

¹Володимир Іванович Богом'я (д-р техн. наук, с.н.с.)²Володимир Федорович Лавріненко²Денис Миколайович Гудков³Ярослав В'ячеславович Мельник¹ДП "УкрНДНЦ", Київ, Україна²Київська державна академія водного транспорту, Київ, Україна³Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ОБ'ЄКТІВ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті наведені способи визначення середнього часу відновлення об'єкту суднового обладнання в експлуатуючій організації, а також особливості розроблення математичної моделі процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів суднових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу.

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

Ключові слова: суднове обладнання; технічне обслуговування; ремонт.

Вступ

Постановка проблеми. Однією з величин, що визначають середній час відновлення об'єкту суднового обладнання $M(t_b)$ (c_2 , c_3) в експлуатуючій організації, є повнота відновлення об'єкту j -го типу Q_j . Зазвичай ця величина визначається з досвіду експлуатації. В сучасних умовах експлуатації це стає вкрай складним завданням, тому виникає необхідність її визначення іншими способами [1-3].

Аналіз останніх досліджень. Для визначення Q_j розглянемо ієрархічну структуру функціональних систем суднового обладнання (СО) суден за конструктивною складністю. Ієрархія за конструктивною складністю створюється внаслідок побудови об'єктів СО у вигляді конструктивно-закінчених знімних блоків, котрі складаються з модулів (знімних плат або вузлів), а вони, в свою чергу, – з неподільних елементів (субмодулів, мікросхем, транзисторів, резисторів тощо). Представимо функціональну систему судна як складну технічну систему, яка складається з j агрегатів (блоків) A_j ($j = \overline{1, n}$), які, в свою чергу, складаються з k ($k = \overline{1, m}$) рівнів по l ($l = \overline{1, z}$) модулів. При цьому вважаємо сукупність елементів, що не демонтуються в умовах експлуатації, єдиним модулем (наприклад, неподільні елементи, що розташовані на платі та залиті компаундом). Таким чином отримуємо на кожному k -му рівні $z + 1$ модулів (рис.1).

Таке представлення дає змогу зробити припущення про послідовне з'єднання модулів як

в межах будь-якого рівня, так і в межах виробу СК без врахування функціональних зворотних зв'язків. Тобто відмова будь-якого модуля A_{jkl} викликає відмову всього виробу СК.

Мета статті. Розробити способи визначення середнього часу відновлення об'єкту суднового обладнання, а також математичну модель процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів суднових комплексів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Кожен рівень охарактеризуємо двома величинами: кількістю модулів l , що можуть бути демонтовані в умовах експлуатації, та параметром потоку відмов кожного модуля ω_{jkl} у загальному потоці відмов даного рівня ω_{jk} .

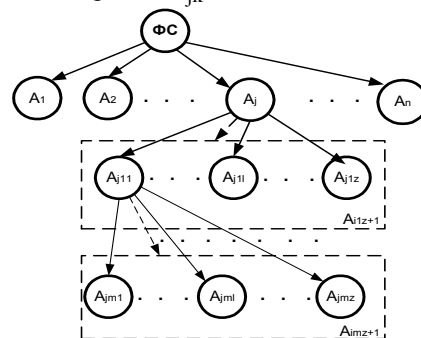


Рис. 1. Ієрархічна структура функціональних систем судна за конструктивною складністю

В цьому випадку згідно [1-5] для послідовного логічного з'єднання параметр потоку відмов системи з l елементів визначається виразом

$$\omega_{jk} = \sum_{l=1}^{z+1} \omega_{jkl} \quad (1)$$

За даними експлуатації визначаємо долю відмов кожного з A_{jkl} модулів у загальному потоці відмов даного рівня ω_{jk} . Виразимо параметр потоку відмов ω_{jkl} модуля через параметр потоку відмов всього рівня

$$\omega_{jkl} = k_{jkl} \cdot \omega_{jk}, \quad (2)$$

де $k_{jkl} = (\overline{0,1})$ – коефіцієнт, що враховує долю відмов A_{jkl} -го модуля в загальному потоці відмов k -го рівня.

Тоді сумарний параметр потоку відмов елементів даного рівня, що можуть бути замінені в умовах експлуатації,

$$\omega_{\Sigma jk} = \omega_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl} \quad (3)$$

В свою чергу, відмови A_{jk} -го модуля складають визначену долю відмов модуля більш високого рівня

$$\omega_{jk} = k_{jk} \cdot \omega_j, \quad (4)$$

де $k_{jk} = (\overline{0,1})$ – коефіцієнт, що враховує долю відмов A_{jk} -го модуля в потоці відмов модуля більш високого рівня.

Тобто

$$\omega_{\Sigma jk} = \omega_j \cdot k_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl} \quad (5)$$

Таким чином для всієї сукупності модулів j -го агрегату (блока), що можуть бути відновлені в умовах експлуатації, параметр потоку відмов визначимо як:

$$\omega_{Q_j} = \omega_j \cdot \sum_{k=1}^m (k_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl}) \quad (6)$$

Тобто повнота відновлення об'єкту j -го типу в експлуатуючій організації Q_j визначимо як коефіцієнт при параметрі потоку відмов даного об'єкту СК:

$$Q_j = \sum_{k=1}^m (k_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl}) \quad (7)$$

Таким чином, за допомогою виразів (1) – (7) можливе характеризувати вплив системи відновлення суднового обладнання на коефіцієнт готовності обслуговуваних об'єктів суднових комплексів.

Математична модель багатоетапного технічного обслуговування об'єктів суднового обладнання з урахуванням глибини пошуку місця відмови. У приведеній вище моделі процесу технічної експлуатації ОК розглядається одна зі складових вірогідності контролю – інструментальна вірогідність, що враховує

можливість існування “хибних” і невиявлених відмов і є характеристикою засобів контролю. Методична вірогідність – друга складова вірогідності контролю, що обумовлена сукупністю параметрів, що контролюються, методикою й алгоритмами контролю і критеріями оцінки технічного стану об'єкта контролю – приймалась рівній одиниці. Тобто, якщо множині всіх відмов об'єкта контролю відповідає сумарна інтенсивність відмов Λ , то методична достовірність забезпечує можливість виявлення будь-якої відмови за визначеною множиною параметрів, що контролюються. В реальних умовах експлуатації створення та застосування засобів контролю з такою достовірністю контролю майже неможливе. Збільшення методичної достовірності контролю призводить до ускладнення апаратури контролю, збільшенню маси та габаритів АСК (ВЗК), надлишку інформації екіпажу під час польоту, зростанню термінів підготовки суден до використання їх за призначенням. Всі ці негативні фактори призводять до зниження ефективності застосування судна в цілому. У зв'язку з цим контроль технічного стану об'єктів суднового обладнання є багатоетапним [4-9].

Нехай кожен j -й етап контролю технічного стану характеризується своєю вірогідністю контролю D_j , причому $[D_j = D_{uj}, D_{mj}]$ де D_{uj} – інструментальна вірогідність, D_{mj} – методична вірогідність контролю на j -му етапі. Методика контролю і критерії оцінки технічного стану об'єкта контролю часто мають суб'єктивний характер і розробляються до сформованого варіанту системи контролю. Виходячи з цього, методичну вірогідність будемо характеризувати найбільш істотною її складовою – повнотою контролю j -го етапу технічного обслуговування.

Повнота контролю η_j може бути визначена як умовна імовірність технічної можливості виявленні відмов об'єкта контролю сукупністю всіх засобів контролю, застосовуваних на j -ому етапі технічного обслуговування. Для найпростішого потоку відмов об'єкта контролю цей показник визначається з наступного співвідношення:

$$\eta_j = \frac{\lambda_{обнj}}{\Lambda}, \quad (8)$$

де $\lambda_{обнj}$ – сумарна інтенсивність типів відмов, що виявляються засобами j -го етапу;

Λ – сумарна інтенсивність відмов всього об'єкта.

При контролі технічного стану складних систем суднового обладнання частина блоків, вузлів, елементів охопити контролем або неможливо, або досить складно. Тому такі елементи як лінії живлення і передачі інформації, деякі датчики і сигналізатори, покажчики і виконавчі пристрої та інші не охоплені інструментальним контролем. Контроль їхнього технічного стану здійснюється в процесі контролю

функціонування з використанням органолептичних методів контролю.

Таким чином, надалі будемо враховувати методичну вірогідність контролю, обумовлену виразом (8), зневажаючи помилками самого методу.

Нехай множині всіх відмов об'єкта контролю $A = \{A_1, A_2, \dots, A_1\}$ відповідає сумарна інтенсивність відмовлень всіх елементів об'єкта Λ . На кожному j -му етапі проводиться контроль підмножини параметрів $\Pi_j = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{N_j}\}$ з множини $\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{N_j}, \dots, \Pi_N\}$. Кожен наступний етап супроводжується контролем по більшій кількості параметрів

$$\begin{cases} \Pi_1 \supset \Pi_2 \supset \dots \supset \Pi_M \\ \Pi_1 = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{N_1}\} \\ \Pi_2 = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{N_1}, \dots, \Pi_{N_2}\} \\ \dots \\ \dots \\ \Pi_M = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{N_1}, \dots, \Pi_{N_M}\} \end{cases}$$

Це означає, що на j -ому етапі виконується контроль по відповідній додатковій підмножині параметрів

$$\Delta\Pi_1, \Delta\Pi_2, \dots, \Delta\Pi_M,$$

де $\Delta\Pi_1 = \Pi_1$; $\Delta\Pi_2 = \Pi_2 - \Pi_1$; $\Delta\Pi = \Pi - \Delta\Pi_M$;

$$\Delta\Pi_1 \cup \Delta\Pi_2 \cup \dots \cup \Delta\Pi_M \cup \Delta\Pi = \Pi.$$

Множина параметрів Π дозволяє виявити усі відмови об'єкта контролю, яким відповідає сумарна інтенсивність відмов Λ , підмножина Π_j - відмови в об'єкті, що виявляються встановленим алгоритмом контролю технічного стану j -го етапу, яким відповідає інтенсивність відмов λ_j . Тоді для найпростішого потоку відмов кожен етап контролю буде характеризуватися своєю повнотою контролю η_j . На кожному наступному етапі контроль здійснюється з більшої, ніж на попередньому повнотою $\eta_{j+1} > \eta_j$ (рис. 2).

Вважаємо, що λ_j - сумарна інтенсивність відмов елементів об'єкта, що дозволяє додатково виявити алгоритм контролю на j -му етапі по $\Delta\Pi_j$ параметрах у порівнянні з попереднім етапом.

Множині відмов A_M , які можна виявити за результатами контролю множини параметрів Π_M останнього M -го етапу контролю, відповідає сумарна інтенсивність відмов Λ . Різниця множин A і A_M відповідає інтенсивність відмов $\lambda_{M+1} = \Lambda - \lambda_M$, що не вдається виявити по множині параметрів на M -му етапі контролю за допомогою застосовуваних засобів і які виявляється (проявляються самостійно) у процесі технічного обслуговування та ремонту.

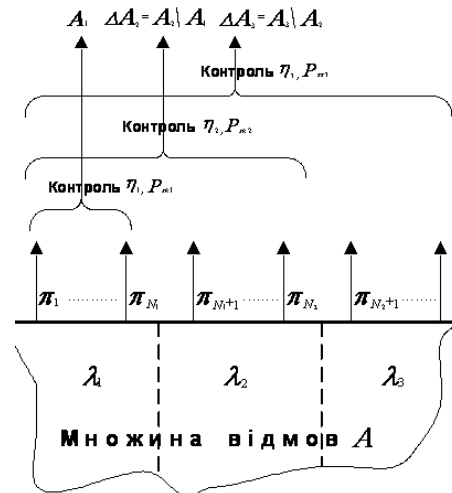


Рис. 2. Модель багатоетапного контролю

Тоді

$$\Lambda = \sum_{j=1}^{M+1} \lambda_j. \quad (9)$$

Внаслідок того, що $\eta_1 < \eta_2 < \dots < \eta_M$, сумарна інтенсивність відмов елементів об'єкта контролю, що додатково дозволяє виявити контроль на j -му етапі в порівнянні з попереднім, визначається як

$$\lambda_j = \Lambda \cdot (\eta_j - \eta_{j-1}), j = \overline{1, M}. \quad (10)$$

Сумарна інтенсивність відмов об'єкта, що не вдається виявити за результатами контролю останнього етапу, дорівнює

$$\lambda_{M+1} = \Lambda \cdot (1 - \eta_M). \quad (11)$$

Очевидно, що для будь-якої підмножини відмов $\Delta A_j = A_j - A_{j-1}$, що дозволяє виявити контроль на j -му етапі додатково до попереднього етапу, контроль j -го етапу є ідеальним по повноті в порівнянні з $j-1$ етапом. Ці відмови виявляються в момент проведення одного з контролів працездатності з імовірністю P_j , або виявляються в польоті до моменту їхнього виявлення при контролі. На попередніх етапах технічного обслуговування виявити ці відмови за допомогою штатних засобів контролю неможливо.

Складну систему із сумарною інтенсивністю відмов Λ представимо умовно у виді підсистем з інтенсивностями відмов $\lambda_j, j = \overline{1, M}$. Тоді контроль технічного стану кожної підсистеми здійснюється по множині параметрів $\Delta\Pi_j$ і з періодичністю X_j , що дозволяє в момент контролю технічного стану виявити всю множину відмов A_j з імовірністю P_j .

Відмови, що не дозволяє виявити алгоритм контролю j -го етапу, виявляються при переходах.

При такому представленні складної системи загальний наробіток системи або блоку до відмови $M[\psi(t)]$ буде визначатися з наробітків $M[\psi_j(t)]$ складових частин об'єкта контролю.

Висновки й перспективи подальших досліджень

1. З урахуванням недоліків існуючих моделей функціонування об'єктів експлуатації розроблені вимоги до математичної моделі процесу технічної обслуговування і ремонту об'єктів суднового обладнання. На підставі розроблених вимог обґрунтовані класи моделей та метод моделювання.

2. На підставі формалізації розроблена математична модель процесу ТО і Р об'єктів суднових комплексів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків показників ефективності досліджуваного 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 ТО і Р.

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

Література

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с. 2. **Технико-экономические** характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. – М.: В/О “Мортехинформреклама”, 1992. – 232 с. 3. **Barlow R.E.** Engineering reliability / Richard. E. Barlow – ASA – SIAM, Philadelphia, USA, 1998. – 196 p. 4. **Smith A. M.** RCM: gateway to world class maintenance / Anthony M. Smith., Glenn R. Hincheliffe – Elsevier Inc., Burlington, USA, 2004. – p. 340. 5. **Надійність** техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення: ДСТУ 2864 : 94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 30 с. 6. **Барзилович Е. Ю.** Модели

технического обслуживания сложных систем/ Барзилович Е.Ю. – 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. **Каштанов В.А.** Оптимальные задачи технического обслуживания/Каштанов В.А. – М.: Знание, 1981. – 122 с. 9. **Лавриненко В.Ф.** Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством/ В.Ф. Лавриненко, А.И. Стадник, В.П. Тарохтей // Водный транспорт, 2014. –Вип.3(21).–С.11–14.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБЪЕКТОВ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

¹*Владимир Иванович Богомья (д-р техн. наук, с.н.с)*

²*Владимир Федорович Лавриненко*

²*Денис Николаевич Гудков*

³*Ярослав Вячеславович Мельник*

¹*ДП “УкрНДНЦ”, Киев, Украина*

²*Киевская государственная академия водного транспорта, Киев, Украина*

³*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

В статье приведены способы определения среднего времени восстановления объекта судового оборудования в эксплуатирующей организации, а также особенности разработки математической модели процесса технического обслуживания и ремонта объектов судовых комплексов судна, что позволяет получить конечные аналитические выражения для расчетов соответствующих показателей эффективности процесса. На основании формализации разработана математическая модель процесса технического обслуживания и ремонта объектов судовых комплексов, позволяет получить конечные аналитические выражения для расчетов показателей эффективности процесса, которые исследуются. 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: судовое оборудование; техническое обслуживание; ремонт.

THE MATHEMATICAL MODEL OF SHIPBOARD COMPLEXES OBJECTS MAINTENANCE PROCESS

¹*Volodymyr I. Bohomia (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

²*Volodymyr F. Lavrynenko*

²*Denys M. Hudkov*

³*Yaroslav V. Melnyk*

¹DP "UkrNDNTs", Kyiv, Ukraine

²Kyiv State Academy of Water Transport, Kyiv, Ukraine

³National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The paper presents the technique of determining the mean repair time of shipboard equipment object at the operation organization, and features of the developing the maintenance process mathematical model of shipboard complexes objects that provides obtain the finite analytical expressions for the calculation of relevant process efficiency. Based on formalization the maintenance process mathematical model of shipboard complexes objects was developed, that allows getting the finite analytical expressions for the calculation of relevant process efficiency which is researched. The model allows evaluating the impact of the ship complexes recovery, as a set of control facilities, diagnostic and repair facilities, set of spare elements, performers interacting with the exploitation object by the established rules on the efficiency of maintenance process.

Keywords: shipboard equipment; maintenance and repair process.

References

1. **Egorov G.V.** (2007), Design of boats restricted navigation area on the basis of the theory of risk. [Proektyrovanye sudov ohranychennykh raionov plavaniya na osnovanyu teoryi ryska], SPb. Sudostroeniye, 384 p.
2. **The technical and Economic characteristics Sea Commercial fleet of ships** (1992), [Tekhniko-ekonomycheskiye kharakterystyky sudov morskogo flota], RD 31.03.01-90., Moscow, I/O "Mortehynformreklama", 232 p.
3. **Barlow R.E.** (1998), Engineering reliability ASA SIAM, Philadelphia, USA., 196 p.
4. **Smith A.M.** (2004), RCM: gateway to world class maintenance / Anthony M. Smith., Glenn R. Hincheliffe - Elsevier Inc., Burlington, USA., 340 p.
5. **Reliability engineering. Experimental evaluation and control of reliability**(1995). [Nadiinist tekhniky. Eksperymentalne otsiniuvannia ta kontrol nadiinosti. Osnovni polozhennia], Key provisions: ISO 2864: 94. [Effective as of 01.01.1996],Kyiv, State Standard of Ukraine, 30 p.
6. **Barzilovich E.Y.** (1982), Models maintenance of complex systems. [Modely tekhnicheskoho obsluzhyvaniya slozhnykh system], Moscow, Higher School, 231 p.
7. **Bohom'ya V.I.**, Davydov V.S., Doronin V.V., Pashkov D.P., Tikhonov I.V., Navigation support vessel traffic management (manual) (2012), [Navihatsiine zabezpechennia upravlinnia rukhom sudden], Vyd.1, Kyiv, DVVPU "Compass", 336 p.
8. **Kashtanov V.A.** (1981), Optimal maintenance tasks, [Optymalnye zadachy tekhnicheskoho obsluzhyvaniya], Red VA, Moscow, Knowledge, 122 p.
9. **Lavrynenko V.F.**, Stadnyk A.I., Tarohet V.P. (2014), The choice of method for controlling multi-criteria optimization of water transport equipment. [Vubor metoda mnohokryteryalnoi optymizatsiyi dlia upravleniya vodnum transportnum sredstvom], Water Transport, Vol. 3 (21), pp.11–14.

Отримано: 17.02.2015 року