

УДК 656.61.052

DOI: 10.18372/0370-2197.2(99).17631

К. М. КЛЕВЦОВ, А. В. БУКЕТОВ, О. В. ШАРКО, О. О. САПРОНОВ

Херсонська державна морська академія, Херсон

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ У МОРСЬКИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

У роботі наведено методика розрахунку ризиків на основі використання моделі безпечності перевезення вантажів різноманітними видами, у тому числі й морського, транспорту та загальної моделі сценарію розвитку надзвичайних ситуацій. Розглянута теорія статистичних рішень призначена для вироблення рекомендацій щодо раціонального застосування дій в умовах невизначеності та пов'язаного з нею ризику. Враховуючи, що аварійність і ризик виникнення надзвичайних ситуацій мають яскраво виражений випадковий характер, для оцінки ризиків використовують методи теорії ймовірності та математичної статистики. Тому у статті розглянуто питання аварії транспортних засобів і пов'язані з цим випадки втрати/псування вантажу, які відносяться до рідкісних подій, що розподіляються за законом Пуассона. Прогнозовані оцінки ймовірності відмови технічних засобів можуть бути визначені з використанням теорії марковських процесів. Практичне використання методики інтегральної оцінки ризику дозволяє вже на етапі початкового проектування транспортно-технологічних схем морських вантажних перевезень оцінити альтернативні варіанти за критеріями ризику та розробляти заходи щодо зниження рівня ризику з метою підвищення безпеки перевезень та збереження вантажів. При цьому ризики оцінюються не лише за нормальних умов виконання перевезень, а й у випадках виникнення аварій, що є обов'язковою умовою при виборі методів та засобів для мінімізації збитків й негативних наслідків аварій та катастроф. Також наведено результати дослідження стосовно розробки, розвитку та вдосконалення методики інтегральної оцінки ризиків та способів управління ними у надзвичайних ситуаціях для підвищення безпеки морських вантажних перевезень.

Ключові слова: аварійні ситуації, інтегральна оцінка, логістичний аналіз, морські вантажні перевезення, транспортні засоби, логістика.

Вступ. В історії розвитку транспорту питання безпеки завжди мали першочергове значення. Зокрема, на морському транспорті бурхливий розвиток отримали системи супутникової навігації, радіолокаційні та гідроакустичні системи, удосконалюються засоби порятунку людей на морі та ін. Міжнародна морська організація розробила комплекс документів та рекомендацій щодо безпеки (Міжнародний кодекс управління безпекою – МКУБ, Формальна оцінка безпеки та ін.), завдяки чому підвищується рівень професійної підготовки морських спеціалістів. Однак, аварійність на морському флоті все ще залишається високою і суттєво не знижується. Аналіз практики підготовки та виконання морських перевезень показує, що планування перевезення вирішується традиційними методами, а при розробці транспортно-логістичних систем питання оцінки та управління ризиками належного наукового забезпечення не отримали.

Транспорт впливає на розвиток виробничої та будівельної галузей, торгівлі та управління нерухомістю, сільського господарства та науки, а також цілого ряду інших галузей, сталий розвиток яких залежить від наявності надійного та дешевого транспорту. Водночас на сьогодні як ніколи є актуальними проблеми безпеки. Саме тому на державному рівні розробляються законодавчі акти, що визначають правові основи безпеки вантажних перевезень на всіх видах

транспорту, а також діяльності людини. У численних дослідженнях, присвячених надійності та безпеці вантажоперевезень наголошується, що безпека є особливою при проектуванні технологічних процесів, яку не слід змішувати із надійністю.

Аналіз проблем безпеки морських вантажоперевезень показує, що рівень аварійності морського флоту залишається високим, особливе занепокоєння викликає високий рівень ризику загибелі суден, що зумовлено багатьма факторами природного, техногенного та організаційно-управлінського характеру. Однак, у практиці мореплавання питанням кількісної оцінки ризиків та управління ризиками не приділяється належної уваги.

Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій. Забезпечення безпеки на транспорті є одним із пріоритетних завдань. Виникнення надзвичайних ситуацій у процесі переміщення вантажів/пасажирів у часі та просторі відбувається внаслідок негативного впливу різних факторів, тому актуальним є завдання запобігання їх впливу або зниження їхнього негативного впливу. У процес морських перевезень залучено, зазвичай, кілька видів транспорту, технологічних ліній, засобів малої механізації, фахівців різних напрямів. Для виконання перевезень необхідно реалізувати багато видів діяльності, серед яких важливе значення має проектування транспортно-логістичних систем доставки вантажів. Важливим розділом проєктів транспортно-логістичних систем є опрацювання питань забезпечення безпеки [1-4].

Збільшення кількості суден світового торгового флоту, їхнього тоннажу та швидкості значно підвищило інтенсивність судноплавства, а разом з цим і аварійність. За умовами плавання транспортні судна перебувають у портових водах близько 10 % експлуатаційного часу. При цьому понад 80% аварій та аварійних випадків із суднами припадає саме на них [5, 6]. Незважаючи на оснащення суден новітніми інтегрованими навігаційними та енергетичними комплексами й установками, покращення берегового обслуговування та якості підготовки екіпажів, аварійність суден у портових водах домінує.

Основною причиною виникнення таких ситуацій є «людський фактор», який недостатньо досліджений і знаходиться на стадії розвитку. По-перше, це стосується адекватних дій операторів складних систем під час перебування у неадекватних (надзвичайних та аварійних) умовах експлуатації транспортного засобу. У цьому сенсі актуальними стають дослідження гармонізації взаємодії між явищами, процесами, механізмами і системами, якими управляють судові оператори. Особлива увага приділяється підвищенню безпеки експлуатації суден методами управління подіями під час підготовки екіпажів суден у круїнгових компаніях. Такі дослідження дозволяють отримати методики та обґрунтовані рекомендації для безпечної експлуатації суден, розробити відповідні посібники, паспорти, чек-листи, які використовуються у підготовці та оцінці компетентності операторів, що керують експлуатацією, і тим самим знизити рівень аварійності.

Мета. Основна мета наведеної статті полягає у розробці, розвитку та вдосконаленні методики інтегральної оцінки ризиків та способів управління ними у надзвичайних ситуаціях для підвищення безпеки морських вантажних перевезень.

Додатково було визначено та систематизовано структуру факторів ризику надзвичайних ситуацій у морських вантажних перевезеннях та розроблено методику інтегральної оцінки ризиків надзвичайних ситуацій, критерії оцінки ефективності та безпеки транспортно-логістичних систем морських вантажних перевезень.

Викладення основного матеріалу та обговорення результатів дослідження. Методика розрахунку ризику будується на основі використання статистичної моделі безпеки перевезень різними видами транспорту та загальної моделі сценарію розвитку надзвичайних ситуацій (рис. 1). Аналіз статистичних даних дозволяє визначити тип потоку випадкових подій, рівняння тренду та вибрати конкретну модель, що описує стан безпеки руху за допомогою отримання кількісних оцінок показників ризику.

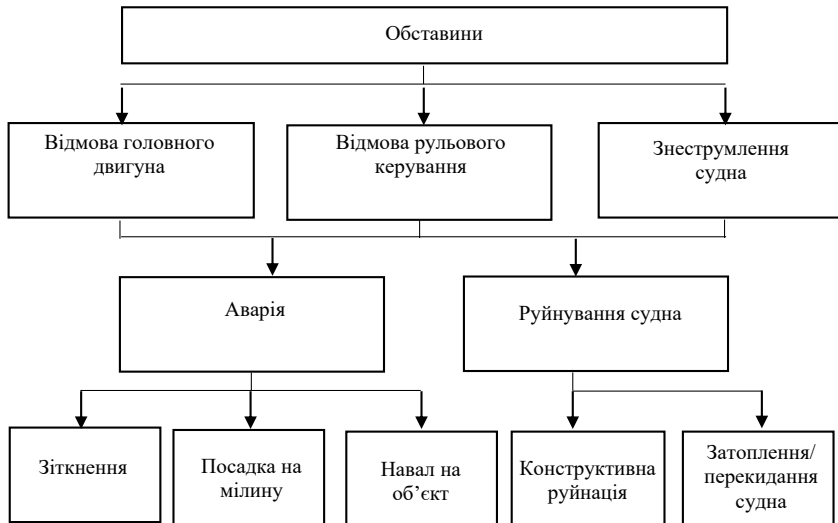


Рис. 1. Обставини розвитку сценарію аварійної ситуації

Теорія статистичних рішень може бути застосована у даному випадку для вироблення рекомендацій щодо раціонального передбачення дій в умовах невизначеності та пов'язаних з нею ризиків. У цьому контексті мають справу з об'єктивними обставинами – природними аномаліями. У цих випадках припустити можливий розвиток подій практично неможливо. Саме це посилює невизначеність ситуації, посилює ризик і тим самим ускладнює ухвалення рішення.

Враховуючи, що аварійність і ризик виникнення надзвичайних ситуацій мають яскраво виражений випадковий характер, для оцінки ризику використовують методи теорії ймовірності та математичної статистики [1-3]. Необхідно відзначити, що при дослідженнях аварійності в різних галузях технічні підходи до оцінки ризику можуть бути різними. Серед найпоширеніших [4-8]:

- подання аварій та надзвичайних ситуацій у вигляді потоку випадкових подій, що дозволяє прогнозувати стан системи на основі використання теорії Марковських процесів (оскільки аварія – це складний ергодичний процес);
- метод оцінки ризику аварій, заснований на припущенні існування допустимих і небезпечних значень параметрів досліджуваних технологічних процесів, тобто – ймовірність надзвичайних ситуацій інтерпретується як параметрична відмова системи.

Головний недолік експертних оцінок – неможливість визначення рівня ризику. Саме імовірнісні методи не тільки дозволяють визначити ступінь ризику, але й надати досить точний прогноз.

Основними завданнями оцінки ризику аварій на транспорті є:

- оцінка частот (середньорічних ймовірностей) виникнення та розвитку аварій на транспорті за всіма основними сценаріями;

– оцінка наслідків виникнення та розвитку основних сценаріїв аварій на транспорті;

– узагальнення отриманих оцінок.

У практиці вантажоперевезень зустрічаються ситуації, коли кількість рейсів, що виконуються флотом/або іншим транспортом, досить велика, а ймовірність аварії, псування або втрати вантажу мала – це, так звані, рідкісні події. У випадках, коли ймовірність рідкісних подій незначна, їх описують розподілом Пуассона [2].

Таким чином, аварії транспортних засобів і пов'язані з цим випадки втрати/псування вантажу відносяться до рідкісних подій, які розподіляються за законом Пуассона. Справді, ймовірність аварії окремого транспортного засобу (наприклад, судна) впродовж порівняно невеликого інтервалу часу, наприклад, 1 місяця, мала, при цьому кількість суден велика, тоді в середньому в цьому інтервалі часу може статися деяка кількість аварій. Якщо вважати, що аварія одного судна не виключає ймовірність аварії іншого судна, можна стверджувати, що аварійність підлягає розподілу Пуассона.

Численні експерименти та використання статистичних даних (рядів динаміки), які проводять на сьогодні, показують, що за наявною статистичною інформацією про аварії на транспорті реально можливо оцінити тільки відповідність показників стану безпеки руху за експоненційним або пуассонівським законом розподілу з постійною і змінною інтенсивністю подій [1-3]. Система статистичних даних про аварії, марковані за часом, розглядається як одна реалізація якогось абстрактного пуассонівського процесу [2].

Розглянемо стаціонарний пуассонівський потік подій з ймовірністю, що у відрізку часу t настане рівно k подій. Тоді ймовірність можна розрахувати за такою формулою:

$$P_m(k) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}. \quad (1)$$

Тоді статистична модель безпеки вантажоперевезень має вигляд:

$$P\{X(t, \tau) = k\} = \frac{a^k e^{-a}}{k!}, \quad (2)$$

де P – ймовірність появи події; m – кількість випробувань, од.; $X(t, \tau)$ – функція кількості випадкових небезпечних подій; k – кількість небезпечних випадкових подій впродовж розглянутого часу; $a = \lambda \tau$ – параметр, що залежить від інтервалу часу та кількості небезпечних випадкових подій; λ – інтенсивність потоку небезпечних подій; τ – аналізований інтервал часу (розмірність вибирають для конкретної задачі).

Формула (2) використовується у випадках, коли кількість випробувань велика, а ймовірність появи події P у кожному випробуванні дуже мала, що відповідає даним аварійної статистики на транспорті.

Оскільки загальний потік небезпечних подій на транспорті складається з приватних потоків випадкових подій з низки причин (на різних етапах вантажоперевезень), стає можливим використання фундаментального положення теорії потоків. Сума незалежних пуассонівських потоків є також пуассонівським потоком.

При розробці методики оцінки ризику для морських суден приймали такі припущення:

1. Виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій відбувається за сценарієм, який наведено на рис. 1.

2. Аварійні події виявляються у вигляді двох груп послідовних подій A_j^l і B_j .

3. Група початкових подій A_j^l є небезпечними; відмови j -го виду ($j=1, 2, \dots, J$) l -го класу ($l=1, 2, \dots, L$) відмов об'єктів технічної системи морського транспорту є причиною зіткнень суден та їх посадки на мілину; події A_j^l є повною групою несумісних подій.

Іншими словами, тільки одна подія A_j^l може бути в рейсі причиною зіткнення, затоплення, посадки на мілину під час руху суден.

4. Події B_i другої групи є спільними, одна з яких виникає з певною ймовірністю після настання події A_j^l і виявляється як зіткнення, посадка на мілину судна в рейсі з i -м видом наслідків (B_1 – аварія; B_2 – зіткнення; B_3 – посадка на мілину).

Тоді ймовірність появи події A_j^l ($j=1, 2, \dots, J$), ($l=1, 2, \dots, L$) з повної групи несумісних подій набуде вигляду [2]:

$$P(A_i^l) = \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l} / \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l} \quad , \quad (3)$$

де $N_{B_i|A_j^l}$ – загальна кількість аварійних випадків на одиницю часу з i -м і j видом наслідків через j -й вид небезпечної відмови l -го класу об'єктів морських суден (кількість подій B_i/A_j^l) за прийнятий проміжок часу.

Ймовірність виникнення відмови j -го виду з i -ю відмовою $P(A_{ji}^l)$ можна розрахувати, як середньостатистичну, з відношення кількості суден/транспортних засобів, які зазнали аварії внаслідок відмови j -го виду з i -ю відмовою в районах плавання l до загальної кількості суден/транспортних засобів, що перебувають в цих районах [2, 8]:

$$P(A_{ji}^l) = \frac{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}}{\sum_l N_l} \quad . \quad (4)$$

Вагові оцінки відмов j -го виду з i -ю відмовою у районах плавання l розраховують за формулою [2]:

$$\omega(A_{ji}^l) = \frac{\sum_l N_{jil}}{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}} \quad . \quad (5)$$

Прогностичні оцінки ймовірності відмови технічних засобів можна визначити з допомогою теорії Марковських процесів [9].

Загальна інтенсивність виникнення подій за годину рейсу судна [6, 7]:

$$\lambda_{N_{B_i|A_j^l}} = \frac{Z(N_{B_i|A_j^l})}{T} \quad , \quad (6)$$

де $Z(B_i/A_j^l)$ – загальна середня кількість подій, що припадають на одне судно за прийнятий (аналізований) проміжок часу; T – середній час рейсу судна за прийнятий проміжок часу.

Рівні безпеки руху суден на різних ділянках плавання сильно відрізняються. Очевидно, що й оцінка аварійного ризику під час руху судна за певним маршрутом має залежати від стану безпеки саме на цьому маршруті.

Для оцінки інтенсивностей виникнення подій B_i/A_j^l , що припадають на годину рейсу судна за m -м маршрутом, використовують співвідношення [7]

$$\lambda_{N_{B_i|A_j^l}}^m = \mu_m \cdot \lambda_{N_{B_i|A_j^l}} \quad , \quad (7)$$

де μ_m – показник безпеки руху за m -м маршрутом, що визначають за формулою:

$$\mu_m = \frac{M g_m}{\sum_{m=1}^M g_m}, \quad (8)$$

де $g_m = n_m^k / g_m^k$ – середнє значення інтегрального показника безпеки руху на m -му маршруті за аналізований період; n_m^k – кількість випадків зіткнень на m -му маршруті за k років; g_m^k – обсяг рятувальних робіт, що проводяться на m -му маршруті морського перевезення за k років (млрд. т-км брутто); M – кількість варіантів маршрутів на морському транспорті.

Виходячи з припущення, що ймовірність того, що за час $t \leq T$ (t – момент часу при русі маршрутом, T – час руху по всьому маршруту) руху судна за певним маршрутом не станеться подія B_i / A_j^l , яка не залежить від передісторії функціонування морського транспорту, можна отримати такі формули для розрахунку (загального) аварійного ризику виникнення подій B_i / A_j^l , $B_i (B_i = Y_{j=1}^j B_i / A_j^l)$ і $(B_i = Y_{j=1}^j B_i)$ за час $t \leq T$ руху судна [7]:

$$\begin{aligned} R(N_{B_i} | A_j^l) &= 1 - \exp(-\lambda_{N_{B_i} | A_j^l} T), \\ R(B_i) &= \sum_{j=1}^j P(A_j^l) \cdot R(N_{B_i} | A_j^l), \\ R(B) &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^j P(A_j^l) \cdot R(N_{B_i} | A_j^l). \end{aligned} \quad (9)$$

Ймовірності $P(A_j^l)$ є суб'єктивними апіорними ймовірностями, оскільки причина зіткнень суден A_j^l встановлюється шляхом експертних оцінок під час службового розслідування обставин аварійної ситуації з судном.

Тому групу подій можна сприймати як групу «гіпотез», які породжують події B_i . Застосовуючи теорему Байеса, виходячи з формули множення ймовірностей отримаємо ймовірності [2, 7]:

$$P(N_{B_i} | A_j^l) = \frac{P(A_j^l) \cdot P(B_i | A_j^l)}{\sum_{j=1}^j \sum_{l=1}^L P(A_j^l) \cdot P(B_i | A_j^l)}, \quad (10)$$

де $P(A_j^l)$ – ймовірнісні гіпотези A_j^l ; $P(B_i | A_j^l)$ – умовні ймовірності події B_i при гіпотезі $P(A_j^l)$.

Розрахувавши значення $P(B_i | A_j^l)$, можна визначити максимальне значення ймовірності, тобто визначити, які події A_j^l із максимальною ймовірністю призводять до події B_i . Ймовірності, які розраховуються за формулою (10), можна інтерпретувати як апостеріорну (з урахуванням результатів натурного експерименту) ймовірність того, що події l породжують саме події B_i . Знайшовши максимум ймовірності $A_j^l | B_i$, тим самим можна встановити, які події A_j^l з максимальною ймовірністю призводять до виникнення подій B_i .

Аварійний ризик виникнення подій B_i / A_j^l , B_i і B під час руху судна за конкретним маршрутом (по ділянках маршрутів m_1, m_2, \dots, m_i за час $t \leq T m_1 + T m_2 + \dots + T m_i$, де m_i – деякі числа інтервалу від 1 до M) можна розрахувати за формулами [7]:

$$R_M(B_i | A_j^l) = 1 - \exp\left(-\sum_{m_i} \lambda_{B_i | A_j^l}^{m_i} T m_i\right), \quad (11)$$

$$R_M(B_i) = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J R_M(B_i|A_j^l), \quad (12)$$

$$R_M(B) = \sum_{i=1}^3 R_M(B_i). \quad (13)$$

Інтенсивність виникнення аварій за період T з причин відмов, важких погодних умов, форс-мажорних обставин можна розрахувати, використовуючи статистичні дані для кожного потенційно небезпечного району l за формулою:

$$\gamma(B_i|A_j^l) = \frac{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}}{T_l}. \quad (14)$$

Відповідно з розрахунку на одне судно, що проходить по районах l :

$$\gamma(B_i|A_j^l) = \frac{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}}{T_l \sum_l S_{lT}}, \quad (15)$$

де $\sum_l S_{lT}$ – кількість суден, що проходять через райони l за час T .

Тоді ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій та аварії (величина аварійного ризику) може бути розрахована за формулами, наведеними у роботі [7]:

$$R(B_i|A_j^l) = 1 - \exp(-\gamma(B_i|A_j^l) T_l), \quad (16)$$

$$R(B_i) = \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l), \quad (17)$$

$$R(B) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^J P(A_j^l) \cdot R(B_i|A_j^l). \quad (18)$$

Величина ризику аварій R_i^l може бути розрахована як добуток ймовірності аварії $P(B_i|A_j^l)$ на величину передбачуваної відмови $\int W_i^l$ (функцію відмови у випадку однієї одиниці транспорту/судна) [7]:

$$R_i^l = P(B_i|A_j^l) \int W_i^l dl. \quad (19)$$

Отже, наведена методика розрахунку ймовірностей ризику виникнення надзвичайних ситуацій та аварій становить основний базис для формування інтегральних оцінок ризиків.

Розглянемо основні групи чинників, що впливають на процес логістичного ланцюжка перевезення вантажів. На рис. 2 наведено причино-наслідкові зв'язки, які потенційно впливають на створення аварійних ситуацій під час перевезення різних вантажів. Диференціацію чинників, що породжують ризики, було виконано з урахуванням експертних оцінок аналізу аварійності. Розглянемо основні фактори ризиків (рис. 2), які можуть виникнути в процесі перевезень по маршруту.

Склад відправника.

Логістичні фактори – розрахунок завантаження товару у контейнер залежно від специфікацій; підготовка необхідних документів для ЗЕД операцій; підготовка та відбір контейнера для транспортування.

Фактори впливу – справність вантажно-розвантажувального обладнання; кваліфікація обслуговуючого персоналу; наявність відповідних контейнерів для транспортування товару.

Ризики – нестача, пошкодження (псування) вантажу; прострочення у доставці вантажу; затримка у видачі вантажу.

Авто/ЗД транспортування.

Логістичні фактори – аналіз варіантів та вибір рухомого складу; вибір оптимального маршруту; підбір оптимальної ціни; контроль на шляху прямування зі складу до порту; усунення непередбачених ситуацій.

Фактори впливу – порушення технології експлуатації, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу; помилки професійного відбору та неякісне навчання фахівців, погіршення їхнього психофізіологічного стану; низький рівень технологічної дисципліни; неправильні дії перевізника щодо порушення правил перевезення вантажів; старіння парку автотранспортних засобів; руйнування системи планово-попереджувального ремонту та технічного обслуговування.

Ризики – втрата вантажу; недостача, пошкодження (псування) вантажу; прострочення у доставці вантажу; затримка у видачі вантажу; необґрунтована сплата штрафів; пошкодження контейнерів тощо; зіткнення поїзда з іншим поїздом; сходження поїзда з рейок; заподіяння транспортним засобом та/або вантажем шкоди третім особам; митні ризики; ризик потрапляння у дорожньо-транспортну пригоду; ризики, пов'язані з шахрайством експедитора чи перевізника.

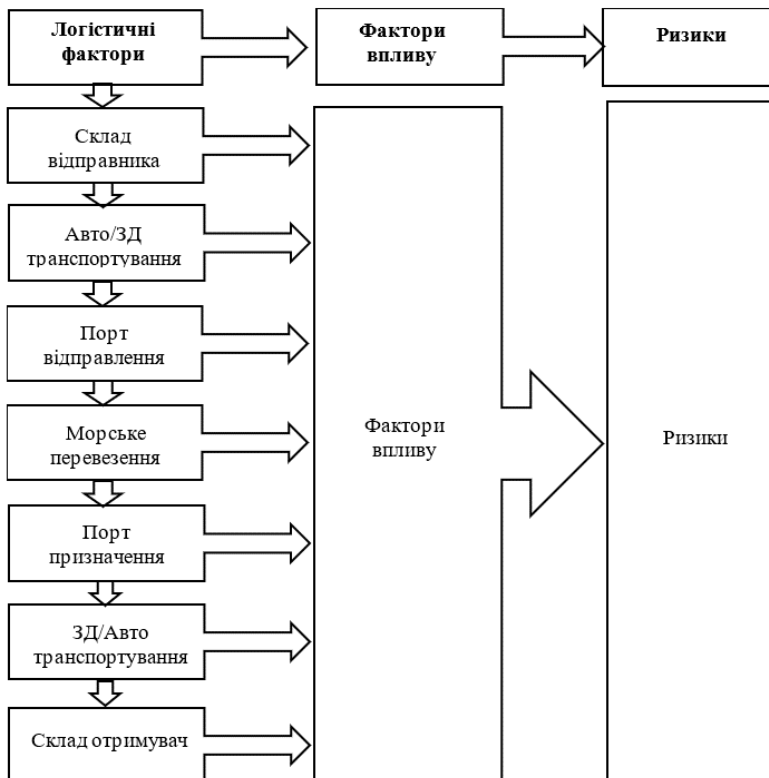


Рис. 2. Причинно-наслідкові зв'язки, які потенційно впливають на створення аварійних ситуацій

Порт відправлення.

Логістичні фактори – експедирування контейнера в порту; митне оформлення; консолідація коносаментної партії; підготовка документів на партію товару для покупця.

Фактори впливу – збій роботи логістичних служб; бюрократичні перешкоди із боку державної влади.

Ризики – прострочення у доставці вантажу; затримка у завантаженні вантажу; необґрунтована сплата штрафів.

Морське перевезення.

Логістичні фактори – аналіз лінійного сервісу на необхідному напрямку (час/вартість/сервіс); вибір найкращої контейнерної лінії на заданому маршруті; бронювання місць на запланованому судні; відстеження руху контейнера до розвантаження у порту призначення.

Фактори впливу – гідрометеорологічні умови, район плавання; навігаційне та гідрографічне оснащення судна, його вік, техніко-експлуатаційні характеристики; характер вантажу, що перевозиться; порушення міжнародних правил запобігання сутичкам судів, трудової дисципліни.

Ризики – втрата, ушкодження (псування, підмочення) вантажу; невчасність доставки через несприятливі погодні умови; загибель (пошкодження) судна; втрата морехідних якостей судном; загибель (заподіяння шкоди здоров'ю) суднового персоналу; забруднення морського середовища.

Порт призначення.

Логістичні фактори – контроль прибуття партії контейнерів до порту призначення; експедирування контейнера в порту; митне оформлення; планування з одержувачем доставки контейнерів на склад.

Фактори впливу – збій роботи логістичних служб; бюрократичні перешкоди з боку державної влади; неадекватні дії одержувача вантажу.

Ризики – пошкодження (псування), втрата вантажу; прострочення у доставці вантажу та видача вантажу неправомочній особі; митні ризики; необґрунтована сплата штрафів.

ЗД/Авто транспортування.

Логістичні фактори – аналіз варіантів та вибір рухомого складу; вибір оптимального маршруту; підбір оптимальної ціни; контроль по дорозі з порту складу; усунення непередбачених ситуацій.

Фактори впливу – порушення технології експлуатації, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу; помилки професійного відбору та неякісне навчання фахівців, погіршення їхнього психофізіологічного стану; низький рівень технологічної дисципліни; неправильні дії перевізника щодо порушення правил перевезення вантажів; старіння парку автотранспортних засобів; руйнування системи планово-попереджувального ремонту та технічного обслуговування; неефективність системи технічного огляду; бюрократичні перешкоди із боку державної влади.

Ризики – втрата вантажу; недостача, пошкодження (псування) вантажу; прострочення у доставці вантажу; затримка у видачі вантажу; необґрунтована сплата штрафів; пошкодження вагонів, контейнерів тощо; зіткнення поїзда з іншим поїздом; сходження поїзда з рейок; заподіяння транспортним засобом та/або вантажем шкоди третім особам; митні ризики; ризик потрапляння у

дорожньо-транспортну пригоду; ризики, пов'язані з шахрайством експедитора чи перевізника.

Склад отримувача.

Логістичні фактори – контроль за розвантаженням товару; завершення документального оформлення перевезення; здавання порожнього контейнера на склад судноплавної лінії.

Фактори впливу – справність вантажно-розвантажувального обладнання; кваліфікація обслуговуючого персоналу; наявність вільних складських приміщень.

Ризики – нестача, пошкодження (псування) вантажу; прострочення у доставці вантажу; затримка у видачі вантажу.

З різноманіття ризиків, які найчастіше зустрічаються в мультимодальних перевезеннях, можна виділити три основні групи:

- 1) ризики руйнування транспортного засобу та втрати вантажу;
- 2) ризики аварій та аварійних пригод, які не спричинили втрату транспортних засобів та вантажу;
- 3) ризики відмови технічних засобів, які забезпечують перевезення та збереження вантажів.

За підсумками аналізу великої кількості (понад 1500) аварій морських суден і наземних транспортних засобів можна дійти невтішного висновку, що у загальному вигляді сценарій аварійної ситуації розвивається за схемою, наведеною на рис. 3.

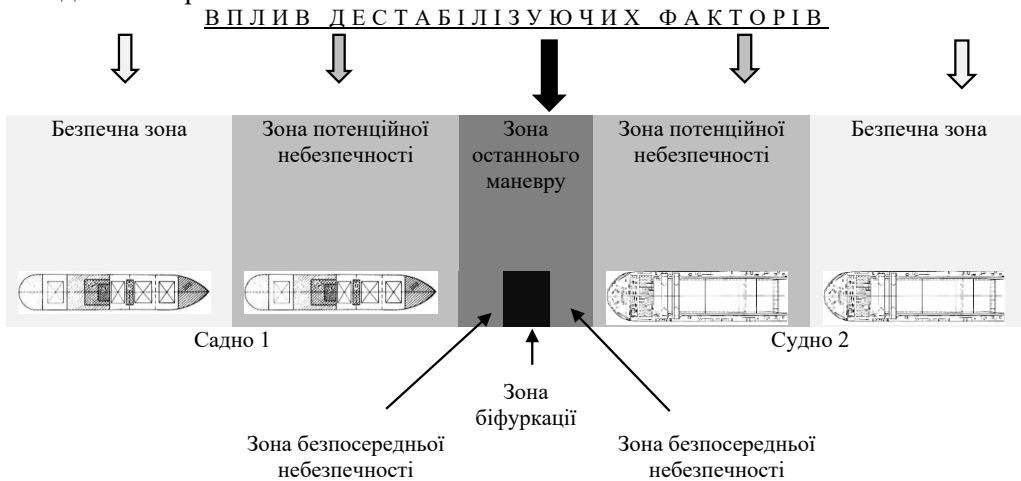


Рис. 3. Узагальнена схема розвитку сценарію аварійної ситуації

Обставини у даному дослідженні – це умова чи сукупність умов, які безпосередньо чи опосередковано можуть сприяти виникненню аварійної ситуації чи безпосередньо бути причиною аварії. Наприклад, знеструмлення судна, що йде за фарватером, часто є причиною виникнення аварійної ситуації та аварії.

У певних умовах може виникнути ситуація відсутності необхідної інформації про погоду, наближення урагану, цунамі тощо. У таких випадках причиною виникнення аварійної ситуації можуть бути важкі погодні умови, внаслідок чого судно може втратити керування, бути посадженим на рифи та конструктивно зруйнуватись.

Отже, обставини/умови породжують ризики відмов, помилок, виникнення

непереборних сил природи, що стає причиною аварій (зіткнень, посадки на мілину, загибелі судна та втрати вантажу).

Аналіз аварій, надзвичайних ситуацій наземного транспорту (автомобільний, залізничний), що перевозить різні вантажі, показує, що сценарій розвитку надзвичайних ситуацій/аварій може відрізнятись від викладеного лише в незначних деталях. Отже, таке уявлення сценарію розвитку надзвичайних ситуацій та аварій можна використовувати як загальну модель при розрахунку інтегральної оцінки ризику виникнення аварійних надзвичайних ситуацій у процесі морських вантажних перевезень. Отримавши інформацію про ймовірність настання несприятливої події та дізнавшись про можливі наслідки ризикового випадку, фахівець може оцінити ризик.

У табл. 1 [9] подано ідентифікацію ризиків, що можуть виникнути у процесі доставки вантажу з українських портів (морська складова).

Таблиця 1

Ідентифікація ризиків морських перевезень портами України

Компоненти	Складові
Зовнішні та внутрішні умови перевезень	Район плавання, погодні умови, правові обмеження, техніко-технологічні можливості та обмеження тощо.
Можливі небезпеки	Навігаційні, гідрологічні, метеорологічні, стислість акваторій та інтенсивність руху суден.
Події, що провокують	Зовнішні дії (вітер, течії, тумани, щільність руху суден). Людський фактор.
Надзвичайні ситуації	Посадка на мілину. Зіткнення. Пожежі, вибухи. Нещасні випадки з людьми.
Втрати	Ушкодження судна, споруд у порту, навігаційних огорож. Втрати судна та фрахту. Нещасні випадки з людьми. Забруднення навколишнього середовища. Економічні.
Запобіжні заходи	Якісна підготовка машин та механізмів, суднових систем та судна загалом до виконання рейсу. Прогнозування майбутніх умов та поведінки судна в екстремальних умовах, оцінка можливих варіантів дій щодо зниження ризиків. Перевірка якості та кількості бункера, технічного постачання. Підготовка екіпажу до боротьби за живучість. Перевірка рівня професіоналізму екіпажу.
Методи та засоби мінімізації втрат	Підвищення рівня готовності екіпажу до дій у екстремальних ситуаціях. Забезпечення готовності до використання протипожежних систем та переносних засобів. Розробка варіативних планів дій у випадках пожежі та затоплення відсіків. Тренінг екіпажу по залишенню судна.

Наступним етапом застосування підходу, що розробляється, до інтегральної оцінки ризиків надзвичайних ситуацій при морських перевезеннях є визначення вагових оцінок кожного виду аварії, яка може виникнути у разі настання ризикової події, а також визначення коефіцієнта аварійності.

Для того, щоб визначити вагові оцінки, необхідно знати таку інформацію: загальна кількість суден (залізничних поїздів, автомобілів), що знаходяться в експлуатації, загальна кількість аварій за визначений проміжок часу, кількість конкретних типів аварійних випадків за той же час.

На прикладі морського транспорту здійснено розрахунок вагових оцінок

аварійності. Статистичний аналіз за січень-вересень 2021 року показав, що сталося 38 аварійних випадків із суднами на морському та річковому транспорті. У тому числі навігаційного характеру 14: посадка на міліну – 9; зіткнення – 1; навали – 2; втрата стійкості у штормових умовах – 2; техніко-експлуатаційного характеру 20: пошкодження головного двигуна 11, гвинто-кермового комплексу – 9 [10].

Отже, вагову оцінку кожного типу аварії (k_e) визначали як відношення кількості суден (n), що зазнали руйнівного впливу, до загальної кількості суден (N), що зазнали аварії [11-13]. Результати розрахунку вагових коефіцієнтів за типами аварій наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Визначення вагової оцінки кожного типу аварії

№	Аварійна ситуація	Методика розрахунку вагової оцінки	Вагова оцінка, k_e	Методика розрахунку коефіцієнта ризику аварійності	Коефіцієнт ризику аварійності, $k_{ав}$
1.	Ризик посадки на міліну	$k_B = n_M / N_{ав.с.}$	0,237	$k_{ав} = n_M / N_{заг}$	0,003
2.	Ризик зіткнення	$k_B = n_3 / N_{ав.с.}$	0,026	$k_{ав} = n_3 / N_{заг}$	0,0004
3.	Ризик навалу	$k_B = n_H / N_{ав.с.}$	0,053	$k_{ав} = n_H / N_{заг}$	0,001
4.	Ризик втрати стійкості у штормових умовах	$k_B = n_C / N_{ав.с.}$	0,053	$k_{ав} = n_C / N_{заг}$	0,001
5.	Відмови головного двигуна	$k_B = n_{дв} / N_{ав.с.}$	0,55	$k_{ав} = n_{дв} / N_{заг}$	0,004
6.	Пошкодження гвинто-кермового комплексу	$k_B = n_{ГВ} / N_{ав.с.}$	0,15	$k_{ав} = n_{ГВ} / N_{заг}$	0,001

Одним з найважливіших моментів на даному етапі оцінки ризиків є визначення коефіцієнта аварійності, який розраховується, як відношення кількості аварійних випадків конкретного виду до загальної кількості суден, що знаходяться в експлуатації [11]. Таким чином були отримані такі значення коефіцієнтів ризику аварійності ($k_{ав}$) для кожного типу аварії: посадка на міліну – 0,003; зіткнення – 0,0004; навали – 0,001; втрата стійкості в штормових умовах – 0,001; відмова головного двигуна – 0,004; пошкодження гвинто-кермового комплексу – 0,001. У сумі коефіцієнти ризику аварійності мають значення 0,0104, що відповідає ймовірності надзвичайних ситуацій (аварій) на морському транспорті.

Аналогічним чином можна визначити вагові характеристики та коефіцієнти ризику виникнення аварійних випадків на залізничному та автомобільному видах транспорту. Наприклад, у роботі [14] вагова оцінка аварій на залізничному переїзді за участю залізничного складу становить 0,335, а коефіцієнт аварійності – 0,147. Знаючи значення цих критеріїв, можна буде з досить високим ступенем ймовірності оцінити всі ризики, які можуть супроводжувати процес доставки вантажу впродовж усього маршруту.

Використання вагових оцінок має значення при оцінці ризиків у різних видах перевезень.

Згідно робіт [15, 16] ризик – це міра кількісного виміру небезпеки, що є векторною (багатокомпонентною) величиною, яку визначають за допомогою статистичних даних чи розраховують з використанням імітаційних моделей. При цьому враховують наступні кількісні показники:

- ймовірність виникнення (частота виникнення) небезпечних факторів;
- кількість відмов внаслідок впливу того чи іншого небезпечного фактору;
- невизначеність у кількості відмов та ймовірності їх виникнення.

Прогнозована загальна матеріальна відмова – математичне очікування кількості відмов технічними засобами морського, автомобільного та залізничного транспорту внаслідок виникнення транспортних аварій.

Оцінка ризику є складовою управління безпекою і полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і визначення ризику можливих небажаних подій. Розглянемо можливий сценарій розвитку аварійних ситуацій. З різноманіття ризиків, властивих роботі суден флоту при транспортуванні вантажів у порт, доцільно виділити три основні групи:

- ризики втрати/затоплення суден та вантажу;
- ризики аварій та аварійних пригод, що не спричинили втрати суден та вантажу;
- ризики відмови технічних засобів, що забезпечують зберігання, перевезення та збереження вантажів.

Висновки

У роботі запропоновано вектори використання методики інтегральної оцінки ризиків, за допомогою яких аналізують та розраховують вагові коефіцієнти ризиків по кожному елементу, кожній ланці транспортно-логістичного ланцюга, після чого розраховують оцінку сукупного ризику. Практичне використання методики інтегральної оцінки ризиків дозволяє вже на етапі початкового проектування транспортно-логістичних схем морських вантажних перевезень оцінити альтернативні варіанти за критеріями ризиків та розробляти заходи щодо зниження їх рівня з метою підвищення безпеки перевезень та збереження вантажів. При цьому для кожного окремого етапу перевезення здійснюють аналіз факторів, що впливають на процес перевезення, визначають критерії ризиків та розраховують прогнозовані оцінки ризиків надзвичайних ситуацій.

Методика оцінки ризиків у морській індустрії будується на основі використання загальної моделі сценарію розвитку аварійних ситуацій, теорії нечітких множин та експертних оцінок. При розрахунку оцінок ризиків необхідно враховувати причинно-наслідкові зв'язки у системі: «обставини/умови – причини – наслідки».

Перспективи подальших розвідок у даному напрямку. У майбутньому заплановано використати запропоновану методику для розрахунку ймовірнісних оцінок ризиків у морських перевезеннях та очікуваної величини завдання шкоди суднам, вантажу, навколишньому середовищу.

Список літератури

1. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1980. - 208 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1989. - 364 с.
3. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 2004. - 404 с.

4. Балдин К.В., Воробьев С.Н. Управление рисками. – М.: Юнити-Дана, 2012.-511 с.
5. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска: Физико- математическая литература. – М.: Физматлит, 2007. - 591 с.
6. Мойсеенко С.С., Мейлер Л.Е. Безопасность морских грузоперевозок. – Калининград: БГАРФ, 2011. - 398 с.
7. Петров С.В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в ЧС при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., МИИТ. – Москва, 2009. - 24с.
8. Топалов В.П., Торский В.Г. Риски в судоходстве. – Одесса: Астропринт, 2007. - 368 с.
9. Обертюр К.Л. Разработка логического алгоритма принятия решений командного состава в борьбе за непотопляемость судна // Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека. – О.: ВидавІнформ, ОНМА, 2013. – С. 25-26.
10. Державна служба статистики України / Україна у цифрах у 2021 році / статистичний збірник за редакцією О.Г. Осауленка / [Електронний ресурс] <http://www.ukrstat.gov.ua/> Держстат України, 1998-2021 / Дата останньої модифікації: 24/09/2021.
11. Клевцов К.М., Букетов А.В., Шарко О.В. Логістична система водного транспорту України: Навчальний посібник. – Херсон: ТОВ Науковий парк ХДМА «Інновації морської індустрії», 2022. – 277 с.
12. Обертюр К.Л. Разработка логического алгоритма интеллектуальной экспертной системы поддержки принятия решений операторов при обеспечении ходкости судна в чрезвычайных ситуациях // Судовождение. – 2014. – № 24. – Одесса: ОНМА. – С. 123-133.
13. Обертюр К.Л. Методика принятия решений при обеспечении непотопляемости судна в чрезвычайных ситуациях // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2014. – Вып. 1. – С 23-33.
14. Мартынюк И.В. Повышение безопасности железнодорожных перевозок опасных грузов с учётом взаимодействия с другими видами транспорта и окружающей средой: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2007. – 158 с.
15. Балдин К.В., Воробьев С.Н. Управление рисками.– М.: Юнити-Дана, 2012.–511 с.
16. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска: Физико- математическая литература. – М.: Физматлит, 2007. – 591 с.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2023

Клевцов Костянтин Миколайович – д.т.н., професор, професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, проспект Ушакова, 20, м. Херсон, Україна, 73000, E-mail: klevtsovki@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8486-1104>.

Букетов Андрій Вікторович – д.т.н., професор, завідувач кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, проспект Ушакова, 20, м. Херсон, Україна, 73000, E-mail: buketov@tntu.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-9836-3296>.

Шарко Олександр Володимирович – д.т.н., професор, професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, проспект Ушакова, 20, м. Херсон, Україна, 73000, E-mail: mvsharko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6400-8528>.

Сапронов Олександр Олександрович – д.т.н., доцент, професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, проспект Ушакова, 20, м. Херсон, Україна, 73000, E-mail: oo.sapronov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1115-6556>.

K. M. KLEVTSOV, A. V. BUKETOV, O. V. SHARKO, O. O. SAPRONOV

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE RISKS OF THE EMERGENCY OF EMERGENCY SITUATIONS IN MARINE CARGO TRANSPORTATION

The work provides a methodology for calculating risks based on the use of a model of the safety of cargo transportation by various types, including sea, transport, and a general model of the emergency development scenario. The considered theory of statistical decisions is intended for the development of recommendations on the rational application of actions in conditions of uncertainty and associated risk.

Given that accidents and the risk of emergency situations have a pronounced random nature, the methods of probability theory and mathematical statistics are used to assess risks. Therefore, the article deals with the issue of vehicle accidents and related cases of cargo loss/damage, which are rare events distributed according to the Poisson law. Predicted estimates of the probability of failure of technical means can be determined using the theory of Markov processes.

The practical use of the integrated risk assessment methodology allows already at the stage of the initial design of transport and technological schemes of sea freight transportation to evaluate alternative options according to risk criteria and to develop measures to reduce the level of risk in order to increase the safety of transportation and preserve cargo. At the same time, risks are assessed not only under normal conditions of transportation, but also in cases of accidents, which is a mandatory condition when choosing methods and means to minimize losses and negative consequences of accidents and disasters.

The results of research on the development, development and improvement of the methodology of integrated risk assessment and ways of managing them in emergency situations to increase the safety of sea cargo transportation are also given.

Key words: emergency situations, integral assessment, logistic analysis, sea freight transportation, vehicles, logistics.

References

1. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij: zadachi, principy, metodologija. – M.: Nauka, 1980. - 208 s.
2. Ventcel' E.S. Teorija verojatnostej. – M.: Nauka, 1989. - 364 s.
3. Gmurman V.E. Rukovodstvo k resheniju zadach po teorii verojatnostej i matematicheskoj statistike. – M.: Vysshaja shkola, 2004. - 404 s.
4. Baldin K.V., Vorob'ev S.N. Upravlenie riskami. – M.: Juniti-Dana, 2012.-511 s.
5. Korolev V.Ju., Bening V.E., Shorgin S.Ja. Matematicheskie osnovy teorii riska: Fiziko-matematicheskaja literatura. – M.: Fizmatlit, 2007. - 591 s.
6. Mojseenko S.S., Mejler L.E. Bezopasnost' morskich gruzoperevozok. – Kaliningrad: BGARF, 2011. - 398 s.
7. Petrov S.V. Sovershenstvovanie metodov ocenki i upravlenija avarijnym riskom v ChS pri perevozke nefteproduktov na zheleznodorozhnom transporte: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. - M., MIIT. – Moskva, 2009. - 24s.
8. Topalov V.P., Torskij V.G. Riski v sudohodstve. – Odessa: Astroprint, 2007. - 368 s.
9. Obertjur K.L. Razrabotka logicheskogo algoritma prinjatija reshenij komandnogo sostava v bor'be za nepotopljaemost' sudna // Sudnoplavstvo: perevezennja, tehnicni zasobi, bezpeka. – O.: VidavInform, ONMA, 2013. – S. 25-26.
10. Derzhavna sluzhba statistiki Ukraïni / Ukraïna u cifrah u 2021 roci / statistichnij zbirnik za redakciju O.G. Osaulenka / [Elektronij resurs] <http://www.ukrstat.gov.ua/> Derzhstat Ukraïni, 1998-2021 / Data ostann'oi modifikacii: 24/09/2021.
11. Klevcov K.M., Buketov A.V., Sharko O.V. Logistichna sistema vodnogo transportu Ukraïni: Navchal'nij posibnik. – Herson: TOV Naukovij park HDMA «Innovacii mors'koï industriï», 2022. – 277 s.
12. Obertjur K.L. Razrabotka logicheskogo algoritma intelektual'noj jekspertnoj sistemy

podderzhki prinjatija reshenij operatorov pri obespechenii hodkosti sudna v chrezvyčajnyh situacijah // Sudovozhdenie. – 2014. – № 24. – Odessa: ONMA. – S. 123-133.

13. Obertjur K.L. Metodika prinjatija reshenij pri obespechenii nepotopljaemosti sudna v chrezvyčajnyh situacijah // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. – SPb.: GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2014. – Vyp. 1. – S 23-33.

14. Martynjuk I.V. Povyszenie bezopasnosti zheleznodorozhnyh perevozok opasnyh gruzov s uchjotom vzaimodejstvija s drugimi vidami transporta i okruzhajushhej sredoj: Dis. ... kand. tehn. nauk. – M., 2007. – 158 s.

15. Baldin K.V., Vorob'ev S.N. Upravlenie riskami. – M.: Juniti-Dana, 2012. – 511 s.

16. Korolev V.Ju., Bening V.E., Shorgin S.Ja. Matematicheskie osnovy teorii riska: Fiziko-matematicheskaja literatura. – M.: Fizmatlit, 2007. – 591 s.

Klevtsov Kostyantyn Mykolajovyč – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, 20 Ushakova Avenue, Kherson, Ukraine, 73000, E-mail: klevtsovk@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8486-1104>.

Buketov Andrii Viktorovyč – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, 20 Ushakova Avenue, Kherson, Ukraine, 73000, E-mail: buketov@tntu.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-9836-3296>.

Sharko Oleksandr Volodymyrovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, Ushakova Avenue, 20, Kherson, Ukraine, 73000, E-mail: mvsharko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6400-8528>.

Sapronov Oleksandr Oleksandrovyč – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, 20 Ushakova Avenue, Kherson, Ukraine, 73000, E-mail: oo.sapronov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1115-6556>.