

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СУДНА

О.М. Шумило¹, О.І. Россомаха², А.В. Шахов³

¹к.т.н., професор, проректор із НОР,
доцент кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації,
Навчально-науковий інститут морського флоту
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

²аспірант, старший викладач кафедри технічного обслуговування і ремонту суден,
Навчально-науковий інститут морського флоту
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

³д.т.н., професор кафедри технічного обслуговування і ремонту суден,
Навчально-науковий інститут морського флоту
Одеського національного морського університету, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0142-7594

Анотація

Вступ. Як основна модель у процесі вирішення задач підвищення ефективності експлуатації суден зазвичай використовується модель визначення вартості життєвого циклу судна. Використання цієї моделі необхідна в процесі вирішення значного кола задач. Однак у зв'язку із значною тривалістю життєвого циклу невизначеність параметрів моделі дуже висока, що призводить до значних похибок у розрахунку повної вартості. Запроваджене дослідження націлене на вдосконалення моделі вартості життєвого циклу (ЖЦ) судна на основі використання в ній методології управління ризиками. **Метою** дослідження є вдосконалення моделі визначення вартості життєвого циклу судна за рахунок впровадження методів аналізу ризиків. **Результати.** У роботі запропоновано вирішення проблеми, пов'язаної із значними похибками в розрахунку повної вартості ЖЦ шляхом використання теорії ризиків. Основною метою оцінки ризику є уявлення на основі об'єктивних свідчень інформації, необхідної для прийняття обґрунтованого рішення щодо способів обробки ризику. Оцінка ризику може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або кількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані мають бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування. Під час вибору методу оцінки ризику необхідно враховувати, що метод має відповідати багатьом критеріям. У статті розглядаються два підходи використання теорії ризиків: встановлення значення прийняттого сумарного ризику або використання методу Монте-Карло для трансформування невизначеності для звичайних аналітичних моделей та розрахунку ймовірностей, якщо аналітичні методи не можуть бути використані. **Висновки.** У роботі запропонована модель визначення вартості життєвого циклу судна з урахуванням аналізу ризиків, що впливають на її складники.

Ключові слова: модель вартості життєвого циклу, прийнятний ризик, метод Монте-Карло.

IMPROVEMENT OF THE SHIP LIFE CYCLE COSTING MODEL

O.M. Shumylo¹, O.I. Rossomakha², A.V. Shakhov³

¹Ph.D. in Technology, Professor, Vice-Rector,
Associate Professor at the Department of Ship Power Plants and Technical Operation,
*Educational and Scientific Institute of the Navy
of the Odesa National Maritime University, Odessa, Ukraine,*
ORCID ID: 0000-0003-0574-1951

²Postgraduate Student, Senior Lecturer at the Department of Maintenance and Repair of Ships,
*Educational and Scientific Institute of the Navy
of the Odesa National Maritime University, Odessa, Ukraine,*
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

³Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Maintenance and Repair of Ships,
*Educational and Scientific Institute of the Navy
of the Odesa National Maritime University, Odessa, Ukraine,*
ORCID ID: 0000-0003-0142-7594

Summary

Introduction. As a rule, the life cycle model is used for determining ship cost to increase the operation efficiency. This model is necessary in solving a wide range of issues. However, the uncertainty of the model parameters is very high due to the long period of the lifecycle. It leads to significant errors in calculating the total cost. The introduced article is aimed at improving the lifecycle cost (LCC) model of the vessel based on the use of risk management methodology. **The purpose of the research** is to improve the model of determining the lifecycle cost of vessels by means of the risk analysis methods. **Results.** The solution associated with significant errors in calculating the total cost of lifecycle by the risk theory has been highlighted. The risk assessment is based on the objective evidence. This information finds the methods to handle the risk. One or more methods of varying difficulty can be used to provide the detailed risk assessment. The assessment form and its initial data must be compatible with the risk criteria established in determining the scope. When choosing a risk assessment method, keep in mind that the method must meet many criteria. In addition, two approaches of using the risk theory have been analyzed. They are establishing the value of acceptable total risk or using the Monte Carlo method to transform uncertainty for conventional analytical models and calculating probabilities if analytical methods cannot be used. **Conclusions.** The paper proposes the model for determining the cost of the ship lifecycle, taking into account the analysis of risks that affect its components.

Key words: lifecycle cost model, acceptable risk, Monte Carlo method.

Вступ. Сучасний період розвитку цивілізаційного суспільства характеризує процес інформатизації як такий, що кардинально змінює концепцію моделювання в процесі проектування технічних систем. У світі спостерігається постійне зростання складності технічних систем, до яких належить морські та річкові судна. Таке ускладнення в сукупності з постійним зростанням конкуренції на ринку перевезень робить процес прийняття управлінських рішень щодо управління життєвим циклом судна неможливим без розробки адекватної моделі визначення вартості життєвого циклу судна.

Використання цієї моделі необхідна в процесі вирішення значного кола задач:

- проектування та побудова нового судна;
- оптимізація тривалості життєвого циклу до його утилізації;
- розробка стратегії ТОР суднових технічних засобів та суднових конструкцій;
- аналіз доцільності проведення модернізації або переобладнання судна.

Запроваджене дослідження націлене на вдосконалення моделі вартості життєвого циклу (ЖЦ) судна на основі використання в ній методології управління ризиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наведена вище задача знаходиться в центрі уваги фахівців різних галузей знань вже доволі довгий період часу [1–7].

У роботі [1] як концепції запропоновано, що будь-яка система, незалежно від її масштабу і виду, проходить весь свій ЖЦ у суворій послідовності, відповідно до визначеного порядку.

Дефініція стандарту визначає: ЖЦ – це еволюція системи, продукції, послуги, проєкту або іншого об'єкта, створеного руками людини, від її задуму до припинення використання за плановим призначенням.

В основі майже всіх запропонованих моделей і методів розрахунку вартості ЖЦ технічних систем знаходиться принцип Заде, який попереджає про несумісність точності моделі зі складністю системи.

Д.А. Курсіним [3] сформульовані основні вимоги до означених моделей, а саме:

- обмежена кількість змінних і факторів;
- відсутність необхідності постійного збирання великої кількості вихідної інформації;

- використання методів діагностування, тобто зміну вартості грошей у часі.

У загальному вигляді вартість ЖЦ судна Z_{Σ} складається з таких доданків [4]:

- витрати на проектування і побудову судна, його введення до експлуатації Z_B ;
- витрати на паливно-мастильні матеріали Z_T ;
- витрати на ремонт, що містять вартість змінно-запасних частин Z_R ;
- експлуатаційні витрати (утримання екіпажу, забезпечення функціонування окремих елементів системи судна) C_E ;
- витрати на утилізацію на момент виводу судна з експлуатації [4] Z_U .

З урахуванням дисконтування авторами [5] запропонована загальна формула розрахунку Z_{Σ} :

$$Z_{\Sigma} = Z_B + \sum_{t=1}^T \left[\frac{1}{(1+k)^t} \cdot Z_E \right] + \sum_{t=1}^T \left[\frac{(1+I_T)^t}{(1+k)^t} \cdot Z_T \right] + \sum_{t=1}^T \left[\frac{1}{(1+k)^t} \cdot Z_R \right] + \frac{Z_U}{(1+k)^T}, \quad (1)$$

де T – плановий час експлуатації судна (горизонт планування);

k – коефіцієнт дисконтування;

I – коефіцієнт інфляції.

Будь-яка задача оптимізації використання судна і процесі перевезення вантажів (пасажирів) вирішується шляхом мінімізації виразу (1). Однак основна проблема в процесі її вирішення є наслідком тривалого життєвого циклу судна, що призводить до значних похибок при вирішенні вихідних параметрів моделі (зміна вартості паливно-мастильних матеріалів, коливання ринку судноремонтних послуг тощо).

В останні роки такі проблеми вирішуються шляхом застосування в оптимізаційних моделях методології теорії ризиків. Прийняття і впровадження міжнародних стандартів серії ISO 31000 [6; 7] дасть змогу значно збільшити точність при вирішенні задачі оптимізації життєвого циклу складних технічних систем.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є вдосконалення моделі визначення вартості життєвого циклу судна шляхом впровадження методів аналізу ризиків.

Виклад основного матеріалу. У різних літературних джерелах можна знайти більше ста визначень дефініції «ризик» [8–15]. Однак найбільш чітко і точно визначення наведено в Стандарті [6]: «Ризик – це вплив невизначеності на мету». З цього формулювання можна виділити головні ознаки ризику.

По-перше, ризики виникають тільки в разі виконання будь-яких цілеспрямованих дій. Якщо метою судноплавної компанії не є торговельно-економічні операції з деякою державою, то стан фінансової системи цієї країни не можна вважати джерелом ризику. І, навпаки, якщо потенційний портфель замовлень містить сумісні проекти, цей фактор стає одним із найбільш важливих.

По-друге, ризиком варто вважати подію, яка має чітко визначені причини виникнення і негативні наслідки. Тому невірними будуть терміни: виробничий ризик, екологічний ризик тощо. Такі характеристики можуть використовуватись як класифікаційні ознаки, а не ризики конкретної особи.

По-третє, ризик – це подія, яка може відбуватися лише з деякою ймовірністю, яка має не дорівнювати нулю або одиниці.

По-четверте, будь-який ризик варто вважати економічною категорією. Тому під час кількісної оцінки ризик (R) чисельно дорівнює добутку ймовірності настання ризикової події (P) та величині збитків (U), яких зазнає судовласник внаслідок недосягнення тієї чи іншої цілі.

$$R = P \cdot U, \quad (2)$$

Таким чином, якщо будь-яка діяльність націлена на досягнення N цілей, кожна з яких характеризується значеннями P_N та U_N , відповідно, сумарний ризик становитиме:

$$R_{\Sigma} = \sum_{n=1}^N P_N \cdot U_N, \quad (3)$$

По-п'яте, ризик – це кількісний показник процесу, а не об'єкта. Саме тому в моделі оцінки вартості життєвого циклу судна варто враховувати ризики всіх процесів, що будуть реалізовані судном впродовж повного життєвого циклу або частини, що аналізується. З урахуванням тривалості циклу кількість виконаних процесів буде дуже великою, що значно ускладнює задачу визначення сумарного ризику.

У практиці ризик-менеджменту з успіхом використовується концепція прийнятого ризику, яка наведена на рис. 1. Для кожного з виробничих процесів визначаються експертним шляхом (або на базі статистичних даних, якщо такі є) ризики перевищення витрат від планового показника $R_1, R_2, R_3, \dots, R_i$ та порівнюються

з прийнятним ризиком $R_{\text{доп}}$, затвердженим для цього виробничого процесу. Виробничі процеси, для яких величина ризику менше прийнятного, показані на схемі зеленим кольором, а більше – червоним. Довжина стрілки пропорційна величині ризику. Представлена на рис. 1 схема дає змогу наочно визначити найбільш вразливі з погляду мінімізації сумарних витрат.

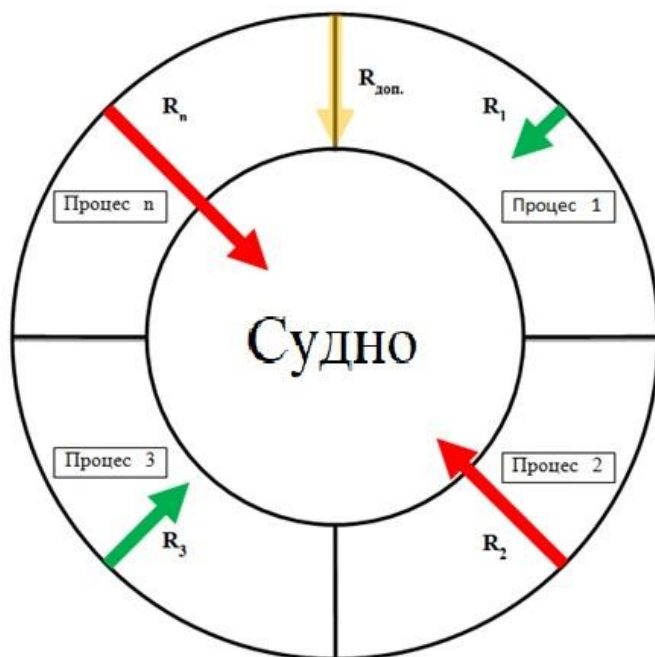


Рис. 1. Ризики окремих процесів експлуатації судна

Джерело: власні розробки авторів

З урахуванням великої кількості процесів за повний період життєвого циклу судна такий метод досить складно впровадити на практиці. Крім того, вплив окремих факторів на величину ризику окремих процесів може бути спрямованим у різні сторони. У деяких процесах це може призвести до зростання витрат, але одночасно зменшити витрати на інші процеси, що нівелює сумарну величину ризику.

Основною метою оцінки ризику є уявлення на основі об'єктивних свідчень інформації, необхідної для прийняття обґрунтованого рішення щодо способів обробки ризику.

Оцінка ризику забезпечує:

- розуміння потенційних небезпек і впливу їхніх наслідків на досягнення встановлених цілей судновласної компанії;
- отримання інформації, необхідної для прийняття рішень;
- розуміння небезпеки і її джерел;
- ідентифікацію ключових чинників, що формують ризик, уразливих місць судна і її систем;

- можливість порівняння ризику з ризиком альтернативних технологій, методів і процесів;
- обмін інформацією про ризик і невизначеності;
- інформацію, необхідну для ранжирування ризиків;
- запобігання нових інцидентів на основі дослідження наслідків інцидентів;
- вибір способів обробки ризику;
- відповідність правовим і обов'язковим вимогам;
- отримання інформації, необхідної для обґрунтованого рішення про прийняття ризику відповідно до встановлених критеріїв;
- оцінку ризику на всіх стадіях життєвого циклу судна.

У роботі [7] наведено понад 30 методів кількісної оцінки ризиків, які можна умовно поділити на чотири типи:

- статистичні;
- ймовірнісно-статистичні;
- теоретико-ймовірнісні;
- експертні [8–10].

Теоретичною основою ймовірнісних моделей визначення ризиків є теорія ймовірностей та ймовірнісне моделювання. На підставі розроблених математичних моделей елементів системи ME , технологічних процесів $M_{ТП}$, процесів зношування M_3 , сценаріїв виникнення і розвитку аварійних ситуацій з урахуванням ролі людського фактора $M_{ЛФ}$.

$$M = f(M_E; M_{ТП}; M_3; M_{ЛФ}), \quad (4)$$

У цій моделі вносяться ймовірнісні характеристики зовнішніх та внутрішніх факторів:

$$P = f(P_E; P_{ТП}; P_3; P_{ЛФ}), \quad (5)$$

За результатами ймовірнісного моделювання визначаються розподіл ймовірностей виникнення небезпечних подій та математичне очікування збитків у разі настання цих подій U .

Недоліком таких методів є складність реалізації ймовірного аналізу, що робить його впровадження досить обмеженим.

Статистичні методи будуються на аналізі великих масивів статистичних досліджень, що також робить їх не завжди прийнятними.

Найбільше поширення в останні роки отримала модель оцінки ризиків на підставі аналізу небезпек, вразливостей і втрат.

Загальний порядок використання такої моделі аналізу ризиків передбачає послідовний аналіз небезпек, які можуть виникнути в системі, вразливостей системи щодо виявлених небезпек та аналіз втрат від настання небезпек, що реалізувались [11; 12]

$$A_R = A_H \cup A_{BP} \cup A_{BT}, \quad (6)$$

На рис. 2 наведена структурна схема моделі аналізу ризиків, де використовуються такі позначення:

$ПС$ – початковий стан системи;

S_0 – сценарій успішного досягнення системою своїх цілей;

KC_0 – бажаний кінцевий стан системи;

S_0 – сценарій успішного досягнення системою своїх цілей;

KC_0 – бажаний кінцевий стан системи;

E_0 – діапазон відхилення точки KC_0 , в межах якого кінцеві стани можна вважати допустимими;

IC_1, IC_2 – ініціюючі небезпеки події;

GC_1, GC_2 – граничні стани системи;

$S_i (i=1, 2, \dots, N)$ – i -й сценарій, що реалізується після граничного стану;

$KC_i (i=1, 2, \dots, N)$ – недопустимий кінцевий стан системи, який відповідає сценарію S_i ;

$U(KC_i) (i=1, 2, \dots, N)$ – втрати, що відповідають кінцевому стану KC_i .

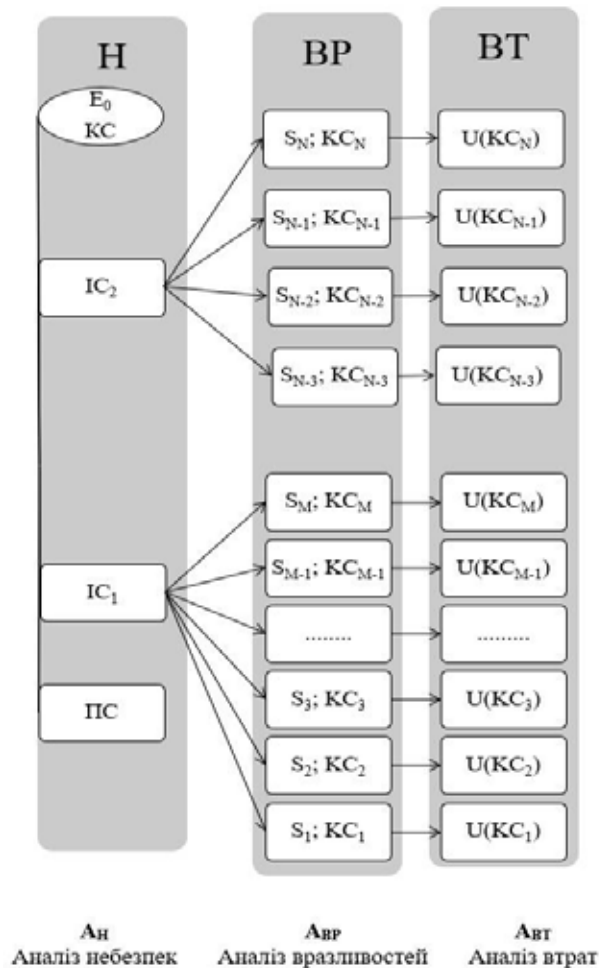


Рис. 2. Модель аналізу ризиків

Джерело: власні розробки авторів

Вразливість системи характеризується сукупністю сценаріїв випадкових подій і причинно-наслідкових зв'язків лише цими подіями, тобто структурою сценарного графа системи [13]. При цьому параметрами вразливості будуть виступати умовні ймовірності реалізації різних кінцевих станів систем, що виникають у полі ініціюючої події того чи іншого типу та інтенсивності. Аналіз вразливостей припускає дослідження послідовності події та причинно-наслідкових зв'язків між ними від ініціюючої до досягнення системою одного з кінцевих станів. Іншими словами, аналіз вразливостей являє собою детальне вивчення дерева сценаріїв системи, що вивчається.

Траєкторія S_0 у просторі станів, що описують функціонування системи від початкового стану ПС до бажаного KC_0 має назву «сценарій успіху». У моменти часу t_1, t_2, \dots, t_N в системі можуть відбутися ініціюючі події $III_1; III_2; \dots, III_N$, які здатні відхилити траєкторію від кривої S_0 , включаючи послідовність подій, що відповідають сценаріям S_1, S_2, \dots, S_N , які дають змогу системі досягнути кінцевих станів KC_1, KC_2, \dots, KC_N . Кожен кінцевий стан, крім бажаного, призводить до втрат $U_N(KC_N)$. Таким чином, втрати – це результат зміни стану системи у бік, який не дозволяє отримати заплановану кінцеву подію.

За наслідками послідовної оцінки небезпек, вразливостей та втрат для системи можна визначити рівень ризику:

$$R = \vec{H} \cdot V \cdot \vec{U}, \quad (7)$$

де: $\vec{H} = \{P[III_1]; P[III_2]; \dots; P[III_N]\}$ – вектор небезпек, компонентами якого є ймовірності реалізації ініціюючих подій;

$V [P(KC_1|III_j)] - N \cdot K$ – матриця вразливостей, компоненти якої виявляють собою ймовірності реалізації невдалих станів KC_i за умови настання ініціюючої події III_j ;

$\vec{U} = \{U[KC_1]; U[KC_2]; \dots; U[KC_N]\}$ – вектор втрат, компонентами якого є величини збитків, що відповідають кінцевим станом KC_1, KC_2, \dots, KC_N .

Оцінка ризику може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або кількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані мають бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування.

У процесі вибору методу оцінки ризику необхідно враховувати, що метод має:

- відповідати ситуації, що розглядається в судовласній компанії та оточуючому середовищі;
- надавати результати в формі, що сприяє підвищенню обізнаності про вид ризику і способи його обробки;
- забезпечувати простежуваність, відтворюваність і верифікацію процесу і результатів.

Досвід у проведенні досліджень з оцінки ризиків під час моделювання вартості життєвого циклу судна показав ефективність використання в цій задачі методу Монте-Карло. Цей метод зазвичай використовують для оцінки діапазону зміни результатів і відносної частоти значень у цьому діапазоні для кількісних величин,

таких як вартість, тривалість, продуктивність, попит та ін. Моделювання методом Монте-Карло може бути використано для двох різних цілей:

- трансформування невизначеності для звичайних аналітичних моделей;
- розрахунку ймовірностей, якщо аналітичні методи не можуть бути використані.

Вхідними даними для моделювання методом Монте-Карло є добре опрацьована модель системи, інформація про тип вхідних даних, джерела невизначеності і необхідних вихідних даних.

Вхідні дані та відповідну їм невизначеність розглядають у вигляді випадкових змінних із відповідними розподілами змінних (нормальний, трикутний, логарифмічний тощо).

Процес включає такі етапи:

- визначення моделі або алгоритму, які найбільш точно описують поведінку досліджуваної системи;
- багаторазове застосування моделі з використанням генератора випадкових чисел для отримання вихідних даних моделі (моделювання системи). За необхідності моделюють вплив невизначеності. Модель записують у формі рівняння, що виражає співвідношення між вхідними та вихідними параметрами. Значення, відібрані як вхідні дані, отримують із відповідних розподілів ймовірностей, що характеризують невизначеності даних;
- за допомогою комп'ютера багаторазово використовують модель (часто до 10 000 разів) із різними вхідними даними і отримують вихідні дані. Вони можуть бути оброблені за допомогою статистичних методів для отримання оцінок середнього, стандартного відхилення, довірчих інтервалів.

Перевагами методу Монте-Карло є такі:

- метод може бути адаптований до будь-якого розподілу вхідних даних, включаючи емпіричні розподіли, побудовані на основі спостережень за відповідними системами;
- моделі порівняно прості для роботи і можуть бути в разі потреби розширені;
- метод дозволяє врахувати будь-які дії, події і взаємозв'язки між ними, включаючи такі, як умовні залежності;
- для ідентифікації сильних і слабких впливів може бути застосований аналіз чутливості;
- моделі є зрозумілими, а взаємозв'язок між входами і виходами – прозорим;
- метод допускає застосування ефективних моделей дослідження багатокомпонентних систем, таких як мережа Петрі.
- метод дає змогу досягти необхідної точності результатів.

Недоліками методу є такі:

- точність рішень залежить від кількості ітерацій, які можуть бути виконані;
- метод передбачає, що невизначеність даних можна описати відомим розподілом;
- великі і складні моделі можуть становити труднощі для фахівців із моделювання й ускладнювати залучення зацікавлених сторін;
- метод не може адекватно моделювати події з дуже високою або дуже низькою ймовірністю появи, що обмежує його застосування в процесі аналізу ризику.

Як програмне забезпечення реалізації методу Монте-Карло в процесі створення і реалізації моделі визначення вартості життєвого циклу судна нами пропонується використання системи імітаційного моделювання AnyLogic, яке має графічне середовище користувача та дає змогу використовувати мову Java для розробки моделей. Крім того, проведення імітаційного моделювання дозволяє визначити очікувану вартість життєвого циклу судна як математичне очікування випадкової величини сумарних витрат. При цьому немає необхідності аналізувати кожен фактор ризику та його вплив на сумарні витрати життєвого циклу окремо. Для вирішення прикладних задач мінімізації витрат на виконання всіх процесів життєвого циклу судна можна як цільову функцію використовувати саме математичне очікування сумарних витрат, а до системи обмежень додати умову максимально допустимого значення середнього квадратичного відхилення або дисперсії.

За результатами імітаційного моделювання було доведено, що величина сумарної вартості життєвого циклу судна Z_{Σ} підпорядковується нормальному закону розподілу з функцією щільності розподілу:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{M_Z^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

де M_L – математичне очікування сумарних витрат;
 σ – середньоквадратичне відхилення (рис. 3).

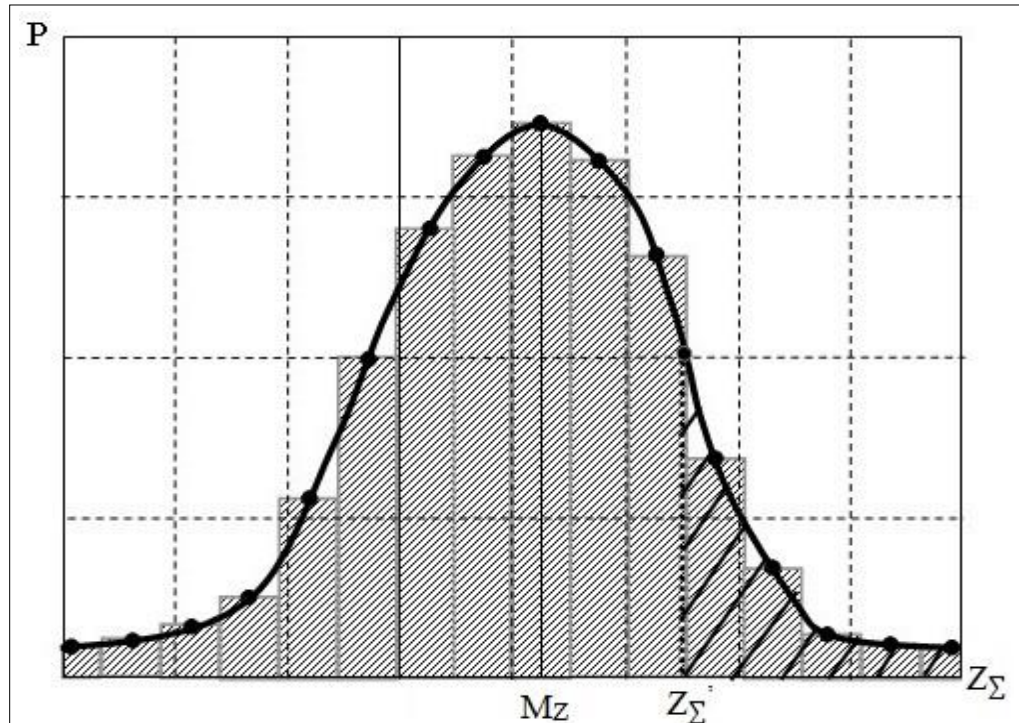


Рис. 3. Розподіл ймовірності вартості життєвого циклу судна
Джерело: власні розробки авторів

Якщо планом передбачається отримання сумарної вартості життєвого циклу на рівні Z_{Σ}' , то ризик недосягнення цілі може бути розрахований за формулою:

$$R = P\left(Z_{\Sigma} \geq Z_{\Sigma}'\right) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{Z_{\Sigma}'} e^{-\frac{M_{\Sigma}^2}{2\sigma^2}}, \quad (9)$$

Висновки. У роботі запропонована модель визначення вартості життєвого циклу судна з урахуванням аналізу ризиків, що впливають на її складники.

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering – System life cycle processes. URL: <http://www.Iso.org>.
2. Шахов А.В. Проектирование жизненного цикла ремонтпригодных технических систем : Монография. Одесск. национ. морс. ун-т. Одесса : Феникс, 2005. 164 с.
3. Курсин Д.А. Расчет стоимости жизненного цикла сложного машиностроительного изделия при принятии решения о совершенствовании проекта. *Журнал «Наука и образование»*. 2011. № 10. С. 38–49.
4. Семенов А.И. Моделирование и прогнозирование цен судов отечественной постройки. *Сборник науч. тр. ЦННИМФ*. 1982. Вып. 274. С. 51–61.
5. Шахов А.В., Пизинцали Л.В. Модель управления стоимостью жизненного цикла судна. *Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал*. 2014. Вип. 3. С. 9–16
6. ISO/IEC 31000:2009. Risk-management. Principles and guide. URL: <http://www.Iso.org>.
7. ISO/IEC 31010:2009. Risk-management. Methods of risk assessment. URL: <http://www.Iso.org>.
8. Махутов Н.А., Крышевич О.В., Переездчиков И.В., Петров В.П., Тарташов Н.И. Особенности применения методов анализа опасности систем «Человек-машина-среда» на базе нечетких множеств. *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях*. 2001. Вып. 1. С. 99–110.
9. Ковалевич О.М. Понятие «риск» и его производные. *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях*. 2001. Вып. 1. С. 91–98.
10. Ковалевич О.М. К вопросу об определении «степени риска». *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях*. 2004. Вып. 1. С. 73–80.
11. Акимов В.А., Порфирьев Б.Н. Кризисы и риск: к вопросу взаимосвязи категорий. *Проблемы анализа риска*. 2004. Т. 1, № 1. С. 38–49.
12. Калько Е.В., Дыбач А.М., Севбо А.Е., Кудла Е.П. Концепция оперативного вероятностного анализа безопасности. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. Вып. 3(55). С. 51–56. URL: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Yarb/12_3/3_55_11.pdf
13. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. Санкт-Петербург : Изд. дом «Бизнес-пресса», 2004. 216 с.

REFERENCES

1. ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering – System life cycle processes. URL: <http://www.iso.org>.
2. Shakhov A.V. Designing the life cycle of maintainable technical systems [Proektirovanie zhiznennogo tsikla remontoprigodnykh tekhnicheskikh sistem] : Monografiia. Odessk. natsion. mors.un-t. Odessa : Feniks, 2005. 164 s. [in Russian].
3. Kursin D.A. Calculation of the cost of the life cycle of a complex machine-building product when making a decision to improve the project [Raschet stoimosti zhiznennogo tsikla slozhnogo mashinostroitelnogo izdeliia pri priniatii resheniia o sovershenstvovanii proekta]. *Zhurnal «Nauka i obrazovanie»*. 2011. № 10. S. 38–49. [in Russian].
4. Semenenko A.I. Modeling and forecasting of prices for ships of domestic construction. [Modelirovanie i prognozirovanie tsen sudov otechestvennoi postroiki]. Sb. nauch. tr. TsNNIMF. 1982. Vyp. 274. S. 51–61. [in Russian].
5. Shakhov A.V., Pizintcali L.V. Model of ship life cycle cost management [Model upravleniia stoimosti zhiznennogo tsikla sudna]. *Problemi tekhniki: Naukovo-virobnichii zhurnal*. 2014. Vip. 3. S. 9–16 [in Russian].
6. ISO/IEC 31000:2009. Risk-management. Principles and guide. URL: <http://www.iso.org>.
7. ISO/IEC 31010:2009. Risk-management. Methods of risk assessment. URL: <http://www.iso.org>.
8. Makhutov N.A., Kryshevich O.V., Perezdchikov I.V., Petrov V.P., Tartashov N.I. Peculiarities of application of methods of hazard analysis of systems “Man-machine-environment” based on fuzzy sets [Osobennosti primeneniia metodov analiza opasnosti sistem «Chelovek-mashina-sreda» na baze nechetkikh mnozhestv]. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychainykh situatsiakh*. Vyp. 1, 2001. S. 99–110. [in Russian].
9. Kovalevich O.M. The concept of “risk” and its derivatives. [Poniatie “risk” i ego proizvodnye.] *Problemy bezopasnosti pri chrezvychainykh situatsiakh*. 2001, vyp. 1. S. 91–98. [in Russian].
10. Kovalevich O.M. On the question of determining the “degree of risk”. [K voprosu ob opredelenii “stepeni riska”.] *Problemy bezopasnosti pri chrezvychainykh situatsiakh*. 2004, vyp. 1. S. 73–80. [in Russian].
11. Akimov V.A., Porfirev B.N. Crises and risk: on the issue of the relationship of categories. [Krizisy i risk: k voprosu vzaimosviasi kategorii.] *Problemy analiza riska*. 2004, t. 1, № 1. S. 38–49. [in Russian].
12. Kalko, E.V., Dybach A.M., Sevbo A.E., Kudla E. P. Concept of operational probabilistic safety analysis [Kontseptciia operativnogo veroiatnostnogo analiza bezopasnosti]. *Iaderna ta radiatsiina bezpeka*. 2012. Vyp. 3(55). S. 51–56. URL: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Yarb/12_3/3_55_11.pdf [in Russian].
13. Solozhentsev E.D. cenario logic and probabilistic risk management in business and technology. [Stcenarnoe logiko-veroiatnostnoe upravlenie riskom v biznese i tekhnike]. SPb. : Izd. dom «Biznes-prensa», 2004. 216 s. [in Russian].