

Автомобільний, річковий, морський та авіаційний транспорт

УДК 358.42:623.76 (477)

doi: 10.26906/SUNZ.2023.1.004

А. Д. Бойко, В. Л. Ярмак

Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
Державного університету інфраструктури та технологій, Київ

МЕТОД УПРАВЛІННЯ НЕПРИЙНЯТНИМИ РИЗИКАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙНИМ МОРСЬКИМ ПОДІЯМ І ЗНИЖЕННЯ МОЖЛИВИХ ЗБИТКІВ ВІД НИХ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ СУДНОПЛАВСТВА

Анотація. В статті розглянуто метод управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання виникнення аварійних морських подій (дуже серйозних або серйозних аварій) і зниження потенційних збитків від них в системі управління безпекою судноплавства, в якому враховуються всі заходи щодо запобігання або зниження несприятливих ризиків виникнення аварійних морських подій з морським або річковим, що дозволяє забезпечити мінімальні витрати на запобігання ризикам виникнення аварійних морських подій і зниження потенційного збитку від них. Удосконалено математичну модель визначення узагальнених витрат, що знижують несприятливий ризик аварійної морської події, яка враховує дуже серйозні аварії та серйозні аварії, інтенсивність потоку аварійних морських подій, збитки, ймовірність запобігання подіям та дозволяє визначити цільовий рівень підвищення безпеки судноплавства за мінімальних сумарних витрат. При цьому виконано формальне представлення несприятливого ризику виникнення аварійних морських подій з урахуванням не тільки чинників, що впливають на безпеку судноплавства, але й очікуваного середнього збитку. Виконано формальне представлення запобігання аварійних морських подій з урахуванням основних чинників і впровадження заходів щодо зниження несприятливих ризиків аварійних морських подій. Виконано визначення несприятливого ризику аварійних морських подій з урахуванням їх запобігання (зниження).

Ключові слова: метод; ризик; аварійна морська подія; морський та річковий транспорт; ризик; збиток; ймовірність; чинник; система управління безпекою судноплавства.

Вступ

Постановка проблеми. Проблема управління ризиками у системі управління безпекою судноплавства (СУБС) на даний час є надзвичайно актуальною і невирішеною в повному обсязі. Аналіз стану аварійності морського та річкового флоту України за останні свідчить про те, що для зменшення потенційного збитку від аварійних морських подій (АМП) необхідне врахування та реалізація різноманітних заходів щодо запобігання або зниження ризиків виникнення цих подій у СУБС [1-5].

На безпеку при експлуатації засобів водного транспорту впливає множина різних факторів, часто негативних. Тому й наслідки від впливу таких факторів матимуть різний характер, часто – негативний. Очевидно, що у такій ситуації для досягнення певного рівня безпеки необхідно вкладати певні кошти та здійснювати чималі витрати на безпеку судноплавства. З іншого боку нестача вкладень у безпеку судноплавства є однією з головних причин виникнення АМП. Отже, виникає нетривіальне завдання щодо знаходження балансу між необхідним мінімумом обсягів вкладень на досягнення певного рівня безпеки судноплавства, з одного боку, та забезпеченням ефективності бізнесу судовласників, з іншого.

Таким чином, потребує розробки механізм визначення першочергових ризиків та найефективніших заходів щодо зниження рівня цих ризиків задля

забезпечення балансу між вкладеннями на безпеку судноплавства та досягненням прибутку судовласників.

Чинні інструкції і керівні документи вимагають від власників суден та різних організацій постійно підвищувати рівень безпеки судноплавства. Але даний процес безперервно стикається з обмеженими фінансовими ресурсами та постійно зростаючими вимогами щодо рівня безпеки плавання. Дані умови продиктували необхідність розрахунку конкретного рівня безпеки судноплавства, який буде оптимальним з точки зору економіки. Аналіз досліджень процесів управління ризиками у системі управління безпекою судноплавства дозволяє зробити висновок про те, що у рамках цих досліджень не враховується критерій мінімальних сумарних витрат при розробці заходів, що знижують ризики аварійних морських подій [6-10].

Таким чином, у теорії і практиці безпеки судноплавства виявилася невідповідність. З одного боку, підходи, що у теперішній час застосовуються до управління ризиками у системі управління безпекою судноплавства є певною мірою застарілими та мають обмежені можливості. З іншого боку, постійно зростаючі потреби і вимоги практики щодо зниження ризиків АМП ініціюють необхідність створення адекватних основ для підвищення безпеки судноплавства.

Це визначає необхідність вирішення актуального завдання щодо управління неприйнятними ри-

зиками для визначення витрат на запобігання АМП і зниження можливих збитків від них.

Мета статті. Удосконалення методу управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання АМП і зниження можливих збитків від них у СУБС.

Основний матеріал

Структурно метод управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання АМП і зниження можливих збитків від них у СУБС містить послідовне виконання основних процедур, представлених на рис. 1.



Рис. 1. Структура методу управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання АМП і зниження можливих збитків від них у СУБС

Розглянемо зміст відповідних етапів більш детально.

1. Процедура формування вхідних даних. Вхідними даними для методики розрахунку оптимальної

ймовірності є: тип морського або річкового судна, список чинників АМП, найменування заходів зі зниження неприйнятного ризику, їхня вартість, розмір очікуваного збитку від АМП, час функціонування водного транспорту, інтенсивності потоків АМП тощо.

2. Процедура розрахунку ймовірностей запобігання АМП $P(E)_{pr}$ (див. вираз (1)) від витрат на заходи, спрямовані на зниження неприйнятних ризиків реалізації АМП.

Для зниження неприйнятного ризику АМП у рамках системи управління безпекою судноплавства на МРТ впроваджуються відповідні заходи. При цьому заходи щодо зниження неприйнятного ризику АМП являють собою дію або сукупність дій, спрямованих на запобігання або зниження рівня неприйнятних ризиків АМП [11]. Заходи щодо зниження неприйнятного ризику характеризуються ймовірністю запобігання АМП $P(E)$, під якою розумітимемо відношення інтенсивності потоку подій певного с-го класу аварійних морських подій після впровадження заходів E до інтенсивності потоку цих подій, яка була до впровадження заходів:

$$P(E) = \frac{\lambda_E}{\lambda_{EME}}, \quad (1)$$

де λ_{EME} – вихідна інтенсивність потоку АМП до впровадження заходів щодо запобігання (зниження) неприйнятних ризиків; λ_E – інтенсивність потоку АМП з урахуванням запобіжних заходів.

Інтенсивності потоків відвернутих АМП є прогнозними величинами і розраховуються експертним методом. За кожним чинником F_i^n заходів E_s щодо запобігання (зниження) неприйнятного ризику може бути декілька. При цьому один захід може впливати на кілька чинників.

Умовні ймовірності формально задамо для кожного типу водного транспорту (морського чи річкового) окремо, де класи АМП, це дуже серйозної або серйозної аварії ($j = 1, 2$) у вигляді матриці. Її рядки являють собою заходи щодо запобігання АМП, а стовпчики – чинники АМП (матриця (2) з чинниками, що впливають на безпеку самого судна, матриця (3) з чинниками, що впливають на безпеку людини, матриця (4) з чинниками, що впливають на безпеку навколишнього середовища, матриця (5) з чинниками, що впливають на безпеку вантажу). На перетині рядків і стовпців знаходяться значення відповідних ймовірностей запобігання АМП

$$\begin{bmatrix} P(F_1^1|E_1) & \dots & P(F_5^1|E_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P(F_1^1|E_S) & \dots & P(F_5^1|E_S) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} P(F_1^2|E_1) & \dots & P(F_4^2|E_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P(F_1^2|E_S) & \dots & P(F_4^2|E_S) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} P(F_1^3|E_1) & \dots & P(F_5^3|E_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P(F_1^3|E_S) & \dots & P(F_5^3|E_S) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} P(F_1^4|E_1) & \dots & P(F_4^4|E_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P(F_1^4|E_S) & \dots & P(F_4^4|E_S) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Таким чином, якщо заходів кілька (рис. 2), то результуюча ймовірність запобігання дорівнюватиме добутку ймовірностей запобігання подій за підсумками впровадження кожного заходу, що знижує ризик подій. Таким чином, результуюча ймовірність запобігання для АМП, що сталася з причини чинника F_i^n , представляється таким виразом

$$P(F_i^n|E)_{rez} = \prod_{s=1}^S P(F_i^n|E_s). \quad (6)$$

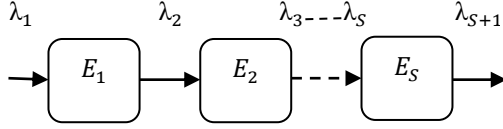


Рис. 2. Графічне представлення процесу запобігання аварійній морській події за підсумками впровадження кількох заходів

Якщо ймовірність запобігання аварійній морській події за результатами впровадження заходів щодо зниження неприйнятних ризиків АМП дорівнює нулю, то заходи є неефективними, і подія реалізується. Якщо ймовірність запобігання АМП за ре-

$$R_q' = \sum_{t=1}^{|C|} \left(\sum_{j=1}^J \lambda_j \left(T_f \left(\left[\sum_{i=1}^5 Y(F_i^1|EME_j^t) P(F_i^1|EME_j^t) \right] [1 - \prod_{i=1}^5 \prod_{s=1}^S P(F_i^1|E_s)] + \left[\sum_{i=1}^4 Y(F_i^2|EME_j^t) P(F_i^2|EME_j^t) \right] [1 - \prod_{i=1}^4 \prod_{s=1}^S P(F_i^2|E_s)] + \left[\sum_{i=1}^3 Y(F_i^3|EME_j^t) P(F_i^3|EME_j^t) \right] [1 - \prod_{i=1}^3 \prod_{s=1}^S P(F_i^3|E_s)] + \left[\sum_{i=1}^2 Y(F_i^4|EME_j^t) P(F_i^4|EME_j^t) \right] [1 - \prod_{i=1}^2 \prod_{s=1}^S P(F_i^4|E_s)] \right) \right). \quad (7)$$

Тоді скорочення несприятливого ризику реалізації АМП від впровадження запобіжного заходу можна представити як

$$\Delta R_q = R_q - R_q'. \quad (8)$$

$$\text{де } R_q = \sum_{t=1}^{|C|} \sum_{j=1}^J R_j^t = \sum_{t=1}^{|C|} \left(\sum_{j=1}^J \lambda_j \left(T_f \left(\sum_{i=1}^5 Y(F_i^1|EME_j^t) P(F_i^1|EME_j^t) + \sum_{i=1}^4 Y(F_i^2|EME_j^t) P(F_i^2|EME_j^t) + \sum_{i=1}^3 Y(F_i^3|EME_j^t) P(F_i^3|EME_j^t) + \sum_{i=1}^2 Y(F_i^4|EME_j^t) P(F_i^4|EME_j^t) \right) \right), q = \overline{1, Q}. \right)$$

Вибір запобіжних заходів можна зробити на підставі принципу Парето (правило 80/20, принцип найменшого зусилля) [13]. Врахувати принцип Парето при моделюванні складних систем можна, якщо завдання на максимум відповідного функціоналу при заданих обмеженнях на використання ресурсів

$$\max_{j \in J} R = \max_{j \in J} \left[\sum_{t=1}^{|C|} \sum_{j=1}^J R_j^t = \sum_{t=1}^{|C|} \left(\sum_{j=1}^J \lambda_j \left(T_f \left(\sum_{i=1}^5 Y(F_i^1|EME_j^t) P(F_i^1|EME_j^t) + \sum_{i=1}^4 Y(F_i^2|EME_j^t) P(F_i^2|EME_j^t) + \sum_{i=1}^3 Y(F_i^3|EME_j^t) P(F_i^3|EME_j^t) + \sum_{i=1}^2 Y(F_i^4|EME_j^t) P(F_i^4|EME_j^t) \right) \right) \right]. \quad (9)$$

Таким чином, формалізовано підходи до розрахунку несприятливого ризику АМП, що враховують усі класи, інтенсивності, збитки, чинники (причини) подій і ймовірність запобігання за дискретного розподілу збитків. Ці формалізовані представлення необхідні для побудови математичної моделі визначення витрат на запобігання аварійним морським подіям і зниження можливих збитків від них у СУБС МРТ [14, 15].

Залежність імовірності запобігання аварійним морським подіям від витрат на заходи, що знижують несприятливий ризик АМП, визначається так:

$$P(EME)_{pr} = 1 - e^{-\frac{U}{V_0}}, \quad (10)$$

при $V_0 = 0, P(EME)_{pr} \rightarrow 0,$

при $V_0 = \infty, P(EME)_{pr} \rightarrow 1,$

де $P(EME)_{pr}$ – імовірність запобігання АМП; V_0 –

результатами впровадження заходів прагне до одиниці, то заходи є ефективними.

3. Перевірка граничних умов для виконання розрахунків з використанням виразів (14) і (16) в рамках побудови математичної моделі (7) – (18):

$$\begin{aligned} U_{EME}, Y_j, \lambda_j, T_f, V_0 &> 0, \\ 0 < P(F_i^n|E_s) &\leq 1, \\ 0 \leq P(EME)_{pr} &\leq 1. \end{aligned} \quad (19)$$

У відповідності до Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку АМП із суднами, під ризиком розуміються дії, не передбачені правилами, якими слід керуватися у визначеній несприятливій ситуації, усвідомлено розпочаті з метою запобігання або зменшення шкоди людям, судну або вантажу, яка може бути заподіяна їм, якщо в умовах конкретної небезпеки немає можливості діяти у відповідності з установленими правилами [12].

У разі впровадження заходів, спрямованих на запобігання (зниження) несприятливого ризику АМП, узагальнене значення несприятливого ризику для всіх відповідних подій становитиме

замінити завданнями на мінімум ресурсів при заданому (бажаному) значенні функціоналу. Безпосередньо в роботі для цього необхідно обчислити несприятливі ризики АМП, відсортувати і вибрати ті, які найефективніше вплинуть на зниження загально-го несприятливого ризику:

постійна процесу, що характеризує швидкість зміни процесу (підвищення безпеки судноплавства); U – витрати на забезпечення безпеки судноплавства.

За характеристику експоненціального процесу (зміна ймовірності запобігання залежно від витрат на забезпечення безпеки судноплавства) у роботі розглянуто постійну процесу, що визначає розмір вкладених коштів у забезпечення безпеки судноплавства. За підсумками цього процесу підвищення рівня безпеки, що визначається експонентою, досягає 95% рівня асимптоти ($P(EME)_{pr} \rightarrow 1$). Менше значення V_0 означає раціональне використання фінансових коштів і найбільшу ефективність СУБС морського та річкового транспорту. Постійна процесу визначається аналітично. При цьому зворотно витрати на заходи представляється як:

$$U = -V_0 \ln(1 - P(EME)_{pr}). \quad (11)$$

З метою забезпечення або підвищення безпеки судноплавства можуть розроблятися і застосовуватися різні заходи, спрямовані на усунення чинників, що безпосередньо впливають як на безпеку самого судна, так і на безпеку людини, довкілля і вантажу.

Безпосередньо формальне представлення витрат для всіх заходів може бути представлено у вигляді такого виразу (окремо для чинників n -го типу)

$$U_{EME} = -\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I V_{ois} \ln(1 - P(F_i^n | E_s)). \quad (12)$$

Зі збільшенням вкладень фінансових коштів у запобіжні заходи безпека судноплавства підвищуватиметься. Але водночас ефективність додаткових вкладень у заходи може бути нижчою, ніж у разі початкового вкладення до певного рівня $P(EME)_{pr\ opt}$. Важливо визначити таке значення $P(EME)_{pr\ opt}$, з якого ефективність вкладень буде знижуватися.

Використання економічного критерію при управлінні чинниками ризиків АМП визначається необхідністю дотримання балансу ресурсів для забезпечення безпеки судноплавства та організацію виробництва. Вирішення завдання знаходження розглянутого балансу між двома складовими можливе на підставі критерію мінімальних об'єднаних витрат, досягнення якого означає баланс розміру витрат на ліквідацію можливого збитку від АМП і на заходи, спрямовані на запобігання виникненню збитку. Відхилення від мінімальних узагальнених витрат може

$$V_{gen} = R'_q + U_{EME} = \sum_{t=1}^{Cl} \left(\sum_{j=1}^J \lambda_j \left(T_f \left(\sum_{i=1}^5 Y(F_i^1 | EME_j^t) P(F_i^1 | EME_j) \right) [1 - \prod_{i=1}^5 \prod_{s=1}^S P(F_i^1 | E_s)] + \right. \right. \\ \left. \left. + \left[\sum_{i=1}^4 Y(F_i^2 | EME_j^t) P(F_i^2 | EME_j) \right] [1 - \prod_{i=1}^4 \prod_{s=1}^S P(F_i^2 | E_s)] + \left[\sum_{i=1}^3 Y(F_i^3 | EME_j^t) P(F_i^3 | EME_j) \right] [1 - \prod_{i=1}^3 \prod_{s=1}^S P(F_i^3 | E_s)] + \right. \right. \\ \left. \left. + \left[\sum_{i=1}^4 Y(F_i^4 | EME_j^t) P(F_i^4 | EME_j) \right] [1 - \prod_{i=1}^4 \prod_{s=1}^S P(F_i^4 | E_s)] \right) \right) - \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I V_{ois} \ln(1 - P(F_i^n | E_s)). \quad (14)$$

Вираз (14) являє собою математичну модель узагальнених витрат і лежить в основі методу управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання аварійним морським подіям і зниження можливих збитків від них в СУБС на підставі критерію мінімальних узагальнених витрат.

Математична модель узагальнених витрат і критерій мінімальних узагальнених витрат працюють за умови:

$$\begin{cases} R_q, R'_q > 0; \\ 0 < P(F_i^n | E_s) < 1. \end{cases} \quad (15)$$

При цьому точка екстремуму визначається виразом:

$$P(F_i^n | E_s)_{pr\ opt} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^I V_{ois}}{R_q}. \quad (16)$$

Вид екстремуму – мінімум відповідно до виразу:

$$\sum_{i=1}^I V_{ois} \frac{1}{(1 - P(F_i^n | E_s))^2} > 0. \quad (17)$$

У загальному випадку математична модель узагальнених витрат представляється як система таких функціоналів:

$$\Phi(SUF, SCF, GM, SUD) = const. \quad (18)$$

1. Множина неконтрольованих факторів (зовнішніх впливів) SUF (set of uncontrollable factors), які об'єктивно існують та впливають на процес моделювання:

$$SUF = \{N, \{EME_j^t\}, T_o, T_f, \{Y_j\}\},$$

означати необґрунтовані витрати або недостатність ресурсів, що виділяються на забезпечення безпеки судноплавства. Розв'язання цієї задачі передбачає досягнення таких результатів:

$$\begin{cases} R_q \rightarrow \min; \\ U_{EME} \rightarrow \min. \end{cases} \quad (13)$$

При цьому пошук оптимального значення рівня безпеки судноплавства має бути виконаний з урахуванням параметра ефективності (у цьому разі ймовірності запобігання АМП), який характеризує рівень зниження неприйнятних ризиків АМП (ефективність заходів) і вартість заходів. Ймовірність запобігання АМП характеризує якість СУБС МРТ.

Певна пропорція між узагальненими витратами та ймовірністю запобігання забезпечуватиме найбільшу ефективність забезпечення безпеки судноплавства. З огляду на це, за параметр оптимізації прийнято $P(EME)_{pr\ opt}$, а за критерій оптимізації – мінімальні узагальнені витрати. Ймовірність запобігання аварійним морським подіям і мінімальні узагальнені витрати визначаються для кожного класу АМП. З цього встановлюється відповідна класифікація критеріїв мінімальних узагальнених витрат. За відомих формальних виразів вкладень у забезпечення безпеки судноплавства та несприятливого ризику реалізації АМП, узагальнені витрати визначатимуться таким виразом:

де N – кількість АМП, що відбулися за час спостереження; $\{EME_j^t\}$ – множина АМП; T_o – час спостереження аварійних морських подій (кількість років, протягом яких зафіксовано відповідну кількість АМП); T_f – час функціонування водного транспорту при безпосередньому виконанні переходу (одного рейсу); $\{Y_j\}$ – множина збитків, до яких приводять АМП.

2. Множина керованих (вхідних змінних) факторів SCF (set of controlled (input variables) factors), якими можливо управляти у ході процесу моделювання:

$$SCF = \{C, \{F_i^1\}, \dots, \{F_j^4\}, \{f_i^M\}, \{E_s\}\},$$

де $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$ – множина класів АМП; $\{\{F_i^1\}, \dots, \{F_j^4\}\}$ – множина чинників (причин) АМП; $\{f_i^M\}$ – множина гладких монотонних функцій; $\{E_s\}$ – множина заходів щодо запобігання (зниження) неприйняттого ризику; $P(F_i^n | E_s)$ – ймовірність запобігання АМП за результатами впровадження заходу, що знижує ризик подій; $P(F_i^n | EME_j^t)$ – умовна ймовірність того, що подія сталася через деякий чинник.

3. Множина засобів для моделювання GM (get the model) – математичний апарат, апаратні та програмні засоби.

4. Множина вихідних даних SUD (set of output date):

$$SUD = \{R_j(F_i^n | EME_j^t), \bar{R}_j(F_i^n | EME_j^t), R_j^t, R_q, R'_q, U_{EME}, V_{gen}\},$$

де $R_j(F_i^n | EME_j^t)$ – математичне сподівання величини збитку від небажаної події; $\bar{R}_j(F_i^n | EME_j^t)$ – математичне сподівання неприйняттого ризику аварійних морських подій; R_j^t – математичне сподівання ризику аварійних морських подій EME_j^t за всіма чинниками й очікуваним середнім збитком; R_q – узагальнене значення несприятливого ризику для всіх відповідних подій до впровадження заходів; R'_q – узагальнене значення несприятливого ризику для всіх відповідних подій у разі впровадження заходів; U_{EME} – витрати на заходи; V_{gen} – узагальнені витрати на запобігання аварійних морських подій.

Схема узагальноної математичної моделі представлена рис. 3.

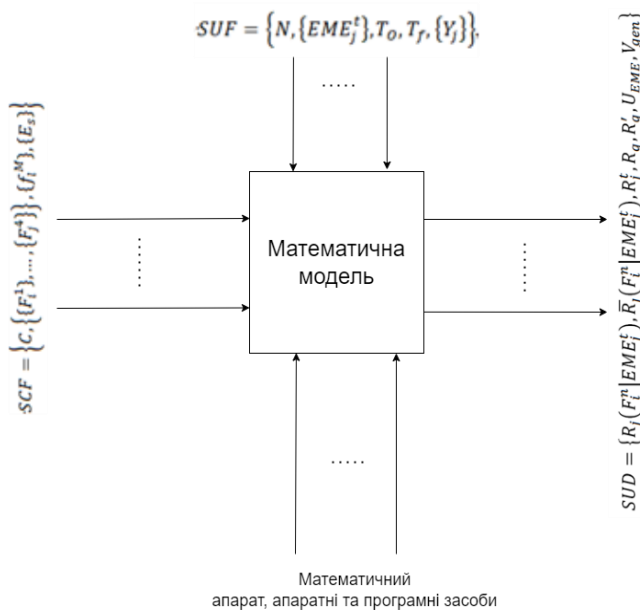


Рис. 3. Схема узагальноної математичної моделі узагальнених витрат

Виходячи з оптимального рівня ймовірності запобігання аварійних морських подій для оптимізації витрат у системі управління безпекою судноплавства МРТ, необхідно з усіх наявних вибрати заходи щодо зниження неприйнятних ризиків АМП, виходячи з таких умов:

- максимальне скорочення неприйнятних ризиків аварійних морських подій;
- узагальнені витрати не повинні перевищувати мінімальні, розраховані з використанням математичної моделі узагальнених витрат.

Ця задача є задачею лінійного програмування [14].

Як обмеження приймаються узагальнені сумарні витрати при досягненні мінімального рівня ризиків. Математична постановка задачі визначається так:

$$\begin{cases} R'_q \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^I V_{0is} \leq V_{min}, \\ V_{min} > 0. \end{cases} \quad (19)$$

За результатами розв'язання виразу (19) буде визначено оптимальний перелік заходів, що забезпечить підвищення безпеки судноплавства за мінімальних узагальнених витрат:

– Процедура визначення оптимальних ймовірностей запобігання аварійних морських подій $P(F_i^n | E_s)_{pr\ opt}$ (вираз (16)), узагальнених витрат V_{gen} (вираз (14)) та мінімальних витрат V_{min} , що відповідають оптимальній ймовірності запобігання АМП $P(F_i^n | E_s)_{pr\ opt}$.

– Процедура формування переліку заходів, що знижують ризик аварійних морських подій, вжиття яких забезпечує мінімальні узагальнені витрати та найбільше скорочення ризиків (вираз (18)).

– Формування звіту з вихідними даними, в якому містяться результати виконання четвертого і п'ятого етапів методу, а також додаткова інформація, необхідна для прийняття рішення з управління чинниками ризиків на підставі критерію мінімуму узагальнених витрат.

Враховуючі, що окремі чинники у системі управління безпекою судноплавства можуть змінюватися, а також можуть з'являтися нові чинники, необхідно проводити переоцінку та обробку ризиків у СУБС протягом усього життєвого циклу МРТ для своєчасного та ефективного визначення витрат на запобігання аварійних морських подій і зниження можливих збитків від них.

Висновки

Таким чином, в статті виконано формальне представлення несприятливого ризику виникнення аварійних морських подій з урахуванням не тільки чинників, що впливають на безпеку судноплавства, але й очікуваного середнього збитку. Виконано формальне представлення запобігання аварійних морських подій з урахуванням основних чинників і впровадження заходів щодо зниження несприятливих ризиків аварійних морських подій. Якщо ймовірність запобігання аварійних морських подій за результатами впровадження заходів щодо зниження несприятливих ризиків аварійних морських подій дорівнює нулю, то заходи є неефективними, і подія реалізується.

Якщо ймовірність запобігання аварійній морській події за результатами впровадження заходів прагне до одиниці, то заходи є ефективними. Виконано визначення несприятливого ризику аварійних морських подій з урахуванням їх запобігання (зниження).

При цьому формалізовано підходи до розрахунку несприятливого ризику аварійних морських подій, що враховують усі класи, інтенсивності, збитки, чинники (причини) подій і ймовірність запобігання при дискретному розподілі збитків.

Запропоновано математичну модель визначення узагальнених витрат, що знижують несприятливий ризик аварійної морської події, яка, на відміну від існуючих, враховує дуже серйозні аварії та серйозні аварії, інтенсивність потоку аварійних морських подій, збитки, ймовірність запобігання подіям

та дозволяє визначити цільовий рівень підвищення безпеки судноплавства за мінімальних сумарних витрат.

Розглянуто метод управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання виникнення аварійних морських подій (дуже серйозних або серйозних аварій) і зниження потенційних збитків від них в системі управління без-

пекою судноплавства, в якому, на відміну від відомих, враховуються всі заходи щодо запобігання або зниження несприятливих ризиків виникнення аварійних морських подій з морським або річковим, що дозволяє забезпечити мінімальні витрати на запобігання ризикам виникнення аварійних морських подій і зниження потенційного збитку від них.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аварії та інциденти на морському та річковому транспорті за 2018 рік. Офіційний сайт Укртрансбезпеки / Аналіз аварійності. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/avariyi-ta-incydynty-na-morskomu-ta-richkovomutransporti-za-2018-rik>.
2. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 1 півріччя 2019 року з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-4-avariynosti-za-2-kv-2019.docx>.
3. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 2019 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynostiza-2019.pdf>.
4. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за 2020 рік з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit_2020.pdf.
5. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна за перше півріччя 2021 року з наростаючим підсумком. Офіційний сайт Морської адміністрації України. URL: https://data.gov.ua/dataset/cf069d00-9793-4974-9367-d39796282a59/resource/f9fa8a7c-74eb-4e62-ae62-7bcef5a02e/download/zvit_1pivrich_2021.pdf.
6. Топалов В. П. Риски в судоходстві / В. П. Топалов, В. Г. Торський. — Одеса: Астропринт, 2007. — 368 с.
7. Kristiansen S. Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis / S. Kristiansen. — Elsevier, 2010. — 508 p.
8. Gucma M. Combination of processing methods for various simulation data sets / M. Gucma // TransNav. — 2008. — № 2(1). — P. 11–15.
9. Kobyliński L. Risk analysis and human factor in prevention of CRG casualties / L. Kobyliński // TransNav. — 2009. — № 3(4). — P. 443–448.
10. Yin J. Quantitative Risk Assessment for Maritime Safety Management / PhD thesis. Hong Kong Polytechnic University. — 2011. <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/>
11. Торський В. Г., Топалов В. П. Воспитание «культуры безопасности» курсантов в процессе обучения // Морское обозрение. — 2008. — 1Е4(18). — С. 12-16.
12. Махмурова-Дишлюк О. П. Безпека судноплавства як важлива умова охорони людського життя / Махмурова-Дишлюк О. П. // Юридичний вісник. — 2016. — № 3 (40) — С. 11-16.
13. Кох, Ричардгуен Принцип 80/20 [пер. с англ.] — М., Эксмо, 2012. — 443 с.
14. Ашманов С.А. Линейное программирование — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981 — 340 с.
15. Загородня Ю. В. Мінімізація комерційних витрат морських перевезень шляхом підвищення безпеки мореплавства. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. № 4. Том 2. С. 97–100.

Received (Надійшла) 11.12.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.02.2023

Method of unacceptable risks management for determination of costs for prevention of maritime accidents and reduction of potential losses from them in the system of navigation safety management

Anna Boiko, Viktor Yarmak

Abstract. The article considers the method of unacceptable risks management for determining the costs of preventing the occurrence of maritime accidents (very serious or serious accidents) and reducing the potential damage from them in the navigation safety management system, which takes into account all measures to prevent or reduce the adverse risks of maritime accidents with sea or river, which allows to ensure the minimum costs of preventing the risks of maritime accidents and reducing the potential damage from them. A mathematical model for determining the generalized costs that reduce the adverse risk of a maritime accident has been improved, which considers very serious accidents and serious accidents, the intensity of the flow of maritime accidents, losses, the probability of preventing events and allows to determine the target level of improving the safety of navigation at the minimum total cost. At the same time, a formal representation of the adverse risk of occurrence of maritime accidents was performed, considering not only the factors affecting the safety of navigation, but also the expected average damage. Formal representation of prevention of maritime accidents considering the main factors and implementation of measures to reduce the adverse risks of maritime accidents was performed. The definition of adverse risks of maritime accidents considering their prevention (reduction) is performed.

Keywords: method, risk, maritime accident, maritime and river transport, risk, damage, probability, factor, navigation safety management system.