

Сьомін О.А., Генералова І.Г., Коломієць О.М., Бажак О.В.

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБІВ РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

У статті проаналізовано математичного апарату прогнозування технічного стану обладнання засобів річкового та морського транспорту для підвищення експлуатаційних характеристик.

Запропоновано загальну модель процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту, яка базується на ідеї прогнозуючого контролю індивідуальної надійності зразка суднового обладнання.

Ця ідея дозволяє реалізувати зазначену модель в умовах експлуатації судна при мінімумі діагностичних даних визначаючи параметри випадкового процесу у точках контролю та забезпечуючи мінімум середнього квадрата похибки наближення у проміжках між цими точками.

Формалізацію процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту пропонується скласти з послідовного вирішення наступних завдань: аналіз впливу надійності елементів на надійність зразка обладнання; визначення якнайкращої стратегії обслуговування елементів зразка обладнання на основі прогнозування поведінки їх параметрів; визначення оптимальних індивідуальних регламентів проведення операцій обслуговування; визначення складу операцій і кількості комплексних видів обслуговування (ремонт); визначення оптимальних регламентів проведення комплексних видів обслуговування і оцінка ефективності процесу експлуатації.

Ключові слова: *формалізація, процес, експлуатація, суднове обладнання, річковий та морський транспорт.*

Постановка проблеми. Проведений аналіз експлуатації засобів річкового та морського транспорту свідчить про наявність протиріччя, яке полягає, з одного боку, у необхідності підвищення технічної готовності суднового 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 діагностувань. Разом з тим такий підхід суттєво підвищує вартість експлуатації обладнання та зменшує загальну рентабельність флоту.

З іншого боку, намагання максимального здешевлення морських та річкових транспортних перевезень, призводить до зменшення кількості контрольних заходів, спрощення їх процедури (регламентів) 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 є актуальним.

Вирішення зазначеного протиріччя у практичній площині полягає у переході до експлуатації суднового обладнання за технічним станом. Разом з тим зазначений підхід вимагає застосування ефективних методів прогнозування технічного стану обладнання та розроблення відповідних методів діагностування такого обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання технічної експлуатації, обслуговування і ремонту суден висвітлюється у роботах В.В. Баліхіна, Б.В.Васильєва, Ю.Г. Дейнего, В.І. Ніколаєва, І.О. Рябініна, Ю.А. Светлікова, Д.І. Севастєєва, С.Р. Смирнова, О.М. Тимошук та ін.

Фізичні відмови вузлів суднових механізмів і методи їх прогнозування вивчені А.М. Нікітіним, В.М. Перовим, Б.А. Ватіпко, В.С. Гавриловим, Г.А. Давидовим, Р.В. Кузьмінім і ін.

Питанням розвитку методів і засобів технічної діагностики суднової техніки присвячені праці Б.В.Васильєва, В.В. Вичужаніна, І.В. Возніцького, М.М. Портнягіна, Г.А. Пюкке, В.П. Калявіна, А.С. Кобелевої, А.В. Козлова, Р.А. Коллакота, М.І. Льовіна та ін.

В області розробки теорії прогнозування у світі відомі роботи вчених: І.П. Атаманюка, В.М. Глушкова, М.З. Згуровського, О.Г. Івахненка, В.Д. Кудрицького, Р.К. Мурасова, В.С. Пугачова, В.С. Симанкова та ін.

Область технічного прогнозування суднового устаткування досліджена у роботах В.П. Калявіна, А.С. Кобелевої, А.В. Козлова, В.І. Богомья та ін.

Питання технічного обслуговування і ремонту суден за станом, управління якістю продукції і управління технічним станом суднового обладнання вивчені у роботах Е.Н. Клімова, Е.К. Блінова, Н.М. Мікоші, Ю.М. Мяснікова та ін.

Незважаючи на значну кількість публікацій щодо вирішення різноманітних питань експлуатації та ремонту суднового обладнання, питання створення єдиної комплексної теорії експлуатації суднового обладнання ще не вирішене. Не вирішеними залишаються і часткові питання щодо визначення оптимальних міжперевірочних інтервалів, доцільного переліку робіт з діагностування зразків суднового обладнання, необхідної підготовки та кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Метою статті є проведення аналізу існуючого математичного апарату прогнозування технічного стану обладнання засобів річкового та морського транспорту для підвищення експлуатаційних характеристик.

Викладення основного матеріалу дослідження. Математичний апарат прогнозування містить в собі сотні різноманітних методів, які, в той же час, базуються на достатньо обмеженому числі підходів та моделей [1 – 3].

В основному це методи екстраполяції (лінійної та нелінійної), емпіричні та евристичні методи, а також методи на основі штучного інтелекту. Найбільш вживаними методами, зважаючи на їх переважне використання у програмних засобах фірм, призначених для оброблення даних є прогнозування за останнім значенням та математичним очікуванням, ковзне середнє, експонентне згладжування та метод групового обліку аргументів. Проаналізуємо зазначені методи з точки зору можливості прогнозування технічного стану суднового обладнання в умовах використання суден на трансокеанських рейсах.

Прогнозування за останнім значенням [1, 2]. Прогнозування за останнім відліком, назване “ступеневою екстраполяцією” або “екстраполяцією нульового порядку” та полягає в тому, що за передбачуване значення $\hat{X}(t_0 + \theta)$ береться значення $X(t_0)$:

$$\hat{X}(t_0 + \theta) = X(t_0). \quad (1)$$

Прогнозоване значення в цьому випадку не залежить від часового інтервалу передбачення θ , передісторія подана лише однією точкою – останнім значенням $X(t_0)$, імовірнісні характеристики зовсім не враховуються.

Алгоритм прогнозування, як впливає з виразу (1), полягає у множенні значення $X(t_0)$ – останнього відліку на одиницю, тобто не потребує виконання жодних обчислювальних операцій.

Таким чином, прогнозування можна виконувати, нічого не знаючи про процес, окрім його останнього значення, й не роблячи ніяких обчислень. Зрозуміло, що така простота методу компенсується зниженням точності прогнозування. Похибка прогнозування $e(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - \hat{X}(t_0 + \theta)$ у даному випадку має вигляд $e(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - X(t_0)$, а її середній квадрат, при $m_x = 0$,

$$\bar{e}^2(\theta) = M \left\{ \dot{X}(t_0 + \theta) - \dot{X}(t_0) \right\}^2 = \sigma_x^2 - 2R_x(\theta) + \sigma_x^2 = 2[\sigma_x^2 - R(\theta)].$$

Середній квадрат похибки передбачення зростає від 0 при $\theta = 0$, коли $R(0) = \sigma_x^2$, до $2\sigma_x^2$ при $\theta = \infty$, коли $R(\infty) = 0$. Якість прогнозування за цим алгоритмом можна оцінити лише після порівняння його похибки з похибками інших алгоритмів. Простота цього способу забезпечила йому найбільше застосування. Разом з тим, для прогнозування параметрів стану елементів суднового обладнання, які постійно змінюються у процесі експлуатації, такий метод є незастосовним.

Прогнозування за математичним очікуванням [2,10] полягає у використанні математичного очікування процесу m_x як майбутнього прогнозованого значення $\hat{X}(t_0 + \theta)$: $\hat{X}(t_0 + \theta) = m_x$.

Як і у попередньому випадку, передбачене значення тут не залежить від терміну прогнозу θ . Але відмінність полягає в тому, що хоча не вимагається ніякої інформації щодо передісторії, потрібні певні дані щодо властивостей процесу – а саме, його математичного очікування. Алгоритм прогнозування не вимагає складних обчислювальних операцій.

Похибка прогнозу для цього випадку має вигляд $e(\theta) = X(t_0 + \theta) - m_x$ і являє собою відхилення процесу від середнього в момент $t_0 + \theta$. Середній квадрат похибки не залежить від часу прогнозу й дорівнює дисперсії процесу $\bar{e}^2 = M \{ [X(t_0 + \theta) - m_x]^2 \} = \sigma_x^2$.

При малих значеннях часу прогнозу θ спосіб “останнього значення” кращий. Однак, після θ^2 коли $\bar{e}^2(\theta) = \sigma_x^2$, спосіб “математичного очікування” дає більшу точність. Нарешті, при $\theta \rightarrow \infty$ квадрат похибки прогнозу за середнім вдвічі менший, ніж за останнім відліком.

Ковзне середнє. Цей метод використовується для розрахунку значень у прогнозованому періоді на основі середнього значення змінної для зазначеного числа попередніх періодів. Кожне прогнозоване значення засноване на формулі:

$$\tilde{x}_{t+1} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{t-j+1}, \quad (2)$$

де N – число попередніх періодів, що входять у ковзне середнє;

x_j – фактичне значення в момент часу j ;

$\tilde{x}_j$ – прогнозоване значення в момент часу j .

Ковзне середнє (2), на відміну від простого середнього для усієї вибірки, містить дані

про тенденції зміни даних. Процедура може використовуватися для прогнозу різних процесів.

Експонентне згладжування. Призначається для отримання значення на основі прогнозу для попереднього періоду, скорегованого з урахуванням погрешностей у цьому прогнозі. Використовує константу згладжування α , величина якої визначає, наскільки сильно впливають на прогнози похибки у попередньому прогнозі

$$\tilde{x}_{t+1} = \tilde{x}_t + \alpha(x_t - \tilde{x}_t). \quad (3)$$

Для константи згладжування у (3) найбільш придатними є значення від 0,2 до 0,3. Ці значення показують, що похибка поточного прогнозу встановлена на рівні 20 – 30 % похибки попереднього прогнозу. Більш високі значення константи прискорюють відгук, але можуть привести до непередбачених викидів. Низькі значення константи можуть привести до зрушення аргументу для прогнозованих значень.

МГУА – метод групового урахування аргументів. У методі групового урахування аргументів (МГУА) [4, 5] всі питання оптимізації вирішуються за допомогою перебору варіантів тільки на матеріалі заданих навчальних і перевірконої послідовностей даних. Ніякої інформації щодо законів розподілу інформації не використовується. Для граничних самовідборів кращих варіантів послідовно використовуються евристичні критерії: за коефіцієнтом кореляції, за критерієм розмаїтості аргументів, за критерієм обумовленості матриць і, основне, – за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки (мінімуму СКП). Мінімум СКП використовується послідовно декілька разів для вибору змінних, що оптимізуються. Всі інші змінні є допоміжними і мають своєю метою лише скорочення обсягу обчислень. Критерій мінімуму СКП використовується у МГУА в чотирьох місцях:

для обчислення значень коефіцієнтів так званих “часткових” описів;

для вибору кращих комбінацій пари аргументів, що утворюють ці описи;

для визначення величини порогів для зазначених вище евристичних граничних самовідборів;

для визначення ступеня “повного” опису і вибору утворюючих його функцій.

При звичайному регресійному аналізі знаходять значення коефіцієнтів *повного* рівняння, що забезпечують мінімум СКП. МГУА забезпечує такий вибір коефіцієнтів *часткових* рівнянь, при якому досягається мінімум СКП в просторі цих коефіцієнтів. При цьому коефіцієнти повного рівняння визначаються за допомогою виключення проміжних змінних з “часткових” рівнянь.

Основні правила конструювання алгоритмів МГУА полягають у наступному. Повний опис об'єкта $\varphi = f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ варто замінити декількома “частковими” описами)

$$y_1 = f_1(x_1, x_2), y_2 = f_1(x_1, x_3), \dots, y_m = f_1(x_{n-1}, x_n), \quad (4)$$

де $m = C_n^2$;

$$z_1 = f_1(y_1, y_2), z_2 = f_1(y_1, y_3), \dots, z_p = f_1(y_{m-1}, y_m), \quad (5)$$

де $p = C_m^2$.

Алгоритми МГУА (4) – (5) конструюються так, що задовольняють двом наступним умовам:

1. Функція f_1 – та сама в усіх рівняннях (4),(5). Виключаючи проміжні змінні, можна одержати аналог повного опису.

2. Аналог за виглядом повинен відповідати повному опису.

Розробники методу, зокрема О.Г. Івахненко, відзначають наступні основні переваги МГУА:

як правило умови задачі такі, що не мають у своєму розпорядженні достатнє число даних для визначення коефіцієнтів нормальних рівнянь Гауса, якщо використовують повний поліном безпосередньо, без часткових поліномів;

матриці рівнянь, побудованих на повному поліномі, завжди погано обумовлені, серед розмаїтості малих матриць часткових рівнянь завжди можна вибрати добре обумовлені матриці й застосувати інші прийоми регуляризації;

якщо навчальна послідовність обмежена або навіть дуже коротка, то деякі аргументи й проміжні змінні є шкідливими. Це означає, що точність зростає, якщо них позбутися;

цю важливу роботу виконують граничні самовідбори змінних після кожного ряду селекції.

Основна перевага МГУА – число оцінюваних параметрів різко зменшується, а це зменшує довірчі інтервали одержуваних оцінок, тобто приводить до підвищення точності оцінювання. Зрозуміло, що алгоритм прогнозу, в якому враховується як значення передісторії процесу, так і його ймовірнісні характеристики, буде точнішим, ніж інші.

Дещо відокремленим підходом щодо прогнозування в т.ч. параметрів суднового обладнання є *логіко-ймовірнісне числення* – спеціальний розділ дискретної математики, у якому встановлені чіткі правила заміщення логічних аргументів x_i у функціях алгебри логіки $y(x_1, \dots, x_n)$ ймовірностями їх істинності $P(x_i) = [0,1]$ і логічні операції: кон'юнкції ($\wedge$), диз'юнкції ($\vee$), заперечення ($\neg$) арифметичними операціями: множення ($\times$), додавання (+), віднімання ($-$) [6 – 8, 10].

Аксіоматику логіко-ймовірнісного числення у технічній надійності і безпеці було сформульовано І.О. Рябініним на основі базових аксіоматик логіки, подій, ймовірностей та множин. У його аксіоматиці елементи мають два рівні значень (0 і 1), елементи пов'язані логічними зв'язками І, АБО і НЕ, можуть використовуватися цикли і повторювані елементи. Логіко-ймовірнісну модель (ЛП-модель) ризику будують за реальною схемою функціонування системи у вигляді найкоротших шляхів успішного функціонування або мінімальних перетинів відмов, обчислюють вагомості та значущості ініціюючих подій, логічну функцію призводять до ортогональної форми і замінюють на ймовірнісну функцію.

Логіко-ймовірнісне числення розглядає системи і процеси як структурно-складні об'єкти з випадковими подіями і логічними змінними, визначає правила переходу від бази статистичних даних до табличних баз знань, формує базу знань у вигляді систем логічних та ймовірнісних рівнянь для станів системи. Серед п'яти класів логіко-ймовірнісного числення окремо виділяється клас логіко-ймовірнісного прогнозування який включає процедури прогнозування в просторах часу і станів.

Логіко-ймовірнісне числення є достатньо ефективним при описі складних багатоеlementних об'єктів, може розглядати події, які мають не два, а кінцеву множину значень. Разом з тим потребує наявності статистичних даних про появу вдалих та невдалих подій (станів) елементів системи, що не завжди можливо при експлуатації нових зразків обладнання, стосовно роботи яких ще немає достатньої статистики.

Підводячи **підсумок аналізу** розглянутого математичного апарату прогнозування можна зробити висновок про те, що більшість з методів не враховують залежність прогнозованої величини від інших вже відомих факторів. Тобто вони взагалі не використовують ніяких допоміжних даних окрім послідовності значень прогнозованого ряду.

Алгоритм МГУА відноситься до класу статичних моделей, він не здатен враховувати інерційність об'єкта, але добре відпрацьовує нелінійності та багатовимірність. Іншим недоліком зазначеного алгоритму є те, що він не може бути застосований поза межами статистичних даних, тобто, для його реалізації у будь-якому разі необхідна певна кількість попередньої інформації про поведінку системи [8,9].

Логіко-ймовірнісні моделі, попри їх можливість щодо опису складних об'єктів, разом з тим є вкрай чутливими до точності статистичних даних. Іншим їх недоліком є необхідність здійснення значної кількості трудомістких логічних перетворень при аналізі складних сценаріїв поведінки системи (перехід від функції небезпечного стану до ймовірнісної функції).

Тому, враховуючи характер потенційного застосування методу (прогнозування зміни технічних характеристик суднового обладнання), як процесу зі значною післядією на області,

яка може бути не охопленою статистикою, використання зазначених методів вбачається проблематичним. Відтак для прогнозування зміни технічного стану необхідним є використання інших методів, які б охоплювали як історію розвитку процесу, так і дозволяли б здійснювати прогноз на майбутнє з урахуванням цієї історії та індивідуальної поведінки об'єкта [9].

Постановка завдання дослідження. Аналіз методів прогнозування технічного стану визначає необхідність подальшого їх розвитку на базі математичних моделей динамічних об'єктів, яким є процес експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту. Це підтверджує доцільність й актуальність створення (удосконалення) прогностичних моделей та їх використання для прогнозування. При цьому потребують урахування такі властивості технічних об'єктів, як інерційність, нестационарність та багатовимірність вхідних збурень при значній післядії процесів.

Виходячи з цього, відповідно до поставленої мети щодо підвищення ефективності експлуатації суднового обладнання в умовах експлуатації на трансокеанських рейсах виникає актуальне науково-прикладне завдання щодо *розроблення процедури визначення доцільних термінів технічного діагностування суднового обладнання при трансокеанських вантажних перевезеннях на основі прогнозування.*

Завдання розроблення моделі процесу експлуатації суднового обладнання може бути сформульоване наступним чином.

Нехай дано зразок суднового обладнання, що складається з M елементів. Він може функціонувати у різних режимах, кожен з яких зберігається протягом випадкового інтервалу часу з відомою функцією розподілу $B_j(t), j = 1, \dots, N$. Після закінчення чергового інтервалу часу система миттєво переходить в наступний режим відповідно до матриці ймовірностей переходів $[P_{ij}]$. Для всіх елементів суднового обладнання відомі функції розподілу безвідмовної роботи у кожному з режимів функціонування системи $F_{ij}(t), i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N$ та параметр контролю елемента $\eta_i(r_i), i = 1 \dots M$.

Також, на основі знання конструктивних особливостей зразка суднового обладнання, відомі:

- статистичні дані та умови виникнення усіх типів відмов зразка обладнання,
- список елементів, що допускають відновлення всіх типів відмов зразка обладнання,
- список елементів, що допускають відновлення працездатності без зупинки зразка обладнання.

Заданими також вважаються параметри ремонтного органу і витрати на операції відновлення і контролю елементів.

Необхідно знайти:

значення терміну служби T ;

стратегії обслуговування елементів $\{I^{\kappa, np.}, I^{\kappa, n.}, I^{nap.}\}_i, i = 1, \dots, M$, де $I^{\kappa, np.}$ – кількість операцій з контролю працездатності, $I^{\kappa, n.}$ – кількість операцій з контролю параметрів, $I^{nap.}$ – кількість операцій з контролю напруцювання;

кількість видів обслуговування K і склад обов'язкових робіт кожного виду $\{W_k, I_k^{\kappa, np.}, I_k^{\kappa, n.}\}, k = 1, \dots, K$, де W_k – перелік операцій технічного обслуговування;

регламент виконання видів обслуговування $\{\zeta_{kl}^c\}_{kl}$ при напруцюванні ζ_{kl}^c , де k – вид обслуговування, який виконується l -й раз;

алгоритми діагностування з похибками 1-го та 2-го роду для i -го елемента $\{P_{1i}, P_{2i}\}$;

оптимальні упереджувальні допуски параметрів $\{\bar{\eta}\}_{\eta \in I^{\kappa, n.}}$.

При цьому необхідно мінімізувати функціонал середніх питомих витрат

$$Z(T, \{I^{\kappa, np.}, I^{\kappa, n.}, I^{nap.}\}, \{W_k, I_k^{\kappa, np.}, I_k^{\kappa, n.}\}, \{\zeta_{kl}^c\}_{kl}, \{P_{1i}, P_{2i}\}, \{\bar{\eta}\}_{\eta \in I^{\kappa, n.}}) \Rightarrow \min, \quad (6)$$

при обмеженні на надійність зразка обладнання $P(\zeta^c \geq t) > P_0$.

Для багатoeлементних систем загальна стратегія експлуатації полягає в тому, що рішення на проведення технічного обслуговування (ремонт) приймається на основі знання контрольованого параметра технічного стану $\eta_i(r_i), i = 1 \dots M$ найбільш “слабкого” елемента, у якого цей параметр першим досягає критичного значення з множини $\{\bar{\eta}\}_{\eta \in I^{k,n}}$. [10].

Висновки. У такій загальній постановці (6), дана задача не має математичних методів вирішення. Необхідно провести її декомпозицію на більш прості та вирішувані завдання, а на їх основі побудувати багатоетапну процедуру формування субоптимального процесу експлуатації.

Проектування процесу експлуатації складається з послідовного вирішення наступних завдань:

- аналіз впливу надійності елементів на надійність зразка обладнання;
- визначення якнайкращої стратегії обслуговування (ремонт) елементів зразка обладнання на основі прогнозування поведінки їх параметрів $\eta_i(r_i), i = 1, \dots, M$;
- визначення оптимальних індивідуальних регламентів проведення операцій обслуговування (ремонт);
- визначення складу операцій і кількості комплексних видів обслуговування (ремонт);
- визначення оптимальних регламентів проведення комплексних видів обслуговування і оцінка ефективності процесу експлуатації $\{\zeta_{kl}^c\}_{kl}$.

Таким чином, для проведення подальших досліджень необхідно вирішити часткові завдання:

1. Розробити модель процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту. Запропонувати загальну модель процесу експлуатації суднового обладнання, яка базується на ідеї прогнозуючого контролю індивідуальної надійності зразка суднового обладнання на основі канонічного розкладання випадкового процесу з урахуванням похибок апіорних вимірювань, що дозволяє реалізувати зазначену модель в умовах експлуатації судна при мінімумі діагностичних даних визначаючи параметри випадкового процесу у точках контролю та забезпечуючи мінімум середнього квадрата похибки наближення у проміжках між цими точками;
2. Розробити процедуру визначення періодичності діагностування суднового обладнання на основі прогнозування технічного стану.
3. Дослідити ефективність процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту на основі прогнозування його технічного стану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Застосування інформаційних технологій в роботі органів управління. – Частина 2. // – К.: Вид. НАОУ, 2006. – 368 с.
2. Граничин О.Н. Рандомизированные алгоритмы оценивания и оптимизации при почти произвольных помехах / О.Н. Граничин, Б.Т. Поляк // – М.: Наука. 2003. – 293 с.
3. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко // – К.: Техніка, 1975. – 312 с.
4. Ивахненко А.Г. Эвристическая самоорганизация в технической кибернетике / А.Г. Ивахненко // – Киев: Техника, 1975. – 186 с.
5. Грабовецкий Б.Є. Економічне прогнозування і планування / Б.Є. Грабовецкий // – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 188 с.
6. Ковальчук П.І. Моделювання й прогнозування стану навколишнього середовища / П.І. Ковальчук // – К.: Либідь, 2003. – 208 с.
7. Рябинин И.А. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электро-энергетических систем / И.А. Рябинин, Ю.М. Парфенов // – СПб.: ВМА, 1997. – 430 с.

8. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – 2-е изд. / И.А. Рябинин // – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007. – 276 с.
9. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем / В.М. Гуменюк // – Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010. – 218 с.
10. Богом'я В.І., Горбань А.В., Павленко М.А., Тимочко О.І., Тимошук О.М.. За заг. ред. О. М. Тимошук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання: підручник. Київ, 2018. 305 с.

REFERENCES

1. Zastosuvannya informatsiynykh tekhnolohiy v roboti orhaniv upravlinnya. – Chastyna 2. // – K.: Vyd. NAOU, 2006. – 368 s.
2. Hranychyn O.N. Randomyzyrovannye alhorytmy otsenyvannya y optymyzatsyy pry pochy proyzvol'nykh pomekhakh / O.N. Hranychyn, B.T. Polyak // – M.: Nauka. 2003. – 293 s.
3. Yvakhnenko A.H. Dolhosrochnoe prohnozyrovanye y upravlenye slozhnymy systemamy / A.H. Yvakhnenko // – K.: Tekhnika, 1975. – 312 s.
4. Yvakhnenko A.H. Évrystycheskaya samoorhanyzatsyya v tekhnicheskoy kybernetyke / A.H. Yvakhnenko // – Kyev: Tekhnyka, 1975. – 186 s.
5. Hrabovets'kyu B.YE. Ekonomichne prohnozuvannya i planuvannya / B.YE. Hrabovets'kyu // – K.: Tsentр navchal'noyi literatury, 2003. – 188 s.
6. Koval'chuk P.I. Modelyuvannya y prohnozuvannya stanu navkolysn'oho seredovyscha / P.I. Koval'chuk // – K.: Lybid', 2003. – 208 s.
7. Ryabynyn Y.A. Nadezhnost', zhyvuchest' y bezopasnost' korabel'nykh élektro-énerhetycheskykh system / Y.A. Ryabynyn, YU.M. Parfenov // – SPb.: VMA, 1997. – 430 s.
8. Ryabynyn Y.A. Nadezhnost' y bezopasnost' strukturno-slozhnykh system. – 2-e yzd. / Y.A. Ryabynyn // – SPb.: Yzdatel'stvo Sankt-Peterburhskoho unyversyteta, 2007. – 276 s.
9. Humenyuk V.M. Nadezhnost' y dyahnostyka élektrotekhnicheskyykh system / V.M. Humenyuk // – Vladyvostok: Yzd-vo Dal'nevost. hos. tekhn. un-ta, 2010. – 218 s.
10. Boho'mya V.I., Horban' A.V., Pavlenko M.A., Tymochko O.I., Tymoshchuk O.M.. Za zah. red. O. M. Tymoshchuk. Osoblyvosti systemnoho pidkhodu do vyrishennya naukovykh zavdan' ekspluatatsiyi sudnovoho obladdnannya: pidruchnyk. Kyuyiv, 2018. 305 s.

Сьомін О.А., Генералова І.Г., Коломієць О.М., Бажак О.В.

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СРЕДСТВ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

В статье проанализирован математический аппарат прогнозирования технического состояния оборудования средств речного и морского транспорта для повышение их эксплуатационных характеристик.

Предложена общая модель процесса эксплуатации судового оборудования речного и морского транспорта, основанная на идее прогнозирующего контроля индивидуальной надежности образцов судового оборудования.

Эта идея позволяет реализовать указанную модель в условиях эксплуатации судна при минимуме диагностических данных, определяя параметры случайного процесса в точках контроля и обеспечивая минимум среднеквадратичной ошибки приближения в промежутках между этими точками.

Формализацию процесса эксплуатации судового оборудования речного и морского транспорта предлагается составить из последовательного решения следующих задач: анализу влияния надежности элементов на надежность образцов оборудования; определения наилучшей стратегии обслуживания элементов образцов оборудования на основе прогнозирования поведения их параметров; определение оптимальных индивидуальных регламентов проведения операций обслуживания; определение состава

операций и количества комплексных видов обслуживания (ремонта); определение оптимальных регламентов проведения комплексных видов обслуживания и оценка эффективность процесса эксплуатации.

Somin O.A., Generalova I.G., Kolomiets O.M., Bazhak O.V.

ANALYSIS OF THE MATHEMATICAL APPARATUS FOR FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF THE EQUIPMENT OF THE RIVER AND SEA TRANSPORT

The article analyzes the mathematical apparatus for predicting the technical state of equipment for river and sea transport to improve their performance.

A general model of the process of operation of ship equipment for river and sea transport is proposed, based on the idea of predictive control of the individual reliability of ship equipment samples.

This idea makes it possible to implement the specified model in the operating conditions of the vessel with a minimum of diagnostic data, determining the parameters of a random process at the control points and providing a minimum of the mean square approximation error in the intervals between these points.

It is proposed to formulate the process of operation of ship equipment for river and sea transport from the sequential solution of the following tasks: analysis of the influence of the reliability of elements on the reliability of equipment samples; determining the best strategy for servicing elements of equipment samples based on predicting the behavior of their parameters; determination of the optimal individual regulations for conducting maintenance operations; determination of the scope of operations and the number of complex types of maintenance (repair); determination of optimal regulations for carrying out complex types of services and assessment of the efficiency of the operation process.