління та права

ВИБІР КРИТЕРІЮ ОПТИМАЛЬНОСТІ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

O. Timoshuk,

Candidate of Economical Science (PhD in Economics), associate professor of department of Business logistics and transport technologies on water transport Kyiv state Academy of water transport named after Hetman Petro Konashevych-Sahaidachnyi Institute of water transport

O. Kolomiets,

postgraduate student, Department of ship power plants, auxiliary machinery of ships and their operation Kyiv state Academy of water transport named after Hetman Petro Konashevych-Sahaidachnyi Institute of water transport

O. Danik,

graduate student of department of technical systems and management processes of navigation Kyiv state Academy of water transport named after Hetman Petro Konashevych-Sahaidachnyi Institute of water transport

THE CHOICE OF CRITERION OF OPTIMALITY SYSTEM RESTORE MARINE COMPLEXES

У статті розглянуто математичну модель процесу технічного обслуговування і ремонту суднових комплексів. Сучасні судна розглянуто, як складні технічні системи, що складаються з великої кількості модулів, вузлів, агрегатів (блоків) та окремих елементів, які є джерелами відмов у роботі з різними закономірностями зміни їх інтенсивності, можливостями їх виявлення та усунення протягом експлуатації.

Математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту суднових комплексів дозволить отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу.

Також модель дозволить оцінити вплив системи відновлення суднових комплексів, як сукупності засобів контролю, діагностичних і ремонтних засобів, комплектів запасних елементів, виконавців, що взаємодіють з об'єктом експлуатації за встановленими правилами, на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту.

The article considers the mathematical model of process of maintenance and repair of ship systems. Modern vessels are considered as complex technical system, consisting of a large number of modules, assemblies, components (blocks) and individual elements that are sources of failures with different patterns of change in their intensity, their detection and removal during operation.

The mathematical model of process of maintenance and repair of ship complexes will allow to obtain the final analytical expression for calculation of the relevant indicators of the effectiveness of the process.

Also, the model will allow to evaluate the impact of the recovery system of marine parks set of controls, diagnostic and repair tools, spare elements, performers interacting with the object of exploitation by the established rules, on the efficiency of the process of maintenance and repair.

Ключові слова: судно, судноплавні комплекси, математична модель, критерії ефективності, технічне обслуговування, ремонт.

Key words: the ship, shipping systems, mathematical model, performance criteria, maintenance, repair.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Існуючі моделі функціонування об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів судового обладнання суден. Тому у статті поставлено завдання здійснення формалізованого опису процесу технічного обслуговування і ремонту суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого проведено обґрунтування форми показників та критерію оптимальності.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як показано у [3—5] сучасні судна є складними технічними системами, що складаються зі значної кількості систем, модулів, вузлів, агрегатів (блоків) та окремих еле-

ментів, які є джерелами відмов з різними закономірностями зміни їх інтенсивності, можливостями з їх виявлення та усунення протягом експлуатації. У зв'язку з цим для адекватного опису процесу технічної експлуатації судна як складної технічної системи доцільне представлення його як вироб, що складається з множини комплектуючих виробів. Наприклад, сукупність модулів окремого блоку функціональної системи (ФС) судна, сукупність блоків ФС судна, сукупність функціональної систем судна тощо.

Особливостями розроблення математичної моделі процесу технічного обслуговування суден займалися В.І. Богом'я, Лавриненко В.Ф., Стадник А.И., Тарохтей. Ще однією особливістю [5; 6; 7; 9], яку необхідно враховувати при дослідженні ефективності системи відновлення та її впливу на ефективність процесу технічного обслуговування і

ремонті судна, є те, що в реальній експлуатації відновлення працездатності складових елементів судна проводиться за фактом виявлення відмови об'єкта контролю, незважаючи на його працездатність в цей момент. Наприклад, виявлено відмову резервного елемента працездатного об'єкту судових комплексів призводить до його заміни на повністю справний з подальшим відновленням працездатного стану.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Розробка формалізованого опису процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів судових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого можна провести обґрунтування форми показників та критеріїв ефективності для уникнення недоліків існуючих моделей.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

У рамках цього дослідження будемо вважати, що відмова будь-якого основного елемента (вузла, блока, агрегату) призводить судно до непрацездатного стану.

Таким чином, при розгляді судна як сукупності функціональних систем представимо його у вигляді СТС з елементами, що з'єднані за надійністю (безвідмовністю) послідовно.

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи судна (за умови відсутності або обмеженого обмінного фонду агрегатів) визначається згідно з формулою 1 [5; 7; 8]:

$$P_c(t) = \prod_{k=1}^K P_k(t), Q_c(t) = 1 - P_c(t), N_{оф_k}(t) \ll n_k(t) \quad (1),$$

де $P_c(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи судна; $P_k(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи k -го комплектуючого виробу; $Q_c(t)$ — ймовірність відмови судна; $N_{оф_k}(t)$ — кількість об'єктів k -го типу в обмінному фонді експлуатанта; $n_k(t)$ — кількість відмов об'єкту, k -го типу за період експлуатації.

Таке представлення дає змогу вважати судно системою, що є визначеним узагальненням послідовних систем, для кожної з яких може бути знайдено свій показник ефективності. В цьому випадку судно формалізовано як систему з мультиплікативним коефіцієнтом ефективності і згідно з обраними в [5; 6] показниками ефективності визначимо стаціонарний коефіцієнт готовності судна $K_{сc}$ як [6]:

$$K_{сc} = \prod_{j=1}^k K_{сj} \quad (2),$$

де $K_{сj}$ — стаціонарний коефіцієнт готовності j -ї підсистеми, а

$$K_{сj} = \frac{M(t_{0j})}{M(t_{0j}) + M(t_{сj})} \quad (3),$$

де $M(t_{0j})$ — середній час знаходження j -го об'єкта в справному стані;

$M(t_{сj})$ — середній час відновлення j -го об'єкта судових комплексів.

Основними вимогами до показників ефективності є: простота, інформаційна забезпеченість, достатня точність, чутливість, повнота та відсутність надмірності [4].

У практиці оцінки ефективності експлуатації таких складних технічних систем, як судно, застосовуються різні форми показників ефективності: ймовірність випадкової події, ступінь ймовірнісної гарантії досягнення результату не нижче заданого рівня, середній результат, середній квадрат відхилень результату від того, що вимагається, дисперсія результату тощо [9].

Враховуючи розроблений формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту як стохастичного процесу відновлення справності об'єктів судових комплексів, визначимо формально показник його ефективності як математичне очікування загальної функції відповідності ρ мети, що досягнута $Y^{(R)}$ тій, що вимагається

$Y_e^{(R)}$, при використанні варіанту $u \in U$ [2; 4]:

$$\vec{W}(u) = M \left[\rho \left\{ Y^{(R)}(u), Y_e^{(R)} \right\} \right], u \in U \quad (4),$$

де $Y^{(R)}(u) = (g^{(r_1)}(u), c^{(r_2)}(u), Tr^{(r_3)}(u), F^{(r_4)}(u), T^{(r_5)}(u), \dots)$; $U = (u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n)$

— множина допустимих варіантів (стратегій) побудови процесу відновлення, що формуються, з множини керованих параметрів процесу ТО і Р об'єктів СК.

Процес $\omega(t)$ визначається вектором параметрів процесу відновлення, як керованих параметрів $A_u = \{A_{u1}, A_{u2}, \dots, A_{un}\}$

так і некерованих $A_r = \{A_{r1}, A_{r2}, \dots, A_{rn}\}$; а також параметрами, що характеризують умови застосування судна

$A_r = \{A_{r1}, A_{r2}, \dots, A_{rn}\}$. Як правило, при формуванні системи відновлення бортового обладнання судна до керованих параметрів будемо відносити: види контролю, засоби контролю, що застосовуються на різних етапах технічного обслуговування і ремонту, повноту та глибину контролю, достовірність, періодичність контролю, повноту відновлення, чисельність та кваліфікацію особового складу тощо.

До некерованих параметрів A_r відносяться — конструктивні характеристики та надійність об'єктів СК, трудовитрати на контроль і пошук місця відмови з застосуванням цього засобу контролю.

До параметрів A_r віднесено інтенсивність рейсів, їх тривалість, характер завдань, що виконуються та ін.

Зміна хоч однієї компоненти вектору управління u на етапах технічного обслуговування, що розглядаються, призводить до створення нового варіанту побудови процесу відновлення.

У реальних умовах кількість можливих варіантів обмежена. Виходячи з цього, завдання вибору раціонального варіанту організації процесу відновлення судових комплексів вдається звести до задачі у варіантній постановці, при якій з множини альтернативних варіантів необхідно обрати найбільш сприятливий. Альтернативні варіанти u_j формуються зміною значень компонентів вектору u [6],

$$u = (\lambda, \mu, x, P, q, Q, \eta, T) \quad (5),$$

де λ — інтенсивність відмов об'єкта судових комплексів; μ — інтенсивність самостійного прояву відмови об'єкта судових комплексів; x — періодичність контролю; P — ймовірність виявлення відмови засобом контролю; q — ймовірність надання засобом контролю інформації про "хибну" відмову; Q — повнота відновлення об'єкта судових комплексів в експлуатуючій організації; η — повнота контролю відмов (пошкоджень); T — тривалість експлуатації об'єкта судових комплексів.

У зв'язку з тим, що залучення об'єктів судових комплексів в різноманітні стани процесу реальної експлуатації статистично повторюються, а в якості його формального опису обрано схему регенеруючого процесу, то для оцінювання ефективності такого процесу будемо використовувати показники ефективності математичного сподівання результату [6]:

$$\vec{W}(u) = M \left[Y^{(R)}(u) \right], W_r(u) = M \left[y_r(u) \right], r = \overline{1, R}, u \in U \quad (6),$$

де $W_r(u)$ — часткові показники ефективності використання u -го варіанту організації процесу відновлення судових комплексів судна, надійності (безвідмовності) економічної та інших видів ефективності експлуатації судна; $y_r(u)$ — часткові характеристики результату експлуатації судна.

Показник (3) є частковим випадком показника ефективності [6; 7], при якому функція відповідності дорівнює реальному результату [6; 9]:

$$\rho \left\{ Y^{(R)}(u), Y_e^{(R)} \right\} = Y^{(R)}(u) \quad (7).$$

Показники середнього результату знайшли широке розповсюдження у дослідженнях ефективності складних технічних систем [6]. Це обумовлено властивістю їх адитивності, що значною мірою спрощує їх оцінку, та полягає в тому, що у випадку можливості представлення результату $Y^{(R)}(u)$ процесу експлуатації судна у вигляді суми результатів окремих його етапів $Y^{(R)}_i(u)$ [5; 8]:

$$Y^{(R)}(u) = \sum_i Y^{(R)}_i(u) \quad (8),$$

то середній результат процесу, що розглядається, представимо у вигляді суми середніх часткових результатів, незважаючи на можливу їх стохастичну залежність [1; 4]

$$M \left[\sum_i Y^{(R)}_i(u) \right] = \sum_i M [Y^{(R)}_i(u)] \quad (9).$$

Вибір та обґрунтування показників ефективності суднових комплексів судна дозволяє оцінити різні варіанти (стратегії або режими) їх відновлення та обрати для сформульованого критерію K "найкращий" варіант u^* при заданих умовах експлуатації A . Як відомо [2; 3; 5; 7; 8], критерій ефективності K є правило, що дозволяє порівняти варіанти $u \in U$, що характеризуються різним ступенем досягнення мети, та здійснити направлений вибір варіантів u з множини припустимих U . При використанні концепції оптимізації застосовуються критерії найбільшого результату у формі: найбільшого середнього результату, найбільшої імовірнісної гарантії результату, найбільшого гарантованого результату та ін.

При використанні в якості показників ефективності процесу відновлення об'єктів суднових комплексів показника середнього результату (3), виберемо найбільш прийнятний критерій оптимальності стратегії, що розглядається: $u \in U$ — відновлення суднових комплексів судна — критерій найбільшого середнього результату [9]. Згідно з цим критерієм оптимальним є той варіант u^* , при якому [4,9]:

$$u^* : \max_{u \in U} (\min) W_r(u) = \max_{u \in U} (\min) M [y_r(u)], \quad r = 1, R \quad (10).$$

Тоді критерієм оптимальності процесу є отримання максимуму економічного вигаду при зміні організації процесу відновлення за умови забезпечення заданого рівня коефіцієнту готовності [1; 4]:

$$W(U) = \max_{k=1, n} \{M[C_{\Sigma}(u_{icn})] - M[C_{\Sigma}(u_k)]\}, \quad \text{при } K_{\Sigma k} \geq K_{\Sigma icn} \quad (11),$$

де $U = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_n)$ — множина визначених допустимих варіантів організації процесу відновлення;

$u_k = u_l \cup u_m$ — множина параметрів процесу експлуатації;

$u_l = (Q_j, k_{off})$ — множина керованих параметрів процесу експлуатації;

$u_m = (\lambda_j, \mu_j, T_j, x_j, \eta_j, P_j, q_j, T_{zak}, T_{AP3})$ — множина некероаних параметрів процесу експлуатації;

$M[C_{\Sigma}(u_{icn})]$ — середня сумарна вартість відновлення суднових комплексів судна за період, що розглядається при існуючій організації системи відновлення;

$M[C_{\Sigma}(u_k)]$ — середня сумарна вартість відновлення суднових комплексів судна за період, що розглядається при альтернативних варіантах організації системи відновлення.

ВИСНОВКИ

Розроблено формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого обґрунтовані форма показників та критерію ефективності. Здійснено математичну постановку часткових задач дослідження.

На підставі формалізації розроблено математичну модель процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів, що дозволяє отримати кінцеві аналі-

тичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу. Модель дозволяє оцінити вплив системи відновлення суднових комплексів, як сукупності засобів контролю діагностичних і ремонтних засобів, комплексів запасних елементів, виконавців, що взаємодіють з об'єктом експлуатації за встановленими правилами, на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту.

У межах розробленої моделі розглядаються підходи щодо визначення впливу на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів їх повноти відновлення в умовах експлуатанта та багатоетапності процесу технічного обслуговування з урахуванням повноти контролю технічного стану об'єктів суднового обладнання.

Література:

1. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. — М.: Высшая школа, 1982. — 231 с.
2. Волков А.И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов. — М.: Высшая школа, 1981 — 368 с.
3. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. — СПб.: Судостроение, 2007. — 384 с.
4. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник) / [Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В.] — Вид.1-е. — К.: ДВВП "Компас", 2012 — 336 с.
5. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт техники по состоянию. — М.: Транспорт, 1987. — 277 с.
6. Стадник А.И. Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством // Лавриненко В.Ф., Стадник А.И., Тарохтей В.П. — К.: КДАВТ, "Водний транспорт", 2014. — Вип. 3 (21). — С. 11—14.
7. Судостроение и судостроение (статистика, экономика, цены). ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. — СПб, 2006. — 260 с.
8. Техничко-економические характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. — М.: В/О "Мортехинформреклама", 1992. — 232 с.
9. Тимошук О.М. Структурный синтез надширокоугового радиометричного комплекса контролю прибрежных акваторий / О.М. Тимошук // Водний транспорт. — К.: КДАВТ, 2016. — Вип. 2 (25). — С. 107—112.

References:

1. Barzilovich, E.J. (1982), Modeli tehničeskogo obsluzhivaniya slozhnyh sistem [The model of maintenance of complex systems], Vysshaja shkola, Moscow, Russia.
2. Volkov, L.I. (1981), Upravlenie jekspluataciej korabel'nyh kompleksov [Managing operation of the ship complex], Vysshaja shkola, Moscow, Russia.
3. Egorov, G.V. (2007), Proektirovanie sudov ogranichenykh rajonov plavaniya na osnovanii teorii riska [The design of the ships of limited sailing areas on the basis of the theory of risk], Sudostroenie, St. Petersburg, Russia.
4. Bogom'ja, V.I., Davidov, V.S., Doronin, V.V., Pashkov, D.P. and Tihonov, I.V. (2012), Navigacijne zabezpečennja upravlinnja ruhom suden [Navigation software traffic management bnik], Kompas, Kyiv, Ukraine.
5. Smirnov, N.N. and Ickovich, A.A. (1987), Obsluzhivanie i remont tehniki po sostojaniju [Maintenance and repair of equipment], Transport, Moscow, Russia.
6. Lavrinenko, V.F., Stadnik, A.I., Tarohtej, V.P. (2014), "The choice of method of multicriteria optimization for managing water vehicle", Vodnij transport, vol. 3, pp. 11—14.
7. (2006), Sudohodstvo i sudostroenie (statistika, jekonomika, ceny) [Shipping and shipbuilding (statistics, Economics, prices)], CNII im. akad. A.N. Krylova, St. Petersburg, Russia.
8. (1992), Tehnico-jekonomicheskie charakteristiki sudov morskogo flota [Technical and economic characteristics of Navy ships], Mortehinformreklama, Moscow, Russia.
9. Timoshuk, O. M. (2016), "Structural synthesis nagsasagawa radiometric complex monitoring of coastal waters", Vodnij transport, vol. 2 (25), pp. 107—112.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2017 р.