

Дакі О.А., Бойко С.О.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

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.

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

Перспективними напрямками подальших досліджень у зазначеній сфері може бути широке коло питань щодо розроблення науково-методичного апарату технічного прогнозування з урахуванням специфіки застосування судового обладнання в різноманітних умовах використання.

Ключові слова: ефективність експлуатації, судові комплекси, моделювання

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливішими практичними завданнями. Основне протиріччя, яке лежить в основі наукових досліджень у напрямку підвищення ефективності експлуатації судових комплексів, полягає, з одного боку, у необхідності підвищення технічної готовності судового обладнання до використання за призначенням та безвідмовності його функціонування, для чого є необхідним здійснення постійного контролю за його функціонуванням та виконання цілого комплексу періодичних перевірок та діагностування. Разом з тим такий підхід суттєво підвищує вартість експлуатації обладнання та зменшує загальну рентабельність флоту.

З іншого боку, намагання максимального здешевлення морських транспортних перевезень, призводить до зменшення кількості контрольних заходів, спрощення їх процедури з перекладанням максимального числа функцій діагностики на технічні засоби. У такому аспекті, розроблення нових методів технічної експлуатації обладнання на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності та обсягу діагностування, у тому числі часу відновлення об'єкту судового обладнання в експлуатуючій організації є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання технічної експлуатації, обслуговування і ремонту суден висвітлюється у роботах Смирнова Н.Н., Ицковича А.А., Волкова Л.І., Барзиловича Е.Ю.

В області розробки теорії прогнозування відомі роботи вчених: І.П. Атаманюка, В.М. Глушкова, М.З. Згуровського, О.Г. Івахненка, В.Д. Кудрицького, Богом'ї В.І., Давидова В.С., Дороніна В.В., Тихонова І.В. та ін. Область технічного прогнозування судового устаткування досліджена у роботах В.П. Калявіна, А.С. Кобелевої, А.В. Козлова та ін [1-5].

Однак незважаючи на значну кількість публікацій щодо вирішення різноманітних питань експлуатації та ремонту судового обладнання, не вирішеними залишаються питання щодо визначення оптимальних міжперевірочних інтервалів, доцільного переліку робіт з

діагностування зразків суднового обладнання, визначення часу відновлення об'єкту суднового обладнання в експлуатуючій організації.

Формулювання цілей статті. Таким чином, ціллю даної статті є наведення особливостей розроблення математической модели процесса технического обслуживания и ремонта объектов судовых комплексов, яка дозволяє отримати конечные аналитические выражения для расчетов соответствующих показателей эффективности відновлення об'єктов судовых комплексов.

Виклад матеріалів дослідження. Однією з величин, що визначають середній час відновлення об'єкту суднового обладнання $M(t_{e_j}) (c_2, c_3)$ 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].

Повнота відновлення об'єкту суднового обладнання. 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.

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} . 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.

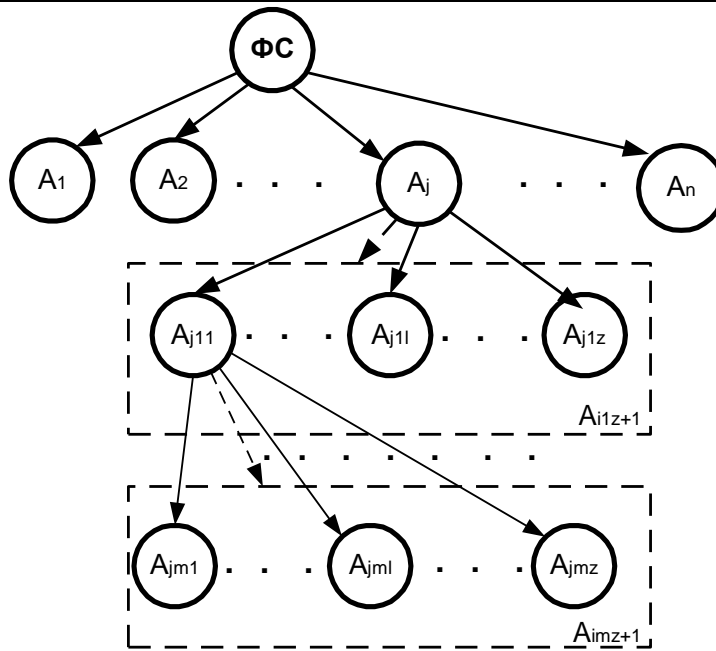


Рис.1. Ієрархічна структура функціональних систем судна за конструктивною складністю

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

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

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

$$\omega_{jk} = k_{jk} \cdot \omega_j \tag{4}$$

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

Тобто

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

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

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

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 з урахуванням глибини пошуку місця відмови. У приведеній вище моделі процесу технічної експлуатації розглядається одна зі складових ймовірності контролю – інструментальна вірогідність, що враховує можливість існування "хибних" і невиявлених відмов і є характеристикою засобів контролю. Методична вірогідність – друга складова ймовірності 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 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. Повнота контролю η_j може бути визначена як умовна ймовірність 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 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, покажчики і виконавчі пристрої та інші не охоплені інструментальним контролем. Контроль їхнього технічного стану здійснюється в процесі контролю функціонування з використанням органолептичних методів контролю [9, 10].

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

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

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

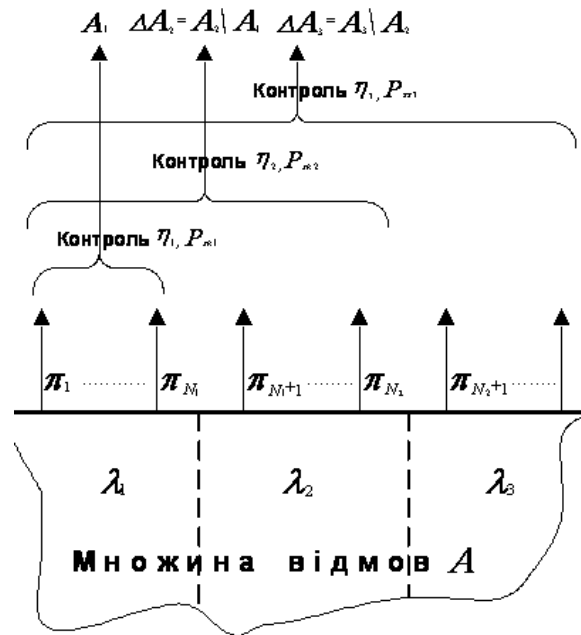


Рис.2. Модель багатоетапного контролю

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'єкту контролю.

Так, для трьох етапів експлуатації (експлуатація за призначенням, оперативне обслуговування, періодичне обслуговування) рис. 2 вираз для загального наробітку системи до відмови $M[\psi(t)]$ запишеться як

$$M[\psi(t)] = \frac{M[\psi_1(t)] \cdot M[\psi_2(t)] \cdot M[\psi_3(t)]}{M[\psi_1(t)] \cdot M[\psi_2(t)] + M[\psi_1(t)] \cdot M[\psi_3(t)] + M[\psi_2(t)] \cdot M[\psi_3(t)]} \quad (12)$$

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

2. На підставі формалізації розроблена математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків показників ефективності досліджуємого процесу. Модель дозволяє оцінити вплив системи відновлення, 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 багатоетапності процесу технічного обслуговування з урахуванням повноти контролю технічного стану об'єктів судового обладнання судна.

4. Перспективними напрямками подальших досліджень у зазначеній сфері може бути широке коло питань щодо розроблення науково-методичного апарату технічного прогнозування з урахуванням специфіки застосування судового обладнання в різноманітних умовах використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. - СПб.: Судостроение, 2007. - 384 с.
2. Техничко-економические характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1992. - 232 с.
3. Судходство и судостроение (статистика, экономика, цены). ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова. - СПб, 2006. - 260 с.
4. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 277 с.
5. Волков Л.И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов – М.: Высшая школа, 1981 – 368 с.
6. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – 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. – М.: Знание, 1981. – 122 с.
9. Стадник А.И. Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством// Лавриненко В.Ф., Стадник А.И., Тарохтей В.П. –К.:КДАВТ, "Водний транспорт", 2014. –Вип.3(21).–С.11–14.
10. Богом'я В.І., Коломієць О. М. Методи підвищення ефективності процесу експлуатації суднових комплексів//Новітні технології. – К.: УНТ ПВНЗ, 2017.– Вип. 1(3).– С.42–48.

REFERENCES

1. Ehorov, H. V. (2007). *Proektyrovanye sudov ohranychennukh raionov plavaniya na osnovanyu teoryu ryska*. SPb.: Sudostroeniye.
2. *Tekhnyko-ekonomycheskye kharakterystyky sudov morskoho flota* (1992). RD 31.03.01-90. M.: V/O «Mortekhyinformreklama».
3. *Sudokhodstvo y sudostroeniye (statystyka, ekonomyka, tsenu)* (2006). TsNYY ym. akad. A.N.Krulova. SPb.
4. Smyrnov, N. N. & Ytskovych, A. A. (1987). *Obsluzhyvaniye y remont tekhniky po sostoianiyu*. M.: Transport.

5. Volkov, L. Y. (1981). *Upravlenye ekspluatatsyei korabelnykh kompleksov*. M.: Vysshaia shkola.
6. Barzylowych, E. Yu. (1982). *Modely tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnykh system*. M.: Vysshaia shkola.
7. Bohomia V. I., Davydov V. S., Doronin V. V., Pashkov D. P., Tykhonov I.V. (2012). *Navihatsiine zabezpechennia upravlinnia rukhom suden (navchalnyi posibnyk)*. Vyd.1-e.–K.:DVVP «Kompas».
8. Kashtanov, V.A. (1981). *Optymalnye zadachy tekhnicheskogo obsluzhivaniya*. M.: Znanye.
9. Lavrynenko, V. F., Stadnyk, A. Y. & Tarokhitei, V. P. (2014). Vubor metoda mnohokryterialnoi optymyzatsyy dlia upravleniia vodnum transportnum sredstvom. K.:KDAVT, "Vodnyi transport", Vyp.3(21). 11–14.
10. Bohomia, V. I. & Kolomiets, O. M. (2017). Metody pidvyshchennia efektyvnosti protsesu ekspluatatsii sudnovykh kompleksiv. *Novitni tekhnolohii*. K.: UNT PVNZ. Vyp. 1(3). 42–48.

Daki O.A., Boyko S.O.

MATHEMATICAL MODEL OF THE FUNCTIONAL SYSTEMS OF THE SHIP EQUIPMENT

Taking into account the disadvantages of existing models of the operation of the objects of operation, requirements for the mathematical model of the process of maintenance and repair of ship's equipment facilities have been developed. Based on the developed requirements, the model class and modeling method are justified.

The article presents ways to determine the mean time of restoration of the object of ship equipment in the operating organization, as well as features of the development of a mathematical model of the process of maintenance and repair of ship complex objects, which allows obtaining final analytical expressions for calculating the corresponding indicators of the efficiency of the process.

Promising areas for further research in this area may be a wide range of issues related to the development of scientific and methodical apparatus for technical forecasting, taking into account the specifics of the use of marine equipment in various conditions of use.

Key words: *efficiency of operation, ship complexes, modeling*

Даки Е.А., Бойко С.О.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

С учетом недостатков существующих моделей функционирования объектов эксплуатации разработаны требования к математической модели процесса технической обслуживания и ремонта объектов судового оборудования судов. На основании разработанных требований обоснованные класс модели и метод моделирования.

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, позволяет получить конечные аналитические выражения для расчетов соответствующих показателей эффективности процесса.

Перспективными направлениями дальнейших исследований в указанной сфере может быть широкий круг вопросов по разработке научно-методического аппарата технического прогнозирования с учетом специфики применения судового оборудования в различных условиях использования.

Ключевые слова: *эффективность эксплуатации, судовые комплексы, моделирование.*