

## РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 629.5.016

**В.І. Богом'я**, д-р техн. наук

Інститут підготовки фахівців ДП «УкрНДНЦ», м. Київ, Україна

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

**В.И. Богомья**, д-р техн. наук

Институт подготовки специалистов ГП «УкрНДНЦ», г. Киев, Украина

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

**Volodymyr Bohomia**, Doctor of Technical Sciences

Institute Training Specialists of SE "UkrNDNC", Kyiv, Ukraine

### STRENGTHENING THE OPERATION OF MARINE SYSTEMS

*Наведено формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення.*

*На підставі формалізації розроблено математичну модель процесу експлуатації водних транспортних засобів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків необхідних показників ефективності процесу, що досліджується.*

**Ключові слова:** водний транспортний засіб, експлуатація, відновлення.

*Приведено формализованное описание процесса технического обслуживания и ремонта объектов судовых комплексов и их составляющих в виде регенерирующего процесса восстановления.*

*На основании формализации разработана математическая модель процесса эксплуатации водных транспортных средств, которая позволяет получить конечные аналитические выражения для расчетов необходимых показателей эффективности исследуемого процесса.*

**Ключевые слова:** водное транспортное средство, эксплуатация, восстановление.

*Powered formalized description of the maintenance and repair of marine systems and their components in the form of a regeneration process of recovery.*

*On the basis of the formalization of the mathematical model of the operation of water transport, which allows to obtain analytical expressions for the final calculation of the required performance of the test process.*

**Key words:** water vehicle, maintenance, restoration.

**Висвітлення стану проблеми.** Наявні моделі функціонування об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів судового обладнання суден. Тому для підвищення ефективності процесу експлуатації об'єктів суднових комплексів необхідно здійснити формалізований опис процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів та їх складових у вигляді регенеруючого процесу відновлення, на підставі якого обґрунтувати форму показників та критерію ефективності.

**Аналіз останніх досліджень.** Як показано у [4; 6; 7; 8], 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 виробу, що складається з множини комплектуючих виробів. Наприклад, сукупність модулів окремого блоку функціональної системи (ФС) судна, сукупність блоків ФС судна, сукупність функціональної системи судна тощо.

Ще однією особливістю [2; 4; 6], що необхідно враховувати під час дослідження ефективності системи відновлення та її впливу на ефективність процесу технічного обслуговування і ремонту судна, є те, що в реальній експлуатації відновлення працездат-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ності складових елементів судна проводиться за фактом виявлення відмови (передвідмовного стану) об'єкта контролю, незважаючи на його працездатність у цей момент. Наприклад, виявлена відмова резервного елемента працездатного об'єкта судових комплексів (пошкодження об'єкта СК) призводить до його заміни на повністю справний з подальшим відновленням справного стану.

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

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В межах цього дослідження будемо вважати, що відмова будь-якого основного елемента (вузол, блок, агрегат) призводить до непрацездатного стану судна.

Таким чином, під час розгляду судна як сукупності функціональних систем представимо його у вигляді СТС з елементами, що з'єднані за надійністю (безвідмовністю) послідовно [4].

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи судна (за умови відсутності або обмеженого обмінного фонду агрегатів) визначається, як [4; 6; 7]:

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

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'єкта  $k$ -го типу за період експлуатації, що досліджується.

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 показник ефективності судна загалом представлено як добуток показників ефективності цих підсистем, тобто в такому випадку судно формалізовано як систему з мультиплікативним коефіцієнтом ефективності і згідно з обраними в [4] показниками ефективності визначимо стаціонарний коефіцієнт готовності судна  $K_{zC}$ :

$$K_{zC} = \prod_{j=1}^k K_{zj}, \quad (1)$$

де  $K_{zj}$  – стаціонарний коефіцієнт готовності  $j$ -ї підсистеми.

**Обґрунтування форми показників ефективності та критерію оптимальності.** Як вказано у [3], у зв'язку зі складністю судна як технічної системи, а також впливу на процес його експлуатації широкого спектра випадкових факторів, ефективність процесу технічного обслуговування та ремонту характеризується значною кількістю показників. При цьому основними вимогами до показників ефективності є: простота, інформаційна забезпеченість, достатня точність, чутливість, повнота та відсутність надмірності [2; 3].

У практиці оцінювання 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 [2]. 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 очікування загальної функції відповідності  $\rho$  мети, що досягнута  $Y^{(R)}$  [1; 3] тій, що вимагається  $Y_e^{(R)}$  [1; 3], під час використання варіанта  $u \in U$  [3]:

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

де  $Y^{(R)}(u) = \left( g^{(r_1)}(u), C^{(r_2)}(u), Tr^{(r_3)}(u), F^{(r_4)}(u), T^{(r_5)}(u), \dots \right)$ ;

$U = (u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n)$  – 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  $A_u = \{A_{u1}, A_{u2}, \dots, A_{un}\}$ , так і некерованих  $A_v = \{A_{v1}, A_{v2}, \dots, A_{vk}\}$ , а також параметрами, що характеризують умови застосування судна  $A_R = \{A_{R1}, A_{R2}, \dots, A_{Rn}\}$ . Зазвичай поділ параметрів на керовані та некеровані умовний та залежить від виду задачі, що вирішується. В деяких задачах частина керованих параметрів може виступати як задана (некерована). Крім того, керовані параметри можуть викликати зміну некерованих [2]. Як правило, під час формування 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, інструментальну достовірність засобів контролю, що розглядаються, періодичність контролю, повноту відновлення, чисельність та кваліфікацію особового складу тощо.

До некерованих параметрів  $A_v$  відносяться – конструктивні характеристики та надійність об'єктів СК, трудовитрати на контроль і пошук місця відмови із застосуванням цього засобу контролю.

До параметрів  $A_R$  віднесено інтенсивність польотів, їх тривалість, характер завдань, що виконуються та ін.

У реальних умовах кількість можливих варіантів обмежена. Виходячи з цього завдання вибору раціонального варіанта організації процесу відновлення суднових комплексів судна вдається звести до задачі у варіантній постановці, за якої з множини альтернативних варіантів необхідно обрати найбільш сприятливий. Альтернативні варіанти  $u_j$  формуються зміною значень компонент вектора  $u$ ,

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

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов об'єкта суднових комплексів;  $\mu$  – 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;  $Q$  – повнота відновлення об'єкта суднових комплексів в експлуатуючій організації;  $\eta$  – повнота контролю відмов (пошкоджень);  $T$  – тривалість експлуатації об'єкта суднових комплексів.

У зв'язку з тим, що залучення об'єктів суднових комплексів у різні стани процесу реальної експлуатації статистично повторюються, а як його формальний опис обрано схему регенеруючого процесу, то для оцінювання ефективності такого процесу будемо використовувати показники ефективності математичного сподівання результату:

$$\vec{W}(u) = M \left[ Y^{(R)}(u) \right], W_r(u) = M [y_r(u)], r = \overline{1, R}, u \in U, \quad (3)$$

де  $W_r(u)$  – часткові показники ефективності використання  $u$ -го варіанта 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 [6], за якого функція відповідності дорівнює реальному результату [2]:

$$\rho \{Y^{(R)}(u), Y_e^{(R)}\} = Y^{(R)}(u).$$

Показники середнього результату (3) знайшли широке розповсюдження у дослідженнях ефективності складних технічних систем. Це обумовлено властивістю їх адитивності, що значною мірою спрощує їх оцінювання, та полягає в тому, що у випадку можливості представлення результату  $Y^{(R)}(u)$  процесу експлуатації системи, що досліджується, у вигляді суми результатів окремих його етапів  $Y^{(R)}_i(u)$  [4; 7]:

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

то середній результат процесу, що розглядається, представимо у вигляді суми середніх часткових результатів, незважаючи на можливу їх стохастичну залежність [3; 5]:

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

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  $A$ . Як відомо [1; 4; 6; 7; 8], критерій ефективності  $K$  є правилом, що дозволяє порівняти варіанти  $u \in U$ , що характеризуються різним ступенем досягнення мети, та здійснити направлений вибір варіантів  $u$  з множини допустимих  $U$ . Під час використання концепції оптимізації застосовуються критерії найбільшого результату у формі: найбільшого середнього результату, найбільшої імовірнісної гарантії результату, найбільшого гарантованого результату та ін.

Під час використання як показників ефективності процесу відновлення об'єктів суднових комплексів показника середнього результату (3), виберемо найбільш прийнятний критерій оптимальності стратегій, що розглядаються  $u \in U$ , відновлення суднових комплексів судна – критерій найбільшого середнього результату [2]. Згідно з цим критерієм оптимальним є той варіант  $u^*$ , за якого [2; 3]:

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

Тоді критерієм ефективності процесу, що досліджується, є отримання максимуму економічного виграшу під час зміни організації процесу відновлення за умови забезпечення заданого рівня коефіцієнта готовності [3; 5]:

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

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;

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

$u_m = (\lambda_j, \mu_j, T_j, x_i, \eta_i, P_i, q_i, T_{зак}, T_{AP3})$  – множина некерованих параметрів процесу експлуатації;

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

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

На підставі формалізації розроблено математичну модель процесу експлуатації об'єктів суднових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків необхідних показників ефективності процесу, що досліджується. 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.

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 судового обладнання судна.

#### Список використаних джерел

1. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. – М. : Высшая школа, 1982. – 231 с.
2. Богом'я В. І. Аналіз особливостей організації системи відновлення суднових комплексів в сучасних умовах / В. І. Богом'я, О. І. Стадник, О. О. Коваль // Стандартизація, сертифікація, якість. – Х. : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – Вип. 1. – С. 44–48.
3. Богом'я В. І. Математична модель функціональних систем судового обладнання / В. І. Богом'я, О. І. Стадник, О. О. Коваль // Системи обробки інформації. – Х. : Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 1 (126). – С. 102–105.
4. Волков Л. И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов / Л. И. Волков. – М. : Высшая школа, 1981. – 368 с.
5. Навігаційне забезпечення управління рухом суден : навч. посіб. / [Богом'я В. І., Давидов В. С., Доронін В. В., Пашков Д. П., Тихонов І. В.]. – К. : ДВВП «Компас», 2012. – 336 с.
6. Смирнов Н. Н. Обслуживание и ремонт техники по состоянию / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – М. : Транспорт, 1987. – 277 с.
7. Судостроение и судостроение (статистика, экономика, цены) / ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. – СПб., 2006. – 260 с.
8. Технично-економическіе характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. – М. : В/О «Мортехинформреклама», 1992. – 232 с.