

УДК 519.873

О.М. Тимошук, О.А. Дакі, О.М. Коломієць, І.В. Трофименко

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ

КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті наведено математичну модель процесу технічного обслуговування і ремонту суднових комплексів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу експлуатації суден.

Також модель дозволяє 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.

Ключові слова: система відновлення, суднові комплекси, контроль, діагностичні засоби, процес технічного обслуговування.

Вступ

Висвітлення стану проблеми. Існуючі моделі функціонування об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічної обслуговування і ремонту об'єктів судового обладнання суден.

Тому у статті поставлене завдання здійснення формалізованого опису процесу технічного обслуговування і ремонту суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого провести обґрунтування форми показників та критерію оптимальності.

Аналіз останніх досліджень. Як показано у [1–4], сучасні судна є складними технічними системами, що складаються зі значної кількості систем, модулів, вузлів, агрегатів (блоків) та окремих елементів, 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.

Ще однією особливістю [3–4; 8–9], яку необхідно враховувати при дослідженні ефективності системи відновлення та її впливу на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту судна, є те, що в реальній експлуатації відновлення працездатності складових елементів судна проводиться за фактом виявлення відмови об'єкта контролю незва-

жаючи на його працездатність в цей момент. Наприклад, виявлена відмова резервного елемента працездатного об'єкта суднових комплексів призводить до його заміни на повністю справний з подальшим відновленням справного стану.

Мета статті. Метою статті є необхідність уникнути недоліки існуючих моделей функціонування об'єктів експлуатації та спроба розроблення формалізованого опису процесу технічної обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого провести обґрунтування форми показників та критерію ефективності.

Виклад основного матеріалу дослідження

В рамках даного дослідження будемо вважати, що відмова будь-якого основного елемента (вузол, блок, агрегат) переводить судна 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 (рис. 1).

В цьому випадку імовірність безвідмовної роботи судна (за умови відсутності або обмеженого обмінного фонду агрегатів) визначається як [2–4]:

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

де $P_C(t)$ – імовірність безвідмовної роботи судна;

$P_k(t)$ – імовірність безвідмовної роботи k -го ком-

плекуючого виробу; $Q_C(t)$ – імовірність відмови судна; $N_{\text{офк}}(t)$ – 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 даному випадку судно формалізовано як систему з мультиплікативним коефіцієнтом ефективності, і згідно з обраними в [4; 9] показниками ефективності визначимо стаціонарний коефіцієнт готовності судна $K_{ГC}$ як [9]:

$$K_{ГC} = \prod_{j=1}^k K_{Гj}, \quad (1)$$

де $K_{Гj}$ – стаціонарний коефіцієнт готовності j -ї підсистеми, а

$$K_{Гj} = \frac{M(t_{0j})}{M(t_{0j}) + M(t_{Bj})},$$

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

$M(t_{Bj})$ – середній час відновлення j -го об'єкта

суднових комплексів.

Як вказано у [7], основними вимогами до показників ефективності є: простота, інформаційна забезпеченість, достатня точність, чутливість, повнота та відсутність надмірності.

У практиці оцінки ефективності експлуатації таких складних технічних систем як судно застосовуються різні форми показників ефективності: імовірність випадкової події, ступінь імовірнісної гарантії досягнення результату не нижче заданого рівня, середній результат, середній квадрат відхилень результату від того, що вимагається, дисперсія результату тощо [8].

Враховуючи розроблений формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту як стохастичного процесу відновлення справності об'єктів суднових комплексів, визначимо формально показник його ефективності як математичне сподівання загальної функції відповідності ρ мети, що досягнута $Y^{(R)}$ [5; 7] тій, що вимагається $Y_B^{(R)}$ [5; 7], при використанні варіанту $u \in U$:

$$\bar{W}(u) = M \left[\rho \left\{ Y^{(R)}(u), Y_B^{(R)} \right\} \right], u \in U, \quad (2)$$

де $U = (u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n)$ – множина допустимих варіантів (стратегій) побудови процесу відновлення, що формується, з множини керованих параметрів

процесу технічного обслуговування об'єктів суднових комплексів.

Процес $\omega(t)$ визначається вектором параметрів процесу відновлення, як керованих $\Lambda_u = \{\Lambda_{u_1}, \Lambda_{u_2}, \dots, \Lambda_{u_i}\}$ так і некерованих $\Lambda_v = \{\Lambda_{v_1}, \Lambda_{v_2}, \dots, \Lambda_{v_k}\}$, а також параметрами, що характеризують умови застосування судна $\Lambda_R = \{\Lambda_{R_1}, \Lambda_{R_2}, \dots, \Lambda_{R_n}\}$. 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 Λ_v відносяться – конструктивні характеристики та надійність об'єктів суднових комплексів, трудовитрати на контроль і пошук місця відмови з застосуванням даного засобу контролю.

До параметрів Λ_R віднесено інтенсивність польотів, 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.

В реальних умовах кількість можливих варіантів обмежена. Виходячи з цього, завдання вибору раціонального варіанту організації процесу відновлення суднових комплексів судна вдається звести до задачі у варіантній постановці, при якій з множини альтернативних варіантів необхідно обрати найбільш сприятливий. Альтернативні варіанти u_j формуються зміною значень компонент вектору u [9]:

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

де λ – інтенсивність відмов об'єкта суднових комплексів; μ – інтенсивність самостійного прояву відмови об'єкта суднових комплексів; x – періодичність контролю; P – імовірність виявлення відмови засобом контролю; q – імовірність надання засобом контролю інформації про “хибну” відмову; η – повнота контролю відмов (пошкоджень); T – тривалість експлуатації об'єкта суднових комплексів.

У зв'язку з тим, що залучення об'єктів суднових 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 показни-

ки ефективності математичного сподівання результату [9]:

$$\bar{W}(u) = M \left[Y^{(R)}(u) \right], \quad (3)$$

$$W_r(u) = M [y_r(u)], r = \bar{1}, \bar{R}, u \in U,$$

де $W_r(u)$ – часткові показники ефективності використання u -го варіанту організації процесу відновлення суднових 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 [3; 9], при якому функція відповідності дорівнює реальному результату [8–9]:

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

Показники середнього результату (3) знайшли широке розповсюдження у дослідженнях ефективності складних технічних систем [9]. 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 $Y_i^{(R)}(u)$ [2; 4]:

$$Y^{(R)}(u) = \sum_i Y_i^{(R)}(u)$$

середній результат процесу, що розглядається, представимо у вигляді суми середніх часткових результатів, незважаючи на можливу їх стохастичну залежність [6–7]:

$$M \left[\sum_i Y_i^{(R)}(u) \right] = \sum_i M \left[Y_i^{(R)}(u) \right].$$

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 Λ . Як відомо [1–5], 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 розглянутих стратегій $u \in U$ відновлення суднових

комплексів судна – критерій найбільшого середнього результату [8]. Згідно до цього критерію оптимальним є той варіант u^* , при якому [7–8]:

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

Тоді критерієм оптимальності процесу є отримання максимуму економічного виграшу при зміні організації процесу відновлення за умови забезпечення заданого рівня коефіцієнту готовності $K_{ГК} \geq K_{ГКн}$ [6–7]:

$$W(U) = \max_{k=1, n} \left\{ M \left[C_{B\Sigma}(u_{icn}) \right] - M \left[C_{B\Sigma}(u_k) \right] \right\}, \quad (4)$$

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

$u_n = u_i \cup u_m$ – множина параметрів процесу експлуатації;

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

$u_m = (\lambda_j, \mu_j, T_j, x_j, \eta_j, P_j, Q_j, T_{зак}, T_{APЗ})$ – множина некерованих параметрів процесу експлуатації;

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

$M \left[C_{B\Sigma}(u_k) \right]$ – 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. Здійснена математична постановка часткових задач дослідження.

На підставі формалізації розроблена математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту об’єктів суднових комплексів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу.

Модель дозволяє 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.

В границях 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.

Список літератури

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска / Г.В. Егоров. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Іванович В.В. Прогнозування безвідмовності обладнання засобів водного транспорту методами статистичного аналізу часових рядів / В.В. Іванович, О.Ю. Ільїн, С.М. Кучерук // Водний транспорт. – К.: КДАВТ, 2013. – Вип. 2 (17). – С. 218-223.
3. Судоходство и судостроение (статистика, экономика, цены). ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – Вып. 8(35). – СПб, 2006. – 260 с.
4. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – М.: Транспорт, 1987. – 277 с.
5. Волков Л.И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов / Л.И. Волков. – М.: Высшая школа, 1981. – 368 с.
6. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
7. 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.
8. Тимошук О.М. Структурний синтез надширококутового радіометричного комплексу контролю прибережних акваторій / О.М. Тимошук // Водний транспорт. – К.:КДАВТ, 2016.– Вип. 2(25). – С. 107-112.
9. Лавриненко В.Ф. Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством / В.Ф. Лавриненко, А.И. Стадник, В.П. Тарохтей // Водний транспорт. – 2014. – Вип. 3(21). – С. 11-14.
10. Тимошук О.М. Безперервне планування як інструмент комплексного управління суміжними видами транспорту/ О.М. Тимошук, Т.О. Войченко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Економіка і управління». – 2013. – Вип. 26. – С. 17-22.
11. Гудков Л.М. Математична модель функціональних систем суднового обладнання / Л.М. Гудков, В.Ф. Лавриненко // Новітні технології. – 2016. – № 2(2). – С. 61-68.
12. Шапран Ю.Є. Метод статистичного оцінювання та прогнозування параметра потоку відмов агрегатів системи автоматичного керування суднових комплексів за даними експлуатаційних спостережень / Ю.Є. Шапран, І.В. Трофименко // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2017. – №1(104). – С. 52-57.

References

1. Egorov, G.V. (2007), “*Proektyrovanye sudov ohranychennikh raionov plavaniya na osnovanyu teoryi ryska*” [Design of vessels of limited areas of navigation based on the risk theory], Sudostroeniye, St. Petersburg, 384 p.
2. Ivanovych, V.V., Il'yin, O.Yu. and Kucheruk, S.M. (2013), “Prohnozuvannya bezvidmownosti obladnannya zasobiv vodnoho transportu metodamy statystychnoho analizu chasovykh ryadiiv” [Forecasting of faultless equipment of water transport means by statistical analysis of time series], *Vodnyi transport*, No. 2 (17), pp. 218-223.
3. Krilovskiyi gosudarstvennii nauchnii tsentr (2006), “Sudokhodstvo y sudostroeniye (statystyka, ekonomyka, tseni)” [Shipping and shipbuilding (statistics, economics, prices)], No. 8(35), St. Petersburg, 260 p.
4. Smyrnov, N.N. and Ytskovych, A.A. (1987), “*Obsluzhyvanye y remont tekhniki po sostoiyaniyu*” [Maintenance and repair of machinery], Transport, Moscow, 277 p.
5. Volkov, L.Y. (1981), “*Upravleniye ekspluatatsyei korabelnikh kompleksov*” [Management of the operation of ship complexes], Vusshaya shkola, Moscow, 368 p.
6. Barzylovych, E.Yu. (1982), “*Modely tekhnicheskoho obsluzhyvaniya slozhnykh sistem*” [Models of maintenance of complex systems], Vusshaya shkola, Moscow, 231 p.
7. Bohomia, V.I., Davydov, V.S., Doronin, V.V., Pashkov, D.P. and Tykhonov, I.V. (2012), “*Navihatstsiine zabezpechennia upravlinnia rukhom suden*” [Navigational control of vessels], DVVP «Kompas», Kyiv, 336 p.
8. Tymoshchuk, O.M. (2016), “Strukturnyi syntez nadshyrokosmuhovoho radiometrychnoho kompleksu kontroliu pryberzhnykh akvatorii” [Structural synthesis of ultra wideband radiometric complex of coastal water control], *Vodnyi transport*, No. 2(25), pp. 107-112.
9. Lavrynenko, V.F., Stadnyk, A.Y. and Tarokhtei, V.P. (2014), “Vibor metoda mnohokryterialnoi optymizatsyy dlia upravleniya vodnim transportnim sredstvom” [Selection of a multicriteria optimization method for managing a water vehicle], *Vodnyi transport*, No. 3(21), pp. 11-14.
10. Tymoshchuk, O.M. and Voichenko, T.O. (2013), “Bezperervne planuvannya yak instrument kompleksnogo upravlinnia sumizhnymy vydamy transportu” [Continuous planning as an integrated management tool for contiguous transport], *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo ekonomiko-tehnolohichnogo universytetu transportu, Seriya «Ekonomika i upravlinnia*», No. 26, pp. 17-22.
11. Gudkov, L.M. and Lavrinenko, V.F. (2016), “*Matematychna model funktsionalnykh system sudnovoho obladnannya*” [Mathematical model of functional systems of ship equipment], *Novitni tekhnologiyi*, No. 2(2), pp. 61-68.

12. Shapran, Yu. Ye. and Trofymenko, I.V. (2017), "Metod statystychnoho otsiniuvannia ta prohnozuvannia parametra potoku vidmov ahrehativ systemy avtomatychnoho keruvannia sudnovykh kompleksiv za danymy ekspluatatsiinykh sposterezhen" [Method of statistical estimation and forecasting of the parameter of flood failure of aggregates of the system of automatic control of ship complexes according to operational observations], *Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist*, No. 1(104), pp. 52-57.

Надійшла до редколегії 25.10.2017

Схвалено до друку 7.12.2017

Відомості про авторів:

Трофименко Ірина Валеріївна

викладач кафедри Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8743-5036>
 e-mail: trorimenkokdvt70@gmail.com

Тимошук Олена Миколаївна

кандидат економічних наук доцент в.о. директора інституту Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3684-6182>
 e-mail: mnielena7@gmail.com

Даки Олена Анатоліївна

кандидат філологічних наук доцент декан факультету Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>
 e-mail: bog2603@mail.ru

Коломієць Оксана Михайлівна

викладач кафедри Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7161-8957>
 e-mail: kolo@ukr.net

Information about the authors:

Trofimenko Iryna

Lecturer of State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8743-5036>
 e-mail: trorimenkokdvt70@gmail.com

Tymoshchuk Olena

Candidate of Sciences Associate Professor acting Director of Institute of State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3684-6182>
 e-mail: mnielena7@gmail.com

Ducky Olena

Candidate of Philology Associate Professor Dean of the Faculty of State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>
 e-mail: bog2603@mail.ru

Kolomiyets Oksana

Lecturer of State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7161-8957>
 e-mail: kolo@ukr.net

КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Е.Н. Тимошук, О.А. Даки, О.М. Коломиец, И.В. Трофименко

В статье приведена математическая модель процесса технического обслуживания и ремонта судовых комплексов, что позволяет получить конечные аналитические выражения для расчетов соответствующих показателей эффективности процесса.

Также модель позволяет оценить влияние системы восстановления судовых комплексов, как совокупности средств контроля, диагностических и ремонтных средств, комплектов запасных элементов, исполнителей, взаимодействующих с объектом эксплуатации по установленным правилам, на эффективность процесса технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: система восстановления, судовые комплексы, контроль, диагностические средства, процесс технического обслуживания.

THE CRITERION OF OPTIMALITY SYSTEM RESTORE MARINE COMPLEXES

O. Timoshchuk, O. Ducky, O. Kolomiets, I. Trofimenko

Existing models of the objects of operation do not completely consider the features of the process of maintenance and repair of facilities shipboard equipment.

Therefore, the problem of the formal description of the maintenance and repair of shipboard complexes and their components in the form of a regenerating process of restoration are solved in the article, on the basis of which the forms of indicators and the criterion of optimality are substantiated. The article presents the mathematical model of the process of maintenance and repair of shipboard complexes, which allows obtaining final analytical expressions for calculation the relevant indicators of the process effectiveness.

The model also makes it possible to assess the impact of the system for restoring shipboard complexes, as a set of control means, diagnostic and repair means, sets of spare elements, performers interacting with the object of operation according to established rules, and the efficiency of the maintenance and repair process.

Keywords: restoration system, ship complexes, control, diagnostic tools, maintenance process.