

Шапран Ю.Є.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ТОЧНОСТІ ОЦІНКИ КОЕФІЦІЄНТУ ГОТОВНОСТІ МОБІЛЬНИХ КОНТРОЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ДОСТОВІРНІСТЬ КОНТРОЛЮ АПАРАТУРИ РАДІОНАВІГАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

У статті показано вплив технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту на часові та економічні показники морських перевезень. Запропоновано метод побудови імітаційної моделі, який полягає у врахуванні ймовірностей перебування мобільних контрольно-діагностичних систем і апаратури радіонавігації у відповідних станах експлуатації – справному або несправному. Розроблено аналітичні співвідношення для визначення ймовірності перебування апаратури радіонавігації у відповідних станах експлуатації. Запропоновано імітаційну модель, яка ґрунтується на особливостях параметрів контролю апаратури радіонавігації та похибок мобільної контрольно-діагностичної системи, що застосовують під час контролювання.

Ключові слова: імітаційна модель, контроль, технічний стан, апаратура радіонавігації, морський транспорт

Актуальність проблеми. Апаратуру радіонавігації використовують для керування морським транспортом (суднами) за допомогою радіотехнічних приладів. Основні завдання, які вирішує радіонавігація: визначення координати судна та його місце розташування щодо інших точок, направлення виходу в заданий район. Вирішують ці питання за допомогою такої апаратури радіонавігації: радіокомпасів, радіомаяків, радіонавігаційної системи. При цьому радіомаяк передає точні координати, працює самостійно або належить до радіонавігаційної системи. Тобто всі дані передають зазвичай через супутник, і за допомогою радіокомпаса можна отримати точні дані про місце розташування судна.

Для обчислення дійсного напрямку руху й швидкості морського транспорту підраховують геометричну суму векторів: курс та швидкість, відносно води (за допомогою двигуна); напрям і сила (швидкість дрейфу); напрям і швидкість течії.

Для того щоб морський транспорт перевести з одного місця в інше, необхідно визначити генеральний напрям, за яким треба буде вести цей транспорт. Це є попередньою прокладкою курсу. Після того як судно рухатиметься за курсом, тоді проводять контроль місця його положення за допомогою апаратури радіонавігації. Треба зазначити, що помилки під час визначення місця положення морського транспорту можуть суттєво вплинути як на швидкість переміщення (проходження строго за прокладеним курсом або проходження додаткової відстані за рахунок внесення похибки у цей курс), так і на матеріальні витрати (паливо, витрати на додатковий час перебування на маршруті). Отже, від достовірності контролю апаратури радіонавігації морського транспорту залежить оперативність і економічність морських перевезень. При цьому достовірності контролю апаратури радіонавігації залежать від справності засобів контролю – мобільних контрольно-діагностичних систем [1 – 3].

Таким чином, оцінка впливу точності оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних систем на достовірність контролю технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту є актуальною науковою задачею. Для розв'язання цієї задачі розроблено відповідну імітаційну модель.

Аналіз літератури. Підтримання високого рівня справності морського транспорту можливе лише підвищенням ефективності експлуатації мобільних контрольно-діагностичних систем, тобто підвищенням коефіцієнта готовності [4 – 8].

Для підвищення ефективності контролю апаратури радіонавігації морського транспорту необхідно оцінити якість (достовірність, точність) оцінки коефіцієнта готовності мобільних контрольно-діагностичних систем. При цьому вирішення завдання оцінки технічного стану для апаратури радіонавігації експериментальними й статистичними методами, у силу часових обмежень, надто складне [8].

Тому оцінку коефіцієнта готовності мобільних контрольно-діагностичних систем як для існуючих, так і для перспективних зразків, пропонується здійснити за допомогою математичного моделювання процесів вимірювального контролю апаратури радіонавігації та мобільних контрольно-діагностичних систем, що застосовуються у разі контролювання цієї апаратури [1, 2].

Недоліками існуючих моделей вимірювального контролю складних зразків є те, що враховується лише вплив повноти і глибини контролю на достовірність контролю і не враховується якість обслуговування самих засобів контролю, які використовуються при цьому [3, 4, 7].

Пропонована імітаційна модель вимірювального контролю апаратури радіонавігації позбавлена цього недоліку, що забезпечить досягнення необхідного розрахункового рівня проходження морського транспорту строго за прокладеним курсом з меншими матеріально-технічними витратами.

Метою статті є розроблення імітаційної моделі впливу точності оцінки коефіцієнта готовності мобільних контрольно-діагностичних систем на достовірність контролю технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту.

Основна частина

Для побудови імітаційної моделі пропонується використати метод, зміст якого полягає в тому, що оцінка контролю апаратури радіонавігації морського транспорту описується формулою

$$P_{i,j} = P_i^O \sum_{l=1}^k P_l^c P_{j,i,l}, \quad (1)$$

де k – кількість станів мобільних контрольно-діагностичних систем, призначених для контролю апаратури радіонавігації;

P_i^O – апіорна ймовірність знаходження апаратури радіонавігації в i -му стані;

i, j – стан апаратури радіонавігації ($i=1$ – працездатна; $i=2$ – непрацездатна) і визначений стан апаратури радіонавігації за результатами контролю ($j=1$ – придатна для подальшої експлуатації; $j=2$ – непридатна для подальшої експлуатації);

l – стан мобільних контрольно-діагностичних систем, що застосовується для контролю апаратури радіонавігації;

P_l^c – апіорна ймовірність перебування мобільних контрольно-діагностичних систем в l -ому стані;

$P_{j,i,l}$ – умовна ймовірність того, що в результаті контролю апаратури радіонавігації знаходиться у стані j , при умові, що вона перебуває у стані i , а мобільна контрольно-діагностична система – у стані l .

Відповідно до формули (1) достовірність контролю апаратури радіонавігації дорівнює

$$D = P_{1,1} + P_{2,2} = 1 - (P_{1,2} + P_{2,1}),$$

а статистичний коефіцієнт готовності зразка мобільної контрольно-діагностичної системи дорівнює $P_{1,1}$.

Коефіцієнт готовності мобільних контрольно-діагностичних систем до застосування визначається так

$$K_{\Gamma} = P_1 / \sum_{i=1}^k P_i = P_1,$$

де P_1 – ймовірність стану, за якого система застосовується для контролю технічного стану апаратури радіонавігації (основний стан моделі експлуатації);

P_i – ймовірність i -го стану системи із загальної кількості станів k , $i = \overline{1, k}$.

Якщо стан апаратури радіонавігації визначається сукупністю n незалежних параметрів контролю ($v = \overline{1, n}$), то ймовірності цих станів описуються наступними формулами:

$$\begin{aligned} P_{1,1} &= \sum_{l=1}^k P_l^c \left[\prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,l}) \right]; \\ P_{1,2} &= \sum_{l=1}^k P_l^c \left[\prod_{v=1}^n P_v - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,l}) \right]; \\ P_{2,1} &= \sum_{l=1}^k P_l^c \left[\prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,l} + \beta_{v,l}) - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,l}) \right]; \\ P_{2,2} &= \sum_{l=1}^k P_l^c \left[1 - \prod_{v=1}^n P_v - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,l} + \beta_{v,l}) - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,l}) \right], \end{aligned} \quad (2)$$

де P_v – апіорна ймовірність знаходження v -го параметра контролю апаратури радіонавігації в області допустимих значень;

$\alpha_{v,l}$, $\beta_{v,l}$ – ймовірності помилок контролю I-го і II-го виду v -го параметра за умови, що мобільна контрольно-діагностична система перебуває в стані l відповідно.

Формули (2) є узагальненням формули (1) і тотожні за $v = 1$. Визначення математичного очікування перебування апаратури радіонавігації у відповідному стані будуть мати вигляд виразу

$$\begin{aligned} m_{1,1} &= p^-(m^M - \alpha_1) + (1 - p^c)(P^O - \alpha_2); \\ m_{1,2} &= p^-\alpha_1 + (1 - p^c)\alpha_2; \\ m_{2,1} &= p^-\beta_1 + (1 - p^c)\beta_2; \\ m_{2,2} &= p^-(1 - P^O - \beta_1) + (1 - p^c)(1 - P^O - \beta_2), \end{aligned} \quad (3)$$

де p^c – апіорна ймовірність перебування мобільної контрольно-діагностичної системи у стані $l = 1$;

α_1, α_2 – ймовірність помилок контролю апаратури радіонавігації I-го виду для $l = 1$ і $l = 2$ відповідно;

β_1, β_2 – ймовірність помилок контролю апаратури радіонавігації II-го виду для $l = 1$ і $l = 2$ відповідно;

p^O – апіорна ймовірність знаходження апаратури радіонавігації у працездатному стані.

Оскільки для мобільної контрольно-діагностичної системи за результатами її обслуговування розрізняють два стани $l=1$ – працездатна та допущена до обслуговування апаратури радіонавігації, $l=2$ – мобільна контрольно-діагностична система непрацездатна та недопущена до обслуговування апаратури радіонавігації, то згідно з формулами (2) для визначення математичного очікування перебування апаратури радіонавігації у відповідному стані будуть мати вид виразу (3).

Основною складністю під час оцінки впливу якості обслуговування мобільної контрольно-діагностичної системи (3) на готовність апаратури радіонавігації є отримання аналітичних залежностей для $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$.

Оскільки для найчастіше розповсюджуваних законів розподілу параметрів контролю та похибки вимірювання параметрів – нормального й рівномірного – неможливо отримати аналітичні вирази в загальному вигляді для функцій розподілу, запропоновано використання імітаційного моделювання.

Запропонована імітаційна модель ґрунтується на генерації нормальних розподілів дійсного значення X параметра контролю апаратури радіонавігації та похибки мобільної контрольно-діагностичної системи Y , що застосовують під час контролювання. Значення параметра контролю апаратури радіонавігації Z є композицією розподілів X і Y , тобто

$$Z = X + Y.$$

Значення параметрів з формул (3) $p^c, p^O, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ розраховуються як частоти потрапляння аргументів розподілів X, Y, Z у відповідних границях (табл. 1).

Таблиця 1

Умови працездатності

| Параметри формул (3) | Умови | | |
|----------------------|---|--------------------------------------|---|
| | працездатності апаратури радіонавігації | придатності апаратури радіонавігації | працездатності мобільної контрольно-діагностичної системи |
| p^c | – | – | $a' < y < b'$ |
| p^O | $a < X < b$ | – | – |
| α_1 | $a < X < b$ | $Z < a$ або $Z > b$ | $a' < Y < b'$ |
| α_2 | $a < X < b$ | $Z < a$ або $Z > b$ | $Y < a'$ або $Y > b'$ |
| β_1 | $X < a$ або $X > b$ | $a < Z < b$ | $a' < Y < b'$ |
| β_2 | $X < a$ або $X > b$ | $a < Z < b$ | $Y < a'$ або $Y > b'$ |

У таблиці 1 введені наступні позначення: a, b – нижня та верхня границя області допустимих значень параметра контролю апаратури радіонавігації відповідно; a', b' – нижня та верхня границі області допустимих значень похибки мобільної контрольно-діагностичної системи відповідно.

У результаті використання розробленої імітаційної моделі та розрахунку формул (3) встановлено, що похибки, у бік заниження, в оцінці працездатного стану мобільної контрольно-діагностичної системи, яка застосовується під час контролювання технічного стану апаратури радіонавігації на (1,5 – 2) %, що виникають у результаті математичного моделювання процесів їх обслуговування, для найтипичових значень: $P^O = 0,95$; $p^c = 0,95$; $\alpha_1 = 0,01$; $\alpha_2 = 0,01$; $\beta_1 = 0,01$; $\beta_2 = 0,01$ – надають похибку оцінки коефіцієнта готовності о мобільної контрольно-діагностичної системи порядку десятих процента.

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок про актуальність задачі підвищення точності моделювання процесів обслуговування мобільної контрольно-діагностичної системи, що застосовується під час контролювання технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту.

Так розрахунки засвідчили, що підвищення коефіцієнта готовності мобільної контрольно-діагностичної системи на (1,5–2) % дають змогу підвищити достовірність контролю апаратури радіонавігації на (2–10) %.

Висновки

Розроблена імітаційна модель впливу точності оцінки коефіцієнта готовності мобільних контрольно-діагностичних систем на достовірність контролю апаратури радіонавігації морського транспорту дає змогу визначити взаємозв'язок між якістю обслуговування системи та достовірністю визначення реального технічного стану апаратури, що контролюють.

Наступні публікації буде спрямовано на розроблення математичної моделі «зразок (система), що контролюється, – засіб контролю» й оцінення показників ефективності експлуатації радіотехнічних засобів морського транспорту за допомогою такої моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лукьянович Н.В. Морской транспорт в мировой экономике. – М.: Моркнига, 2009. – 162 с.
2. Морская радиоэлектроника / Соловьев И.В. и др.; под ред. Кравченко В.А. – СПб.: Политехника, 2003. – 185 с.
3. Шапран Ю.Є. Пропозиції щодо удосконалення методів оцінки ефективності системи контролю технічного стану радіотехнічних засобів морського транспорту/Ю.Є. Шапран// Новітні технології, 2017. – Випуск 2(4). – С.21–28.
4. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
5. Кузнецов В.А.. Основы эксплуатации средств измерений /В.А. Кузнецов, А.Н. Пашков, О.А. Подольский и др.; под ред. Р.П. Покровского. – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
6. Каретников В.В. К вопросу построения автоматизированной системы мониторинга параметров высокоточного навигационного поля / В.В. Каретников, И.В. Пашенко, А.И. Соколов, И.Г. Кузнецов // Морская радиоэлектроника. – 2015. – № 2 (52). – С. 24–27.
7. Герасимов С.В. Техніко-економічне обґрунтування розробки (модернізації, закупівлі) складних технічних комплексів / С.В. Герасимов, А.М. Клименко, Т.А. Пінчук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип.1 (23). – С. 111–115.
8. Демидов Б.О. Розробка військово-економічного показника ефективності експлуатації перспективної пересувної лабораторії вимірювальної техніки / Б.О. Демидов, М.В. Борисенко, С.В. Герасимов // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС. – 2014. – Вип. 3 (40). – С. 11–16.

Шапран Ю.Е.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ КОНТРОЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ АППАРАТУРЫ РАДИОНАВИГАЦИИ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

В статье показано влияние технического состояния аппаратуры радионавигации морского транспорта на временные и экономические показатели морских перевозок. Предложен метод построения имитационной модели, который заключается в учете вероятностей нахождения мобильных контрольно-диагностических систем и аппаратуры радионавигации в соответствующих состояниях эксплуатации – исправном или неисправном. Разработаны аналитические соотношения для определения вероятности нахождения аппаратуры радионавигации в соответствующих состояниях эксплуатации. Предложена имитационная модель, основанная на особенностях параметров контроля аппаратуры радионавигации и ошибок мобильной контрольно-диагностической системы, применяемой при контроле.

Ключевые слова: имитационная модель, контроль, техническое состояние, аппаратура радионавигации, морской транспорт

Y. Shapran

IMITATION MODEL OF INFLUENCE OF ACCURACY OF ACCURACY OF THE COEFFICIENT OF THE READINESS OF MOBILE CONTROL AND DIAGNOSTIC SYSTEMS ON THE ACCURACY OF CONTROL OF THE TRANSPORT SEA RADIONAVIGATION APPARATUS

The article shows the influence of the technical state of the radio navigation equipment of transport sea on the temporary and economic indicators of sea transport. The proposed method for constructing an imitation model, which consists in taking into account the probabilities of finding mobile diagnostic and control systems and radio navigation equipment in the corresponding operating states – serviceable or faulty. Analytical relations have been developed to determine the probability of finding radio navigation equipment in the corresponding operating states. A simulation model based on the features of the monitoring parameters of the radio navigation equipment and the errors of the mobile control and diagnostic system used in the control is proposed.

Keywords: simulation model, control, technical condition, radio navigation equipment, transport sea

REFERENCES

1. Lukjjanovych, N.V. (2009). *Morskoj transport v myrovoj ekonomyke [Marine transport in the world economy]*, Morknygha, M., 162 p.
2. Solov'ev, Y.V. (2003), *Morskaja radyoelektronyka [Marine Radio Electronics]*, Polytekhnika, SPb., 185 p.
3. Shapran, Ju.Je. (2017). Propozycji shhodo udoskonalennja metodiv ocinky efektyvnosti systemy kontrolju tekhnichnogho stanu radiotekhnichnykh zasobiv morsjkogho transport [Proposals on the improvement of methods for assessing the effectiveness of the system of monitoring the technical condition of radio equipment marine transport], *Novitni tekhnologhiji*, No. 2(4). pp.21-28.
4. Barzylovych, E.Ju. (1982). *Modely tekhnicheskogho obsluzhyvanyja slozhnukh system [Models of maintenance of complex systems]*, Vusshaja shkola, M., 231 p.
5. Kuznecov, V.A., Pashkov, A.N. and Podoljskyj, O.A. (1984). *Osnovu ekspluatacyy sredstv yzmerenyj [Bases operating measuring means]*, Radio y svjazj, M., 184 p.
6. Karetnykov, V.V., Pashhenko, Y.V., Sokolov, A.Y. and Kuznecov, Y.Gh. (2015). K voprosu postroyenija avtomatyzyrovannoj systemy monytoryngha parametrov vusokotochnogho navyghacyonnogho polja [To the question of constructing an automated system for

monitoring the parameters of a high-accuracy navigation field], *Morskaja radyoelektronika*, No. 2(52), pp. 24-27.

7. Gherasymov, S.V., Klymenko, A.M. and Pinchuk, T.A. (2010). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannja rozrobky (modernizaciji, zakupivli) skladnykh tekhnichnykh kompleksiv [Feasibility study on the development (modernization, procurement) of multiple technical complexes], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No.1(23), pp. 111-115.
8. Demydov, B.O., Borysenko, M.V. and Gherasymov S.V. (2014). Rozrobka vijsjkovo-ekonomichnogho pokaznyka efektyvnosti ekspluataciji perspektyvnoji peresuvnoji laboratoriji vymirjuvaljnoji tekhniky [Development of the military-economic indicator of the efficiency of the operation of a promising mobile laboratory of measuring technology], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 3(40), pp. 11-16.

Рецензент: д.т.н., професор Павліков В.В.,
Національний авіаційний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ"

УДК 629.78

Данік О.В., Дакі О.А., Коломієць О.М., Горбань А.В.

ВЕРИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСПЕРТНОГО ВИЗНАЧЕННЯ УСТУПКИ МІЖ ВАРТІСТЮ ТА ЕФЕКТИВНІСТЮ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ

Аналіз сучасних систем навігації та управління судном показує, що концепція побудови цих систем заснована на використанні після модернізації наявного в експлуатації обладнання спільно з сучасними системами. Тому, актуальною є задача багатокритеріальної оптимізації структури систем навігації та управління судном за відомими характеристиками існуючих підсистем.

Результати багатоцільової оптимізації порівняно з результатами одноцільової краці. Основні відмінності полягають у визначенні області компромісів; визначенні принципу оптимальності або схеми компромісу; нормалізації критеріїв або приведенні їх до єдиного масштабу виміру.

Вирішення багатьох задач теорії проектування формалізується алгоритмом оптимізації в умовах обмежень заданими технічними характеристиками і низки невизначеностей. До невизначеностей належать насамперед багатокритеріальність – наявність багатьох показників ефективності, різномірних за фізичним змістом і за ступенем важливості. У таких ситуаціях прийнято казати про невизначеність цілей.

У статті наведено особливості верифікації технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю запропонованої системи навігації й управління рухом.

Ключові слова: синтез, багатокритеріальність, невизначеність цілей, система, навігація та управління судном