

DOI: 10.18372/2310-5461.41.13537

УДК 629.542

А. А. Дмитрієв

Дунайський факультет морського та річкового транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
orcid.org/ 0000-0002-0674-8381
e-mail: dmitrievAA@ukr.net;

Ю. Г. Якусевич

Дунайський факультет морського та річкового транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
orcid.org/ 0000-0002-5933-5417
e-mail: yaKasevich@gmail.com;

В. І. Чебан

Дунайський факультет морського та річкового транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
orcid.org/ 0000-0001-9662-8617
e-mail: chebanVI@gmail.com

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ АПАРАТ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Вступ

Серед важливих завдань в напрямку удосконалення експлуатації за технічним станом є вдосконалення систем діагностичного забезпечення суден.

Перспективна система діагностичного забезпечення суден повинна скористатися наявними можливостями традиційно вимірюваних параметрів робочого процесу, а також фізичні методи і засоби діагностики з прогнозуванням параметрів технічного стану зразків обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теорія прогнозування налічує сотні різних методів, які, в той же час, базуються на досить обмеженій кількості підходів і моделей [1–8]. Переважно — це методи екстраполяції (лінійної та не лінійної), емпіричні і евристичні методи, а також методи на основі штучного інтелекту.

Найбільш вживаними методами, враховуючи їх використання в програмному забезпеченні фірм, призначених для обробки даних є прогнозування за останніми значеннями і математичним очікуванням, ковзне середнє, експонентні згладжування і метод групового обліку аргументів.

Постановка завдання дослідження

Проаналізуємо зазначені методи з погляду можливості прогнозування технічного стану суднового устаткування в умовах використання суден на трансокеанських рейсах.

Мета даної статті — аналіз науково-методичного апарату прогнозування параметрів суднового обладнання та вибір найбільш оптимального методу прогнозування.

1. Аналіз методів прогнозування. Прогнозування за останніми значеннями

Прогнозування за останніми звітним, назване «ступінчастою екстраполяцією» або ж «екстраполяцією нульового порядку», полягає в тому, що як передбачуване значення $\hat{X}(t_0)$ береться значення $X(t_0)$

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

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

Алгоритм прогнозування, як випливає з (1), полягає в множенні значення $X(t_0)$ — останнього відліку на одиницю, тобто не вимагає виконання ніяких обчислювальних операцій.

Таким чином, прогнозування можна виконувати, не знаючи про процес, крім його останнього значення, і не роблячи ніяких обчислень. Зрозуміло, що така простота методу компенсується зниженням точності прогнозування. Похибка прогнозування

$$e(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - \hat{X}(t_0 + \theta)$$

уданому випадку має вигляд

$$e(t_0 + \theta) = X(t_0 + \theta) - X(t_0),$$

а її середній квадрат, при $m_x = 0$,

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

Середній квадрат похибки прогнозу зростає від 0 при $\theta = 0$, в разі, 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 тільки після порівняння його похибки з похибками інших алгоритмів. Простота цього способу забезпечила йому найбільше застосування [3–7].

Прогнозування за математичними очікуванням

Прогнозування за математичними очікуванням полягає в застосуванні математичного очікування процесу m_x як майбутнього прогнозованого значення

$$\hat{X}(t_0 + \theta) : \hat{X}(t_0 + \theta) = m_x.$$

Як і в попередньому випадку, передбачене значення тут не залежить від терміну прогнозу θ . Але відмінність полягає в тому, що хоч і не потрібно ніякої інформації щодо передісторії, потрібні деякі дані про особливості процесу — а саме, його математичного очікування. Алгоритм прогнозування не вимагає ніяких обчислювальних операцій.

Похибка прогнозу для цього випадку має вигляд

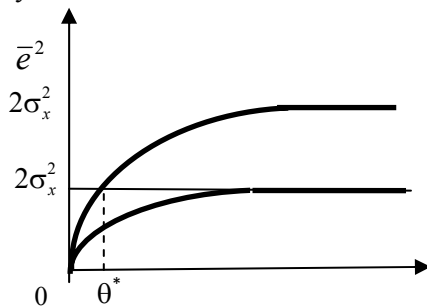
$$\bar{e}(\theta) = X(t_0 + \theta) - m_x,$$

і являє собою відхилення процесу від середнього в момент $t_0 + \theta$.

Середній квадрат похибки не залежить від часу прогнозу і дорівнює дисперсії процесу

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

На рисунку суміщені залежності \bar{e}^2 прогнозу за останнім значенням і прогнозу за математичним очікуванням.



Порівняльна оцінка похибок методами «останнього значення» і «математичного очікування»

За малих значеннях часу прогнозу θ спосіб «останнього значення» краще.

Однак, після θ^* коли $\bar{e}^2 = \sigma_x^2$, спосіб «математичне очікування» дає більшу точність.

Нарешті, при $\theta \rightarrow \infty$ квадрат похибки прогнозу у середньому удвічі менше, ніж за останнім звітом [5].

Ковзне середнє. Цей метод застосовується для розрахунку значень у прогнозованому періоді на основі середнього значення змінної для вказаної кількості попередніх періодів. Ковзне середнє, на відміну від простого середнього для всієї вибірки, містить дані про тенденції зміни даних.

Процедура може бути використана для прогнозу збуту, інвентаризації та інших процесів.

Експонентні згладжування

Призначаються для отримання значення на основі прогнозу для попереднього періоду, скоригованого з урахуванням похибки в цьому прогнозі. Використовуються константи згладжування α , за величиною якої визначається, наскільки сильно впливають на прогнози похибки в попередньому прогнозі

$$\tilde{x}_{t+1} = \tilde{x}_t + \alpha(x_t - \tilde{x}_t). \quad (2)$$

Для константи згладжування у виразі (2) найбільш придатним 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 і привести до несподіваних викидів. Низькі значення константи можуть привести до зсуву аргументу для прогнозованих значень.

МГУА – метод групового обліку аргументів

У методі групового урахування аргументів (МГУА) [6; 8] усі питання оптимізації вирішуються за допомогою перебору варіантів тільки на матеріалі заданих послідовностей даних. Для вибору кращих варіантів використовуються евристичні критерії: за коефіцієнтами кореляції, за критерієм різноманітності аргументів, за критерієм зумовленістю матриць і, основне, — за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки (мінімуму СКП).

Мінімум СКП застосовується послідовно кілька разів для вибору змінних, які необхідно оптимізувати. Всі інші змінні є допоміжними, і їх метою є лише скорочення обсягу обчислень. Критерій мінімуму СКП застосовується в МГУА в чотирьох місцях:

- для обчислення значень відповідних коефіцієнтів;
- для вибору кращих комбінацій пари аргументів;
- для визначення величини порогів для евристичних граничних саме відборів;

- для визначення ступеня «повного» опису та вибору утворюють його функцій.

При стандартному регресивному аналізі знаходять значення коефіцієнтів повного рівняння, які забезпечують мінімум СКП. Метод групового урахування аргументів забезпечує такий відбір коефіцієнтів диференціального рівняння, за якого досягається мінімум СКП в просторі цих коефіцієнтів.

Основні правила конструювання алгоритмів МГУА полягають в такому. Повний опис об'єкта $\varphi = f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ варто замінити декількома виразами:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2), y_2 = f_1(x_1, x_3), \dots, y_m = f_1(x_{n-1}, x_n), \quad (3)$$

де $m = C_n^2$;

$$z_1 = f_1(y_1, y_2), z_2 = f_1(y_1, y_3), \dots, z_p = f_1(y_{m-1}, y_m), \quad (4)$$

де $p = C_m^2$.

Алгоритми МГУА (3), (4) конструюються таким чином, що задовольняють двом умовам:

1. Функція f_1 — та сама у всіх рівняннях [6; 7]. Виключаючи проміжні змінні, можна отримати аналог повного опису.

2. Аналог по вигляду повинен відповідати інформативності про продукт.

Розробники методу визначають такі основні переваги МГУА:

- як правило, умови завдання такі, що не мають в своєму розпорядженні достатню кількість даних для визначення коефіцієнтів нормальних рівнянь Гауса, в разі якщо використовують повний поліном безпосередньо, без часткових поліномів;

- якщо навчальна послідовність обмежена, то деякі аргументи і проміжні змінні є зайвими, що означає те, що точність зростає, якщо від них позбутися;

- цю важливу роботу виконують граничні саме відбори змінних після кожного ряду селекції.

Основна перевага МГУА — кількість оцінюваних параметрів різко зменшується, що зменшує довірчі інтервали одержуваних оцінок, тобто призводить до підвищення точності оцінювання. Ясно, що алгоритм прогнозу, у якому враховуються як значення передісторії процесу, так і його імовірнісні характеристики, буде точніше, ніж інші.

Разом з тим, алгоритм МГУА відноситься до класу статичних моделей, він не здатний врахувати інерційність об'єкта, але досить відпрацьовує нелінійності і багатовимірність. Іншим недоліком алгоритму є те, що він не може бути використаний поза статистичних даних, тобто, для його реалізації у будь-якому випадку необхідно деяку кількість попередньої інформації про поведінку системи.

Інші, раніше розглянуті алгоритми, не враховують залежність прогнозованої величини від вже відомих факторів. Тобто вони взагалі не використовують ніяких допоміжних даних крім послідовності значень прогнозованого ряду.

З огляду на характер застосування методу (прогнозування змін технічних характеристик суднового устаткування), як процесу зі значним післядією на область, яка може бути не охоплена статистикою, використання методів вбачається проблематичним. Отже, для прогнозування змін технічного стану необхідним буде використання інших методів, які охоплювали б як історію розвитку процесу, так і дозволяли б здійснювати прогноз на майбутнє з урахуванням цієї історії і індивідуальної поведінки об'єкта.

Аналіз, проведений в працях [1–8] свідчить про наявність протиріч, яке складається, з одного боку, в необхідності підвищення технічної готовності суднового устаткування до використання за призначенням і безвідмовності його функціонування. Для цього необхідним є здійснення постійного контролю над його функціонуванням і виконання цілого комплексу періодичних перевірок і діагностик. Разом з тим такий підхід суттєво підвищує вартість експлуатації обладнання і зменшує загальну рентабельність флоту. З іншого боку, спроби максимального здешевлення морських транспортних перевезень, призводить до зменшення кількості контрольних заходів, спрощення їх процедури (регламентів) з перекладанням максимального числа функцій діагностики на технічні засоби. В такому аспекті, розробка нових методів технічної експлуатації обладнання, на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності і обсягу діагностування є актуальним.

Рішення даного протиріччя в практичній площині полягає в переході до діагностування суднового устаткування з урахуванням його технічного стану. Такий підхід вимагає застосування ефективних методів прогнозування технічного стану обладнання.

Аналіз методів прогнозування технічного стану визначає необхідність подальшого їх розвитку на базі математичних моделей динамічних об'єктів, яким є процес експлуатації суднового устаткування. Це підтверджує доцільність та актуальність формування методики створення таких моделей і їх використання для прогнозування.

При цьому вимагають обліку і такі властивості технічних об'єктів як інерційність, що не стаціонарність і багатовимірність вхідних збурень при значному послідовних процесів.

Виходячи з цього, відповідно до поставленої мети стосовно підвищення ефективності експлу-

атації суднового устаткування в умовах експлуатації на трансокеанських рейсах виникає актуальне науково-прикладне завдання стосовно розробки методики визначення доцільних інтервалів технічної діагностики суднового устаткування при трансокеанських вантажоперевезеннях.

Висновки

Слід відмітити, що виконання заздалегідь запланованих обсягів робіт технічного обслуговування та ремонту в установлені терміни в більшості випадків не забезпечує заданої надійності і призводить до зростання післяремонтних відмов.

Крім того, досвід експлуатації засобів водного транспорту свідчить, що прийнятий підхід до системи технічного обслуговування і ремонту призводить до значних перевитрат матеріальних і грошових ресурсів.

Тому, вважаємо за доцільне запропонувати перспективну систему діагностичного забезпечення суден, яка повинна використовувати традиційно вимірювані параметри робочого процесу, а також фізичні методи і засоби діагностики з прогнозуванням параметрів технічного стану.

Слід відзначити, що ефективність програми діагностування збільшується, коли при тому ж обсязі технічного обслуговування вирішуються завдання прогнозування змін технічного стану обладнання засобів водного транспорту.

Таким чином, програма прогнозування змін технічного стану обладнання є основою реалізації системи технічного обслуговування засобів водного транспорту за фактичним станом.

Дмитрієв А. А., Якусевич Ю. Г., Чебан В. І.

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ АПАРАТ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

У статті наведено аналіз методів прогнозування технічних параметрів суднового устаткування. Зазначені методи аналізуються з точки зору можливості прогнозування технічного стану суднового устаткування в умовах використання суден на трансокеанських рейсах. Також розглянуті питання актуальності розробки нових методів технічної експлуатації обладнання на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності і обсягу діагностування. У статті стверджується, що виконання заздалегідь запланованих обсягів робіт технічного обслуговування та ремонту в встановлені терміни в більшості випадків не забезпечує заданої надійності і призводить до зростання післяремонтних відмов.

Крім того, досвід експлуатації засобів водного транспорту свідчить, що прийнятий підхід до системи технічного обслуговування і ремонту призводить до значних перевитрат матеріальних і грошових ресурсів.

Тому, перспективна система діагностичного забезпечення суден повинна скористатися наявними можливостями традиційно вимірюваних параметрів робочого процесу, а також фізичними методами і засобами діагностики з прогнозуванням параметрів технічного стану обладнання засобів водного транспорту. В такому аспекті, розробка нових методів технічної експлуатації обладнання, на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності і обсягу діагностування є актуальним.

Ефективність діагностичної програми збільшується, коли при тому ж змісті контрольних операцій вирішуються завдання прогнозування змін технічного стану обладнання в майбутні моменти часу. Програма прогнозування є основою реалізації системи технічного обслуговування засобів водного транспорту за фактичним станом.

Ключові слова: методи прогнозування; технічні характеристики; суднове обладнання; надійність; інерційність; інтенсивність.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Постанова** Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 р. № 1307 «Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF> (дата звернення 12.11.2018)
2. **Бутов А. С.,** Гаскаров Д. В. Транспортные системы. Моделирование и управление. СПб. : Судостроение, 2001. 236 с.
3. **Гуменюк В. М.** Надежность и диагностика электротехнических систем. Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та. 2010. 218 с.
4. **Научные основы** эксплуатации войсковых средств измерений. Под. ред. А. Г. Фунтикова. М.: Воениздат. 1988. 240 с.
5. **Богомолов Ю. А.,** Тверитипов Д. И. Метрологическая деятельность в современной концепции качества. *Измерительная техника.* 2006. № 5. С. 7–18.
6. **Богом'я В. І.,** Давидов В. С., Доронін В. В., Пашков Д. П., Тихонов І. В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник). К. : ДВВП «Компас». 2012. 336 с.
7. **Богом'я В. І.,** Єлєзаров О. П., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимошук О. М. за заг. ред. О. М. Тимошук. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: ДУІТ, 2018. 305 с.
8. **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. К.: ДУІТ, 2018. 305 с.

Dmitriev A., Yakusevich Yu., Cheban V.

SCIENTIFIC-METHODIC APPARATUS FORECASTING PARAMETERS OF THE SHIPPING EQUIPMENT

The article analyzes the methods of forecasting technical parameters of ship equipment. These methods are analyzed in terms of the possibility of forecasting the technical condition of marine equipment in conditions of use of vessels on transoceanic flights.

The issues of the development of new methods of technical equipment operation on the basis of the application of modern automated procedures for determination of periodicity and scope of diagnostics are also considered.

The article argues that the implementation of pre-planned volumes of maintenance and repair works in due time in most cases does not provide the desired reliability and leads to an increase in post-repair failures.

In addition, the experience of operating water transport means that the adopted approach to the maintenance and repair system leads to significant over-consumption of material and financial resources.

Therefore, a promising system of diagnostic provision of vessels should take advantage of the existing capabilities of traditionally measured parameters of the work process, as well as physical methods and means of diagnostics with prediction of parameters of the technical condition of equipment for water transport. In this aspect, the development of new methods for the technical operation of equipment, based on the use of modern automated procedures for determining the frequency and scope of diagnosis is relevant.

The effectiveness of the diagnostic program is increased when, at the same content of control operations, the tasks of forecasting changes in the technical condition of equipment in future moments of time are solved. The forecasting program is the basis of realization of the system of technical maintenance of water transport facilities on the actual condition.

Keywords: forecasting methods; technical specifications; marine equipment; reliability; inertia; intensity.

Дмитриев А. А., Якусевич Ю. Г., Чебан В. И.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье приведен анализ методов прогнозирования технических параметров судового оборудования. Указанные методы анализируются с точки зрения возможности прогнозирования технического состояния судового оборудования в условиях использования судов в трансокеанских рейсах.

Также рассмотрены вопросы актуальности разработки новых методов технической эксплуатации оборудования на основе применения современных автоматизированных процедур определения периодичности и объема диагностирования.

В статье утверждается, что выполнение заранее запланированных объемов работ технического обслуживания и ремонта в установленные сроки в большинстве случаев не обеспечивает заданной надежности и приводит к росту послеремонтных отказов.

Кроме того, опыт эксплуатации средств водного транспорта свидетельствует, что принятый подход к системе технического обслуживания и ремонта приводит к значительному перерасходу материальных и денежных ресурсов.

Поэтому, перспективная система диагностического обеспечения судов должна использовать возможности традиционно измеряемых параметров рабочего процесса, а также физическими методами и средствами диагностики с прогнозированием параметров технического состояния оборудования средств водного транспорта. В таком аспекте, разработка новых методов технической эксплуатации оборудования на основе применения современных автоматизированных процедур определения периодичности и объема диагностирования является актуальным.

Эффективность диагностической программы увеличивается, когда при том же содержании контрольных операций решаются задачи прогнозирования изменений технического состояния оборудования в будущие моменты времени. Программа прогнозирования является основой реализации системы технического обслуживания средств водного транспорта по фактическому состоянию.

Ключевые слова: методы прогнозирования; технические параметры; судовое оборудование; надежность; инерционность; интенсивность.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2019 р.

Прийнято до друку 01.03.2019 р.