

Трофименко А.О., Костенко О. Я., Синицький С. М., Філіппов І. Г., Сіньківський В. А.

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

У статті обґрунтована необхідність оцінки технічного стану засобів водного транспорту для забезпечення їх безаварійної експлуатації. Наведені основні принципи та сформульовані вимоги щодо розробки моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою інформаційно-вимірювальних систем. Показані основні складові моделі залежно від їх призначення при проведенні оцінки технічного стану засобів водного транспорту. Порівняння результатів застосування отриманої моделі дозволяє оцінити ефективність застосування інформаційно-вимірювальних систем при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту порівняно з існуючою апаратурою контролю.

Ключові слова: *модель, засоби водного транспорту, технічний стан, апаратура контролю*

Вступ. Основною проблемою засобів водного транспорту України є значний моральний і фізичний знос транспортних засобів і портового обладнання. Середній термін експлуатації суден України перевищує 25 років, і з огляду на їхній технічний стан переважна більшість західних портів забороняє таким суднам вхід на внутрішній рейд [1; 2]. У відповідності до законодавства України потрібно забезпечувати технічний нагляд та судноплавний нагляд за морськими суднами незалежно від форм власності судна і його власника [3; 4].

Для забезпечення безаварійної експлуатації засобів водного транспорту необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє визначеним показникам ефективності [5; 6]. При цьому слід орієнтуватися на сучасні зразки апаратури контролю – інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) [7; 8]. Отже, розробка моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою ІВС є актуальною науковою задачею.

Аналіз літератури. Методи оцінки ефективності будь-яких технологічних процесів завжди конкретні, так як для застосування кількісних методів дослідження завжди необхідний математична модель. Загальних методів побудови моделей, а, отже, і методів оцінки ефективності не існує та в кожному конкретному випадку модель створюється виходячи з цільової спрямованості завдань дослідження, з урахуванням необхідної точності рішень (одержаних результатів) та достовірності використаних вихідних даних [9; 10]. Вимоги до моделей визначаються за їх призначенням та іншими факторами, пов'язаними з реалізацією та практичним застосуванням моделей [11]. З метою забезпечення ефективного моделювання планується досить точне відображення найбільш суттєвих властивостей системи, тобто необхідно, перш за все, забезпечити достовірність результатів моделювання. По-друге, модель повинна відповідати меті аналізу. Створення універсальної моделі або неможливо, або недоцільно.

Усі моделі мають схожі риси: вони є дещо ідеалізованими образами певних аспектів дійсності; імітують реальні складні системи, але при цьому враховують особливості, які цікавлять дослідника, нехтуючи всіма іншими. Звісно, що це не знецінює моделі, якщо вона використовується згідно зі своїм призначенням, а тільки звужує область, у якій модель є корисною [12; 13].

Поряд з необхідною повнотою відображення найбільш суттєвих зв'язків у системі, не менш важливою властивістю є простота моделі. В певній мірі це передбачає й можливість внесення необхідних змін та доповнень без суттєвих перебудов моделі, для чого доцільно використовувати модульний принцип побудови. Він передбачає створення моделі у вигляді окремих, відносно самостійно оформлених частин, що виконують певні функції для забезпечення високої ефективності розробки, застосування, вдосконалення та зміни моделі без порушення цілісності її функціонування [8; 14].

Таким чином, систему технічного обслуговування засобів водного транспорту пропонується розглядати як складну організаційно-технічну систему, яку можливо віднести до класу великих систем. Оскільки технічне забезпечення передбачає досягнення ряду взаємопов'язаних цілей (забезпечення єдності вимірювань, проведення оцінки технічного стану, правильність вибору апаратури контролю тощо [13], то й модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту повинна бути багатоцільовою.

Постановка задачі дослідження.

До основних принципів розробки моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою ІВС є [9; 13]:

- максимальне покриття їх основних структурних елементів і систем апаратурою контролю під час експлуатації;
- організаційна сумісність моделі з системою технічного забезпечення;
- функціональна самостійність, яка полягає у розмежуванні задач і обсягів необхідних операцій;
- адаптивність моделі до змін як самих структурних елементів і систем (наприклад, при модернізації), так і необхідної апаратури контролю;
- економічні показники моделі.

Вимогами до такої моделі є також можливість функціонування на базі:

- зосередження основних зусиль на забезпеченні безаварійної експлуатації засобів водного транспорту;
- забезпечення своєчасного виявлення можливих відмов під час експлуатації та оперативного відновлення (ремонт);
- визначення потрібних засобів контролю для забезпечення достовірного визначення технічного стану при мінімальних витратах на таку оцінку.

Розробка моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою ІВС потребує декомпозицію її на функціонально-самостійні структурні складові, які відповідають за достовірність результату оцінки технічного стану.

Основні складові моделі залежно від їх призначення визначаються в процесі оптимізації її структури та повинні відповідати системі технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Основні задачі, які покладені на ІВС, залежать від організації технічного обслуговування засобів водного транспорту та відповідати стратегії відновлення таких засобів.

Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою ІВС вибирається на основі мінімізації витрат на технічне обслуговування засобів водного транспорту.

Критерієм ефективності функціонування моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою ІВС є мінімум вартості та часу на технічне обслуговування при забезпеченні потрібного рівня достовірності визначення технічного стану таких засобів для попередження можливих аварій під час рейсу. Задача обґрунтування оптимальної кількості рівнів моделі оцінки, обсягів заходів оцінки і номенклатури апаратури контролю пропонується розраховувати методами математичного програмування. При цьому змінними у моделі є номенклатура апаратури контролю.

Обмеженнями при моделюванні виступають:

- кількість рівнів оцінки технічного стану;
- коефіцієнт використання апаратури контролю;
- витрати (економічні та часові) на оцінку технічного стану;
- вимоги до достовірності оцінки.

Результати розв'язання задачі обґрунтування оптимальної моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою ІВС є вихідними даними для розробки системи технічного обслуговування таких засобів під час експлуатації.

Модель оцінки технічного стану засобів водного транспорту

З урахуванням теорії системного аналізу запишемо вектор моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту за допомогою ІВС [10]:

$$M_{TC} = \langle M, R, Z, Y, F, \Sigma \rangle, \quad (1)$$

де M – складові моделі;

R – зв'язки між складовими моделі;

Z – фактори, які впливають на оцінку технічного стану;

Y – вплив результатів оцінки на ефективність застосування засобів водного транспорту;

F – функції оцінки технічного стану (вимірювальний контроль параметрів, відновлення несправностей, заміна несправних елементів тощо);

Σ – відповідність між складовими моделі M і функцією оцінки технічного стану F (залежить від апаратури контролю та параметрів контролю).

Модель оцінки технічного стану є динамічною, нерегулярною, ергономічною системою з елементами адаптації (зі змінною структурою), для якої R змінюється залежно від обстановки. Особливістю моделі є можливість адаптації. Так, існуюча система технічного обслуговування засобів водного транспорту не передбачає зміну залежно від модернізації засобів у цілому або їх складових елементів або блоків. Тому, після проведення модернізації, зазвичай, використовуються старі нормативні документи (наприклад, періодичність оцінки, встановлена директивно, не змінюється після проведення модернізації), не передбачена зміна структури системи технічного обслуговування засобів водного транспорту. Ієрархічна структура моделі, яка відповідає апаратурі контролю, визначається складовими M , R , а програма функціонування – складовими Z , Y , F .

Множину M представимо у вигляді наступних підмножин: N^O , M^1 , N^{Ob} . При цьому відмітимо, що $M = N^O \cup M^1 \cup N^{Ob}$, $N^O \cap M^1 \cap N^{Ob} = \emptyset$. Тоді елементи підмножини N^O відповідають засобам водного транспорту (складовим елементам або блокам), які потребують проведення технічного обслуговування. Елементи підмножини M^1 включають номенклатуру засобів контролю. Елементи підмножини N^{Ob} описують кількість засобів водного транспорту (складових елементів або блоків), які пройшли технічне обслуговування.

Відношення $R \subset M \times M$ характеризує взаємозв'язок між елементами моделі. При цьому під взаємозв'язком пропонується розуміти інформаційні зв'язки, які відповідають показникам достовірності, оперативності та вартості технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Множина факторів Z , які впливають на оцінку технічного стану, є зміною, що відповідає переминам потоків засобів водного транспорту, які потребують технічного обслуговування, згідно відповідних перемін кількості апаратури контролю та робочих місць із обслуговування таких засобів.

Множина Y є впливом потоку засобів водного транспорту, які підлягають технічному обслуговуванню, на ефективність їх використання (технічний стан на всьому маршруті руху у рейсі).

Множина функцій F , які є результатами оцінки технічного стану засобів водного транспорту, характеризує визначені на множинах Z і Y відображення, реалізовані елементами множини M . Відношення відповідності Σ ставить у відповідність елементам моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту реалізовані ними функції, тобто відбиває єдність програми функціонування, оцінки технічного стану та структури системи технічного обслуговування засобів водного транспорту.

Представимо множини Z і Y у вигляді підмножин Z_1, Z_2 ($Z = Z_1 \cup Z_2, Z_1 \cap Z_2 = \emptyset$), які представляють собою входи Z_1 в системи технічного обслуговування засобів водного транспорту і входи Z_2 в елементи моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту, проміжні виходи Y_1 (виходи системи технічного обслуговування елементів) і виходи Y_2 (виходи моделі оцінки технічного стану). Тоді функції елементів M системи технічного обслуговування засобів водного транспорту можуть бути записані в наступному вигляді:

$F_{1i} \subset Z_{1i} \times Y_{1i}$ – функції обслуговування засобів водного транспорту, яким необхідне його проведення (надійшов термін обслуговування або є необхідність);

$F_{21i} \subset Z_{2i} \times Y_{1i}$ – функції продуктивності елементів моделі оцінки технічного стану (можливості апаратури контролю щодо проведення оцінки технічного стану);

$F_{2i} \subset Z_{2i} \times Y_{2i}$ – функції впливу на справність засобів водного транспорту після проведення технічного обслуговування, причому $Y_{1i} \subset \{Z_{2i}\}$.

Програма функціонування системи технічного обслуговування засобів водного транспорту реалізується на основі функціонування її елементів, які виконують оцінку технічного стану. Систему технічного обслуговування засобів водного транспорту пропонується розділити на три підсистеми:

– систему забезпечення M_{TC}^3 , елементи якої призначені для виконання функції управління:

$$M_{TC}^3 = \langle N^O, R_1, Z \cup O, F_1, \Sigma_1 \rangle,$$

де O – множина вказівок, які надані системою забезпечення (виробник засобу водного транспорту, нормативні документи з експлуатації окремих елементів і блоків таких засобів. Ця підсистема здійснює управління системою технічного обслуговування засобів водного транспорту;

– систему обслуговування M_{TC}^{Ob} , елементи якої безпосередньо реалізують функції оцінки технічного стану засобів водного транспорту

$$M_{TC}^{Ob} = \langle M^1, R_2, U, O, F_{21}, \Sigma_2 \rangle,$$

де U – множина інформації, яка надходить від підсистеми забезпечення про стан парку засобів водного транспорту, які підлягають обслуговуванню, а також про фактори впливу на результати функціонування апаратури контролю;

– система впливу M_{TC}^B , елементи якої впливають на справність (своєчасність виявлення відмов і їх усунення) засобів водного транспорту

$$M_{TC}^B = \langle N^{Ob}, R_3, V, F_2, \Sigma_3 \rangle,$$

де V – кількість інформації про технічний стан засобів водного транспорту та його вплив на ефективність їх застосування за призначення (підтримання справності під час руху за маршрутом).

При зміні появи позаштатних ситуацій (наприклад, погодні умови, аварії тощо) змінюється й система технічного обслуговування засобів водного транспорту за рахунок позапланових обслуговувань. Таку ситуацію представимо вектором

$$S(t) = [S_{00}(t), S_{11}(t), \dots, S_{1l}(t), \dots, S_{2l}(t), \dots, S_{jl}(t)],$$

де $j = 1, \dots, L$ – кількість наборів апаратури контролю для проведення оцінки технічного стану засобів водного транспорту (знаходяться на борту засобу);

$l = 1, \dots, B$ – кількість наборів наявної апаратури із зберігання (додаткові засоби технічного обслуговування, наприклад, спеціалізовані групи заводів, портів тощо), яку можна додатково залучити для проведення оцінки технічного стану засобів водного транспорту.

Складові вектора $S(t)$ визначають основні властивості системи технічного обслуговування засобів водного транспорту, наприклад, неможливість проведення оцінки технічного стану засобів водного транспорту j -им і l -им зразками апаратури контролю. Стан системи технічного обслуговування засобів водного транспорту $S_{12}(t)$ відповідає випадку неможливості оцінки технічного стану засобу за допомогою одного набору апаратури контролю для проведення оцінки технічного стану із комплекту засобу та двох наборів апаратури контролю додаткових засобів технічного обслуговування.

Модель оцінки технічного стану перетворює потік засобів водного транспорту, які потребують обслуговування, в потік засобів, які за результатами обслуговування визнані придатними до експлуатації з потрібним рівнем достовірності відповідно до деякого відношення r_f

$$N^O_{r_f} N^{Ob} \Leftrightarrow (N^O, N^{Ob}) \in R_F; \quad (2)$$

де R_F – графік відношень $r_f (R_F \subset N^O \times N^{Ob})$;

\Leftrightarrow – знак еквівалентності.

З урахуванням виразу для моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту типу "вхід – вихід" буде вектор

$$M_{TC} = \langle N^O, N^{Ob}, R_F \rangle. \quad (3)$$

Так як відношення r_f функціонально $N^{Ob} = F(N^O)$, то

$$M_{TC} = \langle N^O, N^{Ob}, F \rangle. \quad (4)$$

При появі позаштатних ситуацій відсутня однозначна залежність між кількістю засобів водного транспорту, які потребують обслуговування, та засобами, які визнані придатними за результатами такого обслуговування. Це пов'язано з тим, що зазначена неоднозначність виникає через те, що в моделі (4) не враховується ряд факторів, наприклад, невизначеність і коливання в трудових ресурсах, обмежена надійність і не узгодження у використанні апаратури контролю додаткових засобів технічного обслуговування. Це суттєво впливає на обсяг засобів водного транспорту, які після його проведення визнані придатними до

подальшої експлуатації. Ці фактори характеризують внутрішні властивості моделі, що розробляється.

Нехай сукупність внутрішніх властивостей моделі, визначених на момент часу t , характеризується вектором стану $S_{j\ell}(t)$. Параметри стану визначаються кількістю засобів водного транспорту, які потребують технічного обслуговування, і станом системи в попередній момент часу через відношення

$$(N^O, S)_{r_1} S \Leftrightarrow [(N^O, S), S] \in R_1; R_1 \subset (N^O \times S) \times S,$$

або через функцію $S = F(N^O, S)$, тому що відношення r_1 функціонально.

Кількість засобів водного транспорту, які визнані придатними за результатами обслуговування, визначається бінарним відношенням між парою "вхід – стан" і виходом

$$(N^O, S)_{r_2} N^{Ob} \Leftrightarrow [(N^O, S), N^{Ob}] \in R_2; R_2 \subset (N^O \times S) \times N^{Ob},$$

або функцією $N^{Ob} = G(N^O, S)$, так як відношення r_2 функціонально.

Функціонування моделі оцінки технічного стану засобів водного транспорту опишемо відношенням

$$M_{TC} = \langle N^O, S, N^{Ob}, F, G \rangle. \quad (5)$$

де G – функція, яка визначає виробничі можливості засобів технічного обслуговування залежно від стану засобів водного транспорту та їх кількості, які потребують обслуговування у даний момент часу.

Отримане співвідношення (5) є моделлю оцінки технічного стану засобів водного транспорту типу "вхід – стан – вихід". У даній моделі множина F характеризує апаратуру контролю для оцінки технічного стану засобів водного транспорту. Порівняння результатів застосування отриманої моделі (5) для існуючої апаратури контролю та ІВС дозволяє обґрунтувати особливості застосування останніх, особливо після проведення модернізації засобів водного транспорту.

Висновки. Розв'язання задачі забезпечення оптимальної організації технічного обслуговування засобів водного транспорту для забезпечення їх безаварійної експлуатації під час руху за встановленим маршрутом при мінімальних витратах на обслуговування залежить від раціонального управління оцінкою технічного стану. При цьому важливим критерієм виступає максимальне значення показника рівня виробничої та технологічної гнучкості системи технічного обслуговування. Виробнича гнучкість системи технічного обслуговування засобів водного транспорту визначає можливість адаптації її структури до зміни цілей і зовнішніх умов, таких, як зміна пріоритетів в обслуговуванні, удосконалення технологічних процесів, обладнання та організаційної структури, упровадження нових методик проведення обслуговування за допомогою сучасної апаратури контролю. Рівень виробничої гнучкості можна кількісно оцінити часом реструктуризації матеріальних, інформаційних та організаційних зв'язків системи технічного обслуговування засобів водного транспорту, необхідних для реалізації функцій системи в умовах вимог, які змінюються.

Технологічна гнучкість системи технічного обслуговування засобів водного транспорту характеризує її можливість ефективно функціонувати при дії внутрішніх технологічних збуреннях, таких як коливання виробничих можливостей засобів технічного обслуговування,

нестабільності виконання робіт вимірювального контролю параметрів тощо. Технологічну гнучкість системи технічного обслуговування засобів водного транспорту кількісно можна оцінити динамікою критеріїв функціонування в умовах дії технологічних збурень: часом простою засобів водного транспорту під час обслуговування та завантаженням апаратури контролю. З метою розв'язання поставленої задачі забезпечення оптимальної організації технічного обслуговування засобів водного транспорту запропонована модель оцінки технічного стану таких засобів під час експлуатації за допомогою ІВС. Розроблена модель дозволяє оцінити ефективність застосування ІВС при технічному обслуговуванні засобів водного транспорту порівняно з існуючою апаратурою контролю.

Подальші дослідження будуть направлені на оцінку показників ефективності застосування ІВС при оцінці технічного стану засобів водного транспорту за допомогою розробленої моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лукьянович Н. В. Морской транспорт в мировой экономике. М.: Моркнига, 2009. 162 с.
2. Herasimov S., Shapran Yu., Stakhova M. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities, *Information Processing Systems*. 2018. Issue 1 (152). Pp. 148–154. DOI: 10.30748/soi.2018.152.21.
3. Про вдосконалення технічного, класифікаційного і судноплавного нагляду на морському і річковому транспорті / Постанова Кабінету Міністрів України від 08.06.1998 № 814 (зі змінами).
4. Про затвердження Положення про навігаційно-гідрографічне забезпечення мореплавства у внутрішніх морських водах, територіальному морі та виключній (морській) економічній зоні України / Наказ Міністерства Транспорту та Зв'язку України від 09.05.2006 № 514 (зі змінами).
5. Herasimov S., Timochko O., Khmelevskiy S. Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes / *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*. 2017. Issue 4 (53). Pp. 148–152.
6. Каретников В. В., Пащенко И. В., Соколов А. И., Кузнецов И. Г. К вопросу построения автоматизированной системы мониторинга параметров высокоточного навигационного поля // *Морская радиоэлектроника*. 2015. № 2 (52). С. 24–27.
7. Марченко А. Л., Марченко Е. А. Основы преобразования информационных сигналов. М.: Горячая линия – Телеком, 2010. 286 с.
8. Войтенко С. С., Герасимов С. В., Куценко В. В. Напрями удосконалення системи контролю технічного стану зразків озброєння та військової техніки // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2016. Вип. 3 (24). С. 127–131.
9. Измерительные информационные системы / Под общ. ред. Н. А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.
10. Nocedal J., Wright S.J. *Numerical Optimization*. New York: Springer–Verlag, 1999. 634 p.
11. Герасимов С. В., Дакі О. А., Яковлев М. Ю. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання / *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2018. №79 (2). С. 73–76. DOI: 10.23939/istcm2018/02/073.
12. Gander W., Gautschi W. Adaptive Quadrature – Revisited. 2000. *BIT*, Vol. 40. Pp. 84–101.
13. Демидов Б. О., Борисенко М. В., Герасимов С. В. Розробка військово-економічного показника ефективності експлуатації перспективної пересувної лабораторії

вимірювальної техніки // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. 2014. Вип. 3 (40). С. 11–16.

14. Дмитриев В. И. Судовождение на уровне управления. СГТГУВК, 2008. 330 с.

Trofimenko A. O., Kostenko A. Ya., Sinitsky S. N., Filippov I. H., Sinkivskyi V. A.
MODEL OF ASSESSMENT OF THE TECHNICAL STATE OF WATER TRANSPORT MEANS THROUGH THE INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM

The article substantiates the necessity of carrying out an assessment of the technical condition of water transport facilities to ensure their trouble-free operation. An appropriate system of assessment of the technical condition of water transport facilities should be guided by modern samples of control equipment - information and measurement systems. The purpose of the article is to develop a model for assessing the technical state of water transport using information and measurement systems. The basic principles and requirements for the development of a model for assessing the technical state of water transport using information and measurement systems are presented. The basic constituent models are shown, depending on their purpose when evaluating the technical condition of the means of water transport. The model of estimation of a technical condition of water transport means on the basis of system analysis method is developed. The proposed model characterizes the relationship between control equipment for assessing the technical condition of water transport facilities and the performance of such facilities. It is shown that the solution to the problem of ensuring the optimal organization of maintenance of water transport facilities to ensure their trouble-free operation while traveling on a fixed route with minimal maintenance costs depends on the rational management of the assessment of the technical condition. It is proved that the comparison of the results of the application of the obtained model allows to evaluate the efficiency of the use of information and measurement systems in the maintenance of means of water transport in comparison with the existing control equipment.

Keywords: model, means of water transport, technical condition, control equipment

Трофименко А. А., Костенко А. Я., Синицкий С. Н., Филипов И. Г., Синьковский В. А.
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В статье обоснована необходимость оценки технического состояния средств водного транспорта для обеспечения их безаварийной эксплуатации. Приведены основные принципы и сформулированы требования для разработке модели оценки технического состояния средств водного транспорта на основе информационно-измерительных систем. Показаны основные составляющие модели в зависимости от их назначения при проведении оценки технического состояния средств водного транспорта. Сравнение результатов применения полученной модели позволяет оценить эффективность применения информационно-измерительных систем при техническом обслуживании средств водного транспорта по сравнению с существующей аппаратурой контроля.

Ключевые слова: модель, средства водного транспорта, техническое состояние, аппаратура контроля