

УДК 629.5.01

**METHOD FOR RELIABILITY AND SAFETY ASSESSMENT OF RESEARCH VESSELS****МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ СУДЕН З УРАХУВАННЯМ ЇХ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ**

**A.V. Bondarenko, PhD, associate professor, O. S. Nikolayenko, PhD, student**  
**А.В. Бондаренко, к.т.н., доцент, О.С. Ніколаєнко, студент**

*National Shipbuilding University, Ukraine*  
*Национальный Университет Кораблестроения, Украина*

**ABSTRACT**

The methodology for the analysis of efficiency of research vessels is considered. The mathematical device simulation, theory of Markov processes and theory of risks are used for efficiency analysis. The dependences for determining probability and performing functional operation of research vessels are received.

**Keywords:** methodology, efficiency, research vessel, the mathematical apparatus of simulation modeling, the theory of Markov processes, the theory of risk.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Україна є морською державою, територія якої омивається Чорним та Азовськими морями, тому її економічний розвиток неможливо собі уявити без дослідження та використання водних ресурсів. Для вивчення шельфу Чорного та Азовського морів, проведення різноманітних досліджень Україні потрібні науково-дослідні судна (НДС). Зараз в Україні немає жодного науково-дослідного судна, яке було б побудоване за проектом, що відповідає сучасним технічним вимогам та вимогам з безпеки. Останні НДС, що були побудовані у 1991 р. та відійшли після перебудови до України, "Гипанис" та "Гидробиолог", були спроектовані за старими проектами, які розглядають, власне, судно, як засіб для перевезення наукового обладнання та підводних апаратів. Питання безпеки екіпажу, науковців та судна в цілому, під час проведення наукових операцій, набули другорядного значення, а це, у свою чергу, призводить до прямих економічних втрат у зв'язку з малою довговічністю судових машин і механізмів, частими поломками, витратами на технічне обслуговування і ремонт. Тому досить гостро постає питання створення нових проектів науково-дослідних суден з підвищеним рівнем надійності та безпеки. А це, у свою чергу, вимагає певних витрат, через що виникає необхідність оцінити економічну ефективність таких капіталовкладень з урахуванням досягнутого рівня надійності та безпеки. Така задача є досить актуальною та потребує розгляду ще на концептуальному етапі проектування НДС.

### **Аналіз останніх досягнень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Завдання проєктанта полягає у тому, щоб ще на початкових етапах проєктування закласти такий рівень безпеки судна, при якому сумарна ефективність була б максимальною (з урахуванням витрат на підвищення безпеки). На подальших етапах, проєктування підсистем судна необхідно проводити з урахуванням закладених рівнів надійності таким чином, щоб загальний рівень надійності був не меншим ніж закладений у концептуальному проєкті. Тобто, питання надійності і безпеки НДС необхідно розглядати ще на етапі створення його проєкту.

**Мета статті** – створення методики, яка б дозволила, ще на початкових етапах проєктування НДС, провести аналіз ефективності з урахуванням їх надійності та ризиків при проведенні наукових експедицій.

**Задача статті** – для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати життєвий цикл науково-дослідного судна, використовуючи математичний апарат імітаційного моделювання та теорію марківських процесів.

### **Викладення матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих результатів**

Науково-дослідні судна відносяться до групи суден, корисний ефект яких напряму не можна звести до економічних показників. Проте, ще на етапі концептуального проєктування НДС необхідно оцінити ефективність проєктних рішень. Крім того, наукові експедиції важко прогнозувати. В таких випадках доцільно застосувати математичний апарат імітаційного моделювання [1], а оцінку ефективності проєктних рішень проводити з урахуванням ймовірності виконання наукової експедиції. При цьому сама наукова експедиція представляється у вигляді послідовності наступних операцій: перебування в порту, перехід морем, робота на станції (позиціонування, дрейф), буксирування підводного апарату або тралу. Кількісні характеристики цих операцій використовуються в розрахунках експлуатаційних витрат.

У процесі виконання операції судно може знаходитися в одному з наступних станів ( $S$ ): працездатному, якому відповідає номер 1; непрацездатному (відстій, плановий ремонт) – 2; аварійному – 3; граничному (катастрофа) – 4.

В даному випадку, ідея полягає в можливості "переходу" спочатку справного судна у будь-який момент часу в ході якої-небудь операції в інший стан, який відповідає цілковитій або частковій відмові механізмів і іншого обладнання, виникненню аварії (рис. 1). Передбачається і зворотний "перехід", що полягає у відновленні технічних засобів, які вийшли з ладу, успішно проведеній боротьбі за живучість судна. Зворотний перехід із граничного стану неможливий, оскільки даний стан відповідає повній або конструктивній загибелі судна.

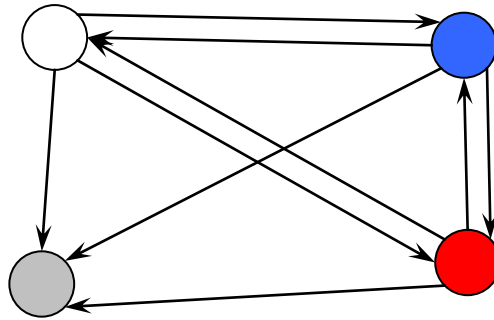


Рис. 1. Перехід НДС із одного стану в інший

Можливості прямого і зворотного "переходів" визначаються відповідною ймовірністю, тобто безвідмовністю і ремонтпридатністю судового обладнання, систем тощо.

Ймовірність переходу судна на початку елементарної операції з  $i$ -го у  $j$ -й стан визначається за допомогою теорії марківських процесів (ланцюгів Маркова) [3-5].

Введемо наступні позначення:

$W_k$  – показник, який характеризує  $k$ -у елементарну операцію;

$W_{jk}$  – величина показника за умови, що судно виконує  $k$ -у операцію, знаходячись в  $j$ -му стані;

$P_i$  – ймовірність знаходження судна на початку операції в  $i$ -ому стані;

$P_{ij}$  – ймовірність "переходу" судна в ході операції з  $i$ -го в  $j$ -й стан;

$n$  – кількість можливих станів судна на початку операції;

$k$  – порядковий номер операції судна;

$m$  – кількість можливих станів судна в ході операції.

З урахуванням прийнятих позначень показник, що характеризує елементарну операцію, може бути визначений за формулою [2]:

$$W_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i P_{ij} W_{jk}$$

Вважаючи, що дії негативних і запобігаючих факторів є пуасоновськими потоками, можна розглядати перехід із стану в стан як марківський процес із дискретними станами і неперервним часом (рис. 1).

Ймовірність збереження  $i$ -го стану за період часу  $\Delta t$  визначається за формулою:

$$P_i(t + \Delta t) = P_i(t) \left( 1 - \Delta t \sum_{j=1}^N \lambda_{ij}(t) \right) + \Delta t \sum_{j=1}^N P_j(t) \lambda_{ji}(t);$$

$$\left[ P_i(t + \Delta t) - P_i(t) \right] \frac{1}{\Delta t} = -P_i(t) \sum_{j=1}^N \lambda_{ij}(t) + \sum_{j=1}^N P_j(t) \lambda_{ji}(t);$$

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_i(t + \Delta t) - P_i(t)}{\Delta t} ;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_i(t)}{dt} = -P_i(t) \sum_{j=1}^N \lambda_{ij}(t) + \sum_{j=1}^N P_j(t) \lambda_{ij}(t), \quad i = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^N P_i(t) = 1 \end{array} \right. ,$$

де  $P_i(0)$  – вектор початкових умов ( $i = 1, n$ ).

Інтегрування цієї системи за часом дозволяє отримати ймовірність станів як функції часу  $P_i(t)$ .

Для визначення граничної ймовірності  $P_i$  при знаходженні системи в стаціонарному стані потрібно скласти систему  $n$  лінійних однорідних алгебраїчних рівнянь з  $n$  невідомими.

Перехід судна із працездатного в інші стани можливий внаслідок реалізації однієї з початкових подій (ПП). Для системи "судно-вантаж-людина" можна виділити наступну повну групу несумісних початкових подій: несприятливий зовнішній вплив, проектні і технологічні помилки, відмови технічних елементів, помилки людини.

Якщо для деякої початкової події можна виділити  $n$  аварійних подій (АП), які пронумеровані як  $A_1, \dots, A_n$ , то аварія може наступити при реалізації будь-якої з  $n$  несумісних аварійних послідовностей. Отже, умовна ймовірність аварії:

$$Q(I_0) = \sum_{i=1}^n Q_i(A|I_0) ,$$

$Q_i(A|I_0)$  – ймовірність реалізації  $i$ -ої,  $i = 1, 2, \dots, n$  АП для даної ПП.

Для обчислення повної ймовірності  $P(I_0)$  настання аварії (безумовної) необхідно врахувати ймовірність  $Q(I_0)$  настання ПП. Тоді за формулою повної ймовірності може бути розрахована ймовірність аварії  $P(I_0)$  при настанні початкової події  $I_0$ :

$$P(I_0) = Q(I_0) \sum_{i=1}^n Q_i(A|I_0) = \sum_{i=1}^n Q(I_0) Q_i(A|I_0) ,$$

де  $Q(I_0)$  – ймовірність настання початкової події  $I_0$  за деякий період часу  $T$ , наприклад, за рік. Ця ймовірність визначається за допомогою аналізу ПП.

У свою чергу значення  $Q_i(A|I_0)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , обчислюють за формулою ймовірності сумісного настання незалежних подій (в сукупності), що форму-

ють дану АП,  $A_i$ . Іншими словами, якщо  $i$ -а аварійна послідовність  $A_i$  обумовлена настанням  $k_i$  незалежних в сукупності подій (відмов елементів, помилок персоналу, безвідмовною роботою елементів) рівна  $\pi_{ij}$ , то

$$Q_i(A_i|I_0) = \prod_{j=1}^{k_i} \pi_{ij},$$

де  $j = 1, \dots, k_i$ ,  $\pi_{ij} = p_{ij}$  – ймовірність безвідмовної роботи або  $\pi_{ij} = p_{ij}$  – ймовірність відмови.

При розрахунках ефективності розглядаються наступні ймовірності: ймовірність загибелі судна (затоплення, згорання, руйнування), ймовірність загибелі людини (травмування), ймовірність нанесення екологічного збитку (розлив палива), ймовірність пошкодження судна (необхідність ремонту).

Вказану ймовірність доцільно визначити за виразом:

$$P(B_{km}) = P(A_m)P(C_k|A_m)P(B_k|A_m),$$

де  $P(A_m)$  – ймовірність відмови (аварії)  $m$ -го вигляду протягом заданого проміжку часу;

$P(C_k|A_m)$  – умовна ймовірність даної категорії аварії (умовна ймовірність виникнення аварії унаслідок  $m$ -ої відмови);

$P(B_k|A_m)$  – умовна ймовірність загибелі або будь-якого іншого граничного стану судна при цій категорії аварії (умовна ймовірність загибелі судна при виникненні згаданої вище аварії).

Таким чином, ймовірність загибелі судна:

$$P(B_{1m}) = P(A_m)P(C_1|A_m)P(B_1|A_m),$$

де  $P(B_1|A_m)$  – умовна ймовірність загибелі судна при цій категорії аварії; ймовірність загибелі людини (групи людей):

$$P(B_{2m}) = P(A_m)P(C_2|A_m)P(B_2|A_m),$$

де  $P(B_2|A_m)$  – умовна ймовірність загибелі людини (групи людей) при цій категорії аварії;

ймовірність нанесення екологічного збитку:

$$P(B_{3m}) = P(A_m)P(C_3|A_m)P(B_3|A_m),$$

де  $P(B_3|A_m)$  – умовна ймовірність нанесення екологічного збитку при цій категорії аварії;

ймовірність пошкодження судна

$$P(B_{4m}) = P(A_m)P(C_4|A_m)P(B_4|A_m),$$

де  $P(B_4|A_m)$  – умовна ймовірність пошкодження судна при цій категорії аварії.

Отримані значення ймовірностей використовуються для оцінки ефективності проектних рішень НДС.

### **Висновки та перспектива подальшої роботи з даного напрямку**

Аналіз показує, що на даний час оцінювання ефективності НДС виконується без урахування їх надійності та безпеки [2]. Лише в роботі [6] описано методику врахування надійності НДС. Саме тому запропонована методика оцінки ефективності НДС із застосуванням апарату імітаційного моделювання, теорії марківських процесів дає змогу врахувати безпеку та надійність на початкових етапах проектування. А це дозволить закласти достатній рівень безпеки судна, при його максимальній сумарній ефективності.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Кельтон, В.Д. Имитационное моделирование [Текст] / В.Д. Кельтон, А.М. Лоу – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2004. – 847 с.
2. Нарусбаев, А.А. Введение в теорию обоснования проектных решений [Текст] / А.А. Нарусбаев. – Л.: Судостроение, 1976. – 224 с.
3. Булинский, А.В. Теория случайных процессов [Текст] / А.В. Булинский, А.Н. Ширяев. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 408 с.
4. Портенко, Н.И. Марковские процессы [Текст] / Н.И. Портенко, А.В. Скороход, В.М. Шуренков // Итоги науки и техники. Современ. пробл. матем. Фундам. направления. – ВИНТИ. 1989. – 46. – С. 5–248.
5. Тихонов, А.Н. Марковские процессы [Текст] / А.Н. Тихонов, М.А. Мионов. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.
6. Шостак, В. П. Анализ концептуального проекта универсального научно-исследовательского судна [Текст] / В.П. Шостак, В.И. Голиков. – Николаев: УДМТУ, 1999. – 74 с.