

УДК 629.5.016

В.І. Богом'я<sup>1</sup>, О.І. Стадник<sup>2</sup><sup>1</sup> ДП «Український НДНЦ проблем стандартизації, сертифікації та якості», Київ<sup>2</sup> Київська державна академія водного транспорту, Київ

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

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.

**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 судового 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 тех-

нічного обслуговування та ремонту об'єктів суднових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу.

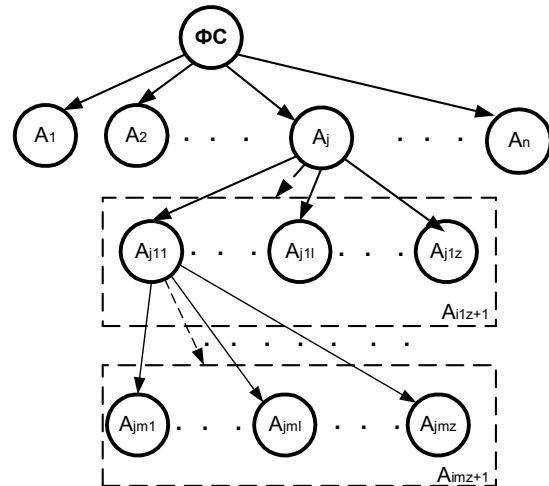


Рис. 1. Ієрархічна структура функціональних систем судна за конструктивною складністю

### Виклад основного матеріалу

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

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  $\omega_{jk}$ .

Виразимо параметр потоку відмов  $\omega_{jkl}$  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:

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

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 судового обладнання на коефіцієнт готовності обслуговуваних об'єктів судових комплексів.

**Математична модель багатоетапного технічного обслуговування об'єктів судового обладнання суден 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  $\Lambda$ , 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 судового 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  $\eta_j$  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;  $\Lambda$  – сумарна інтенсивність відмов всього об'єкта.

При контролі технічного стану складних систем судового 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, показчики і виконавчі пристрої та інші не охоплені інструментальним контролем. Контроль їхнього технічного стану здійснюється в процесі

контролю функціонування з використанням органо-лептичних методів контролю.

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

Нехай множині всіх відмов об'єкта контролю

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$$

відповідає сумарна інтенсивність відмовлень всіх елементів об'єкта  $\Lambda$ .

На кожному  $j$ -му етапі проводиться контроль підмножини параметрів

$$\Pi_j = \{\Pi_{j1}, \Pi_{j2}, \dots, \Pi_{jN_j}\}$$

з множини

$$\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{N_1}, \dots, \Pi_{N_M}\}.$$

Кожен наступний етап супроводжується контролем по більшій кількості параметрів

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_1 \supset \Pi_2 \supset \dots \supset \Pi_M \\ \Pi_1 = \{\Pi_{11}, \Pi_{12}, \dots, \Pi_{1N_1}\} \\ \Pi_2 = \{\Pi_{21}, \Pi_{22}, \dots, \Pi_{2N_2}\} \\ \dots \\ \dots \\ \Pi_M = \{\Pi_{M1}, \Pi_{M2}, \dots, \Pi_{MN_M}\} \end{array} \right.$$

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  $\Pi$  дозволяє виявити усі відмови об'єкта контролю, яким відповідає сумарна інтенсивність відмов  $\Lambda$ , підмножина  $\Pi_j$ - відмови в об'єкті, що виявляються встановленим алгоритмом контролю технічного стану  $j$ -го етапу, яким відповідає інтенсивність відмов  $\lambda_j$ .

Тоді для найпростішого потоку відмов кожен етап контролю буде характеризуватися своєю повнотою контролю  $\eta_j$ . На кожному наступному етапі контроль здійснюється з більшої, ніж на попередньому повнотою  $\eta_{j+1} > \eta_j$  (рис. 2).

Вважаємо, що  $\lambda_j$  – 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.

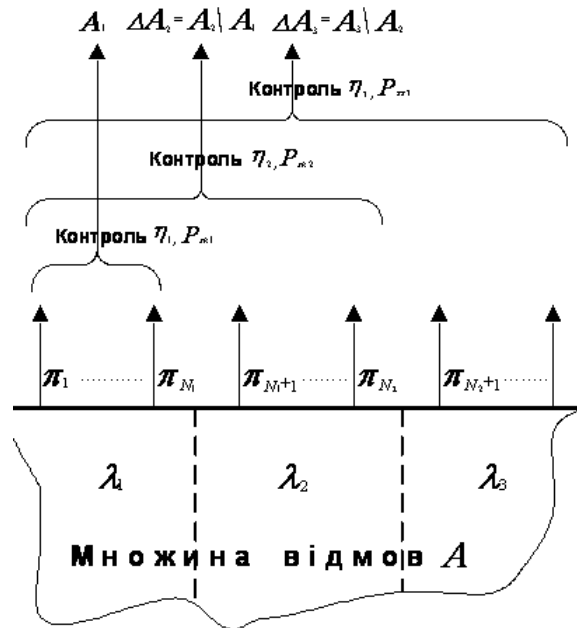


Рис. 2. Модель багатоетапного контролю

Множині відмов  $A_M$ , які можна виявити за результатами контролю множини параметрів  $\Pi_M$  останнього  $M$ -го етапу контролю, відповідає сумарна інтенсивність відмов  $\Lambda$ . 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 польоті. Тоді

$$\Lambda = \sum_{j=1}^{M+1} \lambda_j. \tag{9}$$

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

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

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

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

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 вияв-

лення при контролі. На попередніх етапах технічного обслуговування виявити ці відмови за допомогою штатних засобів контролю неможливо.

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

Відмови, що не дозволяють 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'єкту контролю.

### Висновки

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

2. На підставі формалізації розроблена математична модель процесу ТО і Р об'єктів судових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків шуканих показників ефективності досліджуваного процесу. Модель дозволяє оцінити вплив системи відновлення СС, 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 судових комплексів їх повноти відновлення в умовах експлуатанта та багатоступовості процесу технічного обслуговування з урахуванням повноти контролю технічного стану об'єктів судового обладнання судна.

### Список літератури

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска / Г.В. Егоров. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Техничко-экономические характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1992. – 232 с.
3. Судостроение (статистика, экономика, цены). – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2006. – Вып. 8(35). – 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., Дорошкін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В.]. – Вид. 1.– К.: ДВВІП «Компас», 2012 – 336 с.
8. Капитанов В.А. Оптимальные задачи технического обслуживания / В.А. Капитанов. – М.: Знание, 1981. – 122 с.
9. Стадник А.И. Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством / А.И. Стадник, В.Ф. Лавриненко, В.П. Тарохтей // Водный транспорт. – К.: КДАВТ, 2014. – Вып. 3 (21). – С. 11–14.

Надійшла до редколегії 30.12.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент Д.П. Пашков, Національний університет оборони України ім. І. Черніховського, Київ.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.И. Богомья, А.И. Стадник

*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.*

**Ключевые слова:** судовое оборудование, техническое обслуживание, ремонт.

### MATHEMATICAL MODEL OF THE FUNCTIONAL SYSTEMS OF THE SHIP EQUIPMENT

V.I. Bogomya, A.I. Stadnik

*The article discusses ways to determine the average recovery time object of the ship equipment in the operating organization, as well as features of the development of mathematical models of the process of maintenance and repair of shipboard complexes of the vessel, which allows to obtain a final analytical expressions for calculating the indicators of efficiency of the process.*

**Keywords:** ship equipment, technical service, repair.