

---

Даник А.В.

## МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ

*Проведено детальное исследование возможностей по разработке моделей и методов повышения эффективности системы навигации и управления судном на основе достоверной априорной информации о состоянии комплектующих подсистем.*

*Современным инновационным направлением является внедрение интеллектуальных систем, которые сочетают компьютерные, телекоммуникационные системы, информационные технологии, математическое и программное обеспечение, которое построено и теории искусственного интеллекта.*

**Ключевые слова:** функция неопределенности, радиометрический комплекс, критерии, радиолокация.

Danik A.V.

## MODELS AND METHODS OF ANALYSIS AND SYNTHESIS OF THE NAVIGATION AND CONTROL SYSTEM OF VESSEL TRAFFIC

*A detailed study of the possibilities for developing models and methods for improving the efficiency of the navigation and control system of a ship based on reliable a priori information on the state of the component subsystems was carried out. Modern innovative direction is the introduction of intelligent systems that combine computer, telecommunication systems, information technology, mathematical and software, which is built and the theory of artificial intelligence.*

**Key words:** uncertainty function, radiometric complex, criteria, radar.

Рецензент: д.т.н., професор Богом'я В.І.

УДК 629.5.016

Богом'я В.І., Коломієць О.М.

## МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

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

*На підставі формалізації розроблена математична модель процесу експлуатації водних транспортних засобів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків необхідних показників ефективності досліджуємого процесу.*

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

**Висвітлення стану проблеми.** Існуючі моделі функціонування об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічної 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 [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 виріб, що складається з множини комплектуючих виробів. Наприклад, сукупність модулів окремого блоку функціональної системи (ФС) судна, сукупність блоків ФС судна, сукупність функціональних систем судна тощо.

Ще однією особливістю [3, 4, 8, 9], що 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 (передвідмовного стану) об'єкта контролю незважаючи на його працездатність в цей момент. Наприклад, виявлена відмова резервного елемента працездатного об'єкту суднових комплексів (пошкодження об'єкту СК) призводить до його заміни на повністю справний з подальшим відновленням справного стану.

**Мета статті.** Метою статті є необхідність **унікнути** 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 [4].

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

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

де  $P_C(t)$  – імовірність безвідмовної роботи судна;  $P_k(t)$  – імовірність безвідмовної роботи  $k$ -го комплектуючого виробу;  $Q_C(t)$  – імовірність 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 досліджуємий 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 показник ефективності судна в цілому представляється як добуток показників ефективності цих підсистем [9]. Тобто, 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  $K_{zC}$  (2.3) як [9]:

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

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

Обґрунтування форми показників ефективності та критерію оптимальності. Як вказано у [7], у зв'язку зі складністю судна як технічної системи, а також впливу на процес його експлуатації широкого спектру 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 [7,8].

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 судових комплексів, визначимо формально показник його ефективності як математичне очікування загальної функції відповідності  $\rho$  мети, що досягнута  $Y^{(R)}$  [5,7] тій, що вимагається  $Y_e^{(R)}$  [5,7], при використанні варіанту  $u \in U$  [7]:

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

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  $A_u = \{A_{u1}, A_{u2}, \dots, A_{ui}\}$  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 в якості заданих (некерованих). Крім того, керовані параметри можуть викликати зміну некерованих [8]. 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, інструментальну достовірність розглядаємих засобів контролю, 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 з застосуванням даного засобу контролю.

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

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],

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

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 в різні 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 [9]:

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

де  $W_r(u)$  – часткові показники ефективності використання  $u$ -го 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]:

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

Показники середнього результату (3) найшли широке розповсюдження у дослідженнях ефективності складних технічних систем [9]. Це обумовлено властивістю їх адитивності, що значною мірою спрощує їх оцінку, та заключається в тому, що у випадку можливості представлення результату  $Y^{(R)}(u)$  процесу експлуатації досліджуємої системи у вигляді суми результатів окремих його етапів  $Y^{(R)}_i(u)$  [2,4]:

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

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

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

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 [1–5], 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]:

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

Тоді критерієм ефективності досліджуємого процесу є отримання максимуму економічного вигаду при зміні організації процесу відновлення за умови забезпечення заданого рівня коефіцієнту готовності [6,7]:

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

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;

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

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

$M[C_{\sigma\Sigma}(u_{icn})]$  – середня сумарна вартість відновлення суднових комплексів судна за період, що розглядається при існуючій 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 розроблена математична модель процесу експлуатації об'єктів суднових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків необхідних показників ефективності досліджуємого 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 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.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Техничко-экономические характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1992. – 232 с.
2. Судостроение и судостроение (статистика, экономика, цены). ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова. - Вып. 8(35). – СПб, 2006. – 260 с.
3. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 277 с.
4. Волков Л.И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов – М.: Высшая школа, 1981 – 368 с.
5. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
6. 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.
7. Богом'я В.І. Математична модель функціональних систем судового обладнання / О.І. Стадник, О.О. Коваль, В.І. Богом'я // Системи обробки інформації.– Х.: Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2015.– Вип. 1(126).–С.102–105.
8. Богом'я В.І. Аналіз особливостей організації системи відновлення суднових комплексів в сучасних умовах/ О.І. Стадник, О.О. Коваль, В.І. Богом'я // Стандартизація, сертифікація, якість. – Х.: ДП «УкрНДНЦ», 2015.– Вип. 1.– С.44–48.

**Богом'я В.І., Коломиец О.Н.**

### **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*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

---

V. Bohomia, O. Kolomiets

## METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF OPERATION OF SHIP'S COMPLEXES

*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.*

**Keywords:** water vehicle maintenance, restoration

Рецензент: д.т.н., професор Пашков Д.П.

УДК 629.542

*Лавриненко В.Ф.*

### МЕТОД ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ

*У даній статті наведено, що прийнятий підхід на основі існуючої системи технічного обслуговування і ремонту призводить до значної перевитрати ресурсів, а виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту у встановлені календарні терміни в більшості випадків не забезпечує заданої надійності.*

*Обґрунтована актуальність розроблення нових методів технічної експлуатації суднових комплексів на основі застосування перспективних систем технічного діагностування суднових комплексів.*

**Ключові слова:** модель, процес експлуатації, суднові комплекси.

**Вступ. Постановка задачі.** Стрімкий розвиток техніки в ХХ ст. істотно підвищив вимоги щодо зменшення ваги і габаритів технічних систем при одночасному збільшенні їх продуктивності і технічних характеристик. У цих умовах проблема забезпечення і підвищення надійності об'єктів стала ще більш гострою [1,2].

Статистика відмов, що є до теперішнього часу основним джерелом інформації для оцінювання надійності об'єкта, всього лише зворотній зв'язок, який свідчить про помилки при проектуванні, створенні і експлуатації судна. Тому на початку 1980-х рр. для розрахунку і прогнозування можливої поведінки технічних систем судна в передбачуваних умовах експлуатації почали впроваджуватися сучасні інформаційні технології (ІТ) (сукупність засобів і способів отримання, передачі і подання інформації про технічний стан об'єкта).

Також відомо [3,4], що у структурі витрат, які знижують прибутковість і підвищують витрати судоходства, витрати, які пов'язані з технічним обслуговуванням та ремонтом складають 20-30%, займаючи друге місце після витрат на паливо. А критична ситуація з фінансуванням, неприпустима низька справність суден висувають в число пріоритетних завдань питання розвитку та удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту.

**Мета статті.** Метою статті є обґрунтування розроблення перспективного методу технічного діагностування обладнання, як складової системи технічного обслуговування та ремонту.