

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ  
РИЗИКАМИ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ МОРСЬКИХ ПОДІЙ  
І ЗАПОБІГАННЯ ЇМ**

**А.Д. Бойко**

аспірантка,

Київський інститут водного транспорту

імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного

Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-1387-3164

**Анотація**

**Вступ.** У статті розглянуто підхід до оцінки ефективності методів управління ризиками виникнення і запобігання аварійним морським подіям. У статті на основі прогнозної моделі, що реалізує запропоновані методи та модель, оптимізовано комплекс із заходів щодо зниження ризиків аварійних морських подій (АМП) під час експлуатації морського транспорту.

**Мета.** Метою статті є розробка інструментарію щодо комплексної оцінки ефективності удосконалених методів управління ризиками виникнення і запобігання АМП.

**Результати.** У результаті визначення для кожної АМП сумарних витрат встановлено, що ефективність скорочення несприятливого ризику реалізації АМП від впровадження запобіжних заходів становить від 18%. Отримана інформація за результатами використання методів оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП є основою для формування переліку заходів, що знижують ризик АМП, вжиття яких забезпечує мінімальні узагальнені витрати та найбільше скорочення ризиків, а також є необхідною умовою для прийняття рішення з управління чинниками ризиків на підставі критерію мінімуму узагальнених витрат.

**Висновки.** Визначено, що перспективним напрямом подальшого розвитку автоматизованої підсистеми управління неприйнятними ризиками на основі методів оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП є врахування взаємозв'язків між АМП, чинниками АМП, імовірності переходу одних аварійних морських подій в інші, впливу одного заходу зі зниження несприятливих ризиків АМП на кілька чинників.

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

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF METHODS OF RISK MANAGEMENT  
AND PREVENTION OF MARITIME ACCIDENTS

**A.D. Boiko**

PhD Student,

Hetman Petro Konashevych-Sahaidachny Kyiv Institute of Water Transport  
of the State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-1387-3164

**Summary**

**Introduction.** The article considers an approach to assessing the effectiveness of risk management methods for the occurrence and prevention of marine accidents. In the article, based on a forecast model that implements the proposed methods and model, a set of measures to reduce the risks of maritime accidents during the operation of maritime transport is optimized.

**Purpose.** The purpose of the article is to develop a toolkit for a comprehensive assessment of the effectiveness of improved methods of managing the risks of occurrence and prevention of AMPs.

**Results.** As a result of determining the total costs for each maritime accident, it was found that the effectiveness of reducing the adverse risk of maritime accidents from the implementation of preventive measures is from 18%. The information obtained from the results of the use of methods for assessing and managing the risks of occurrence and prevention of maritime accidents is the basis for the formation of a list of measures to reduce the risk of maritime accidents, the implementation of which provides the minimum generalized costs and the greatest reduction of risks and is also a prerequisite for deciding on risk management based on the criterion of minimum generalized costs.

**Conclusions.** It is determined that a promising direction for the further development of an automated subsystem for managing unacceptable risks based on methods for assessing and managing the risks of occurrence and prevention of maritime accidents is to consider the relationships between maritime accidents, maritime accident's factors, the probability of transition of one maritime accident to another, the impact of one measure to reduce the adverse risks of maritime accidents on several factors.

**Key words:** assessment, efficiency, method, maritime accident, maritime and river transport, risk, damage, probability, factor, navigation safety management system.

**Вступ і постановка проблеми.** Проблема управління ризиками у системі управління безпекою судноплавства (СУБС) натеper є невирішеною в повному обсязі та залишається на вістрі досліджень [1–4]. Аналіз результатів, отриманих під час вивчення процесів управління ризиками у системі управління безпекою (СУБ) судноплавства, дозволяє зробити висновок про таке. По-перше, у рамках проведених досліджень не враховуються результати оцінки узагальненого ризику виникнення аварійних морських подій (АМП) у системі управління безпекою судноплавства. По-друге, й критерій мінімальних сумарних витрат у разі розробки заходів загалом, що знижує ризики аварійних морських подій, також має обмежене використання у практичних застосуваннях [5–9; 12].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [10] автором удосконалено метод оцінки узагальненого ризику виникнення аварійних морських подій

у системі управління безпекою судноплавства, який враховує найскладніші класи АМП (дуже серйозні аварії, серйозні аварії), типи чинників, що впливають на безпеку судноплавства, та визначають прийнятні та неприйнятні ризики для кожної аварійної морської події з використанням криволінійної трапеції прийнятного ризику, що дозволяє підвищити точність оцінки узагальненого ризику виникнення АМП з використанням морського та річкового транспорту.

У роботі [11] запропоновано метод управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання виникненню АМП (дуже серйозних або серйозних аварій) і зниження потенційних збитків від них у системі управління безпекою судноплавства. У цьому методі враховуються всі заходи щодо зниження несприятливих ризиків виникнення АМП або запобігання їм з морським або річковим транспортом, що дозволяє забезпечити мінімальні витрати на запобігання ризикам виникнення АМП і зниження потенційного збитку від них.

Таким чином, наявна невідповідність між обмеженими можливостями відомих підходів до оцінки та управління ризиками у системі управління безпекою судноплавства, з одного боку, та потребами і вимогами практики щодо зниження ризиків АМП – з іншого, переростає у необхідність проведення кількісної та якісної оцінки ефективності методів управління ризиками виникнення і запобігання аварійним морським подіям.

Це визначає, що під час вирішення актуального наукового завдання, пов'язаного з удосконаленням методів і моделей оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП у системі управління безпекою судноплавства для зниження несприятливого ризику реалізації аварійної морської події, гарантовано виникає нагальна проблема в оцінці ефективності запропонованих удосконалених методів управління ризиками виникнення і запобігання аварійним морським подіям.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка інструментарію щодо комплексної оцінки ефективності удосконалених методів управління ризиками виникнення і запобігання АМП.

**Виклад основного матеріалу.** За результатами аналізу звітів щодо стану безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні [5–9] визначено приклад узагальненого комплексу заходів (таблиця 1) щодо зниження ризиків АМП під час експлуатації морських (річкових) суден (коригуючих дій щодо усунення причин виникнення аварійних подій з метою підвищення рівня безпеки судноплавства та зниження рівня аварійності на водному транспорті).

Таблиця 1

**Заходи зі зниження неприйнятного ризику та їх вартість**

№	Зміст заходів	Вартість
1	Вивчення вимог СУБ судна та судновласника щодо врахування рівня оцінки ризику у разі слідування судна в обмежених умовах плавання по каналах, річкових внутрішніх водних шляхах тощо, зокрема з лоцманом на борту	$E_1$ 100
2	Проведення тренувальних заходів щодо виконання членами екіпажу правил технічного обслуговування й експлуатації головних двигунів та допоміжних механізмів судна (відпрацювання дій на тренажерах)	$E_2$ 1000

Продовження таблиці 1

3	Проведення тренувальних заходів щодо виконання вантажних операцій, дотримання плану щодо розміщення вантажу та баласту у танках з урахуванням навігаційних обмежень та безпечного запасу глибини під кілем судна (відпрацювання дій на тренажерах)	$E_3$	1000
4	Вивчення рекомендацій звичайної морської практики з практичних прийомів та способів управління судном, належної організації дій екіпажів суден в аварійній ситуації та завчасного визначення і врахування рівня оцінки ризику	$E_4$	100
5	Вивчення вимог Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків, зокрема щодо забезпечення ними належної організації несення вахтової служби на ходовому містку, а саме спостереження за рухом, позицією та місцем судна для забезпечення безаварійного плавання судна, у тому числі з лоцманом на борту	$E_5$	100
6	Проведення тренувальних заходів щодо практичних прийомів та способів управління судном, зокрема щодо взаємодії з морським лоцманом та капітанами буксирів під час виконання швартових операцій, а також вжиття вчасних та рішучих дій для забезпечення безпеки судна та запобігання навалу на причал, інші судна та об'єкти, що стоять біля причалу або на рейді (відпрацювання дій на тренажерах)	$E_6$	1000
7	Проведення тренувальних заходів щодо завчасного визначення і врахування рівня оцінки ризику, забезпечення належної організації дій екіпажів суден в аварійній ситуації, зокрема у разі заходу суден у порт, а також під час маневрування та виконання швартових операцій з використанням буксирного забезпечення на акваторії порту тощо (відпрацювання дій на тренажерах)	$E_7$	1000

Можливими заходами розглядаються такі, що проводяться капітаном та командним складом. При цьому вартість заходів зі зниження неприйнятної ризику розглядається в діапазоні 100–1000 у.о. залежно від того, чи то є заходи з вивчення нормативних документів, чи з відпрацювання дій на тренажерах.

Для підготовки вхідних даних для розрахунку оцінки ефективності були проаналізовані матеріали щодо розслідування АМП, які відбулися, у тому числі через людський фактор (таблиця 2). Важливо зазначити, що використання методів оцінки та управління ризиками виникнення та запобігання АМП у СУБС розглядається на підставі прогнозованої стратегії управління факторами ризику.

Відповідно до методу оцінки узагальненого ризику виникнення аварійних морських подій у СУБ судноплавства [10], інтенсивності потоків однорідних АМП, що розглядаються у цій роботі, отримані згідно з виразом (1) за 16 років та занесені у табл. 3:

$$\lambda_{\text{ЕМЕ}} = \frac{N}{T_0}, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість АМП, що відбулися за час спостереження;

$T_0$  – час спостереження аварійних морських подій.

На основі значень часу функціонування водного транспорту (терміну експлуатації (див. табл. 2)) та значень інтенсивностей потоків однорідних АМП розраховується емпіричний коефіцієнт Пуассона  $a$  відповідно до виразу [10]:

$$a(\text{ЕМЕ}) = \lambda_{\text{ЕМЕ}} T_p, \quad (2)$$

Таблиця 2

Вхідні дані для розрахунку оптимальної ймовірності запобігання АМП

№	Опис АМП	Величина збитків	Причина виникнення АМП	Клас АМП	Термін експлуатації
1	У морському терміналі морського порту плавакран під впливом штормового вітру здійснив рефрижераторний наплив на рибальський траулер. Внаслідок напливу судно зазнало пошкоджень, що призвело до надходження забортної води до його трюмів. Надалі судно затонуло біля стінки причалу	68 000 у.о.	$F_2^1$ (несприятливі зовнішні умови); $F_3^1$ (відмови суднових технічних засобів та обладнання); $F_5^1$ (людські помилки); $F_3^4$ (зовнішні умови та впливи)	дуже серйозна аварія	20 років
2	Внаслідок затоплення біля причалу морського порту транспортного двогвинтового дизельного буксира в море потрапили нафтопродукти, у зв'язку з чим навколишньому природному середовищу завдано шкоди. Після підйому буксир не відновлено	3 381 541 у.о.	$F_3^1$ (відмови суднових технічних засобів та обладнання); $F_5^1$ (людські помилки); $F_3^3$ (аварійні пошкодження судна або його технічних засобів, що спричиняють розливи палива)	дуже серйозна аварія	27 років
3	Затоплення судна, пришвартованого другим бортом до іншого судна, що перебувало біля причалу в морському порту	45 347 у.о.	$F_3^1$ (відмови суднових технічних засобів та обладнання); $F_5^1$ (людські помилки)	дуже серйозна аварія	25 років
4	Під впливом вітру та хвиль стався обрив швартових кінців біля плавакрана і він, дрейфуючи, навалився на рибальське морське судно, яке отримало пробіни і в результаті затонуло	172 037 у.о.	$F_2^1$ (несприятливі зовнішні умови); $F_3^1$ (відмови суднових технічних засобів та обладнання); $F_5^1$ (людські помилки); $F_3^4$ (зовнішні умови та впливи)	дуже серйозна аварія	39 років
5	За 9 миль від морського порту в машинному відділенні буксира виникла пожежа, внаслідок якої судно втратило морехідні якості та експлуатаційні характеристики	92 537 у.с.	$F_3^1$ (відмови суднових технічних засобів та обладнання); $F_5^1$ (людські помилки); $F_4^4$ (аварійні пошкодження судна та суднових технічних засобів, пожежі та вибухи)	серйозна аварія	48 років

Продовження таблиці 2

6	У морському порту стався розлив бункерного палива з танкера з максимально негативними екологічними наслідками	1 657 428 у.о.	$F_5^1$ (людські помилки); $F_3^3$ (аварійні пошкодження судна або його технічних засобів, що спричиняють розливи палива та нафтопродуктів)	серйозна аварія	11 років
7	Посадка на міліну теплохода, внаслідок чого він отримав пошкодження обшивки корпусу, було частково загоплено машинне відділення та приміщення нижнього туристичного кубрика, спостерігалось надходження води до носової та правої кормової паливної цистерни	1 067 158 у.о.	$F_3^1$ (відмови суднових технічних засобів та обладнання); $F_5^1$ (людські помилки)	серйозна аварія	61 рік

Таблиця 3

Значення інтенсивностей потоків однорідних АМП, які розподіляються за законом Пуассона

№	Тип водного транспорту	Клас АМП	Значення інтенсивності потоків однорідних АМП (місяць <sup>-1</sup> )
1	Морський	Дуже серйозні аварії	0,0416
2	Морський	Серйозні аварії	0,2552
3	Річковий	Дуже серйозні аварії	0,0572
4	Річковий	Серйозні аварії	0,2187

Таблиця 4

Результати розрахунку емпіричного коефіцієнта Пуассона  $a$

№	АМП	Тип транспорту	Значення емпіричного коефіцієнта Пуассона $a$
1	$EME_1^{1n}$	морський	0,04576
2	$EME_2^{1n}$	морський	0,0624
3	$EME_3^{1n}$	морський	0,0574
4	$EME_4^{1n}$	морський	0,0898
5	$EME_1^{2n}$	морський	0,663
6	$EME_2^{2n}$	морський	0,2552
7	$EME_1^{2r}$	річковий	0,739

де  $\lambda_{\text{ЕМЕ}}$  – інтенсивність потоку однорідних АМП (рік<sup>-1</sup> або місяць<sup>-1</sup>);

$T_f$  – час функціонування водного транспорту (рік або місяць) у разі безпосереднього виконання переходу (одного рейсу).

Приклади розрахованих значень наведені в табл. 4 у відповідному стовпці. При цьому значення часу функціонування водного транспорту (місяць) у разі безпосереднього виконання переходу (одного рейсу), за статистичними даними, у середньому дорівнює 1 місяць для суден з терміном експлуатації до 18 років. А для суден з терміном експлуатації більше 18 років значення часу функціонування водного транспорту у разі безпосереднього виконання переходу пропорційне значенню терміну експлуатації відповідно до табл. 2 (що враховує збільшення часу на обслуговування більш застарілого судна).

Для кожного АМП з табл. 4 формується множина чинників (табл. 5) [10].

Таблиця 5

**Результати формування матриць чинників для АМП**

№	АМП	Множина чинників (причин) АМП
1	$ЕМЕ_1^{1n}$	$\{F_2^1, F_3^1, F_5^1\} \cup \{F_3^4\}$
2	$ЕМЕ_2^{1n}$	$\{F_3^1, F_5^1\} \cup \{F_1^3\}$
3	$ЕМЕ_3^{1n}$	$\{F_3^1, F_5^1\}$
4	$ЕМЕ_4^{1n}$	$\{F_2^1, F_3^1, F_5^1\} \cup \{F_3^4\}$
5	$ЕМЕ_1^{2n}$	$\{F_3^1, F_5^1\} \cup \{F_4^4\}$
6	$ЕМЕ_2^{2n}$	$\{F_5^1\} \cup \{F_1^3\}$
7	$ЕМЕ_1^{2r}$	$\{F_3^1, F_5^1\}$

Приклад визначення умовних ймовірностей за результатами експертного опитування та табл. 5 для кожної АМП  $ЕМЕ_1^{1n}$ ,  $ЕМЕ_2^{1n}$ ,  $ЕМЕ_3^{1n}$ ,  $ЕМЕ_4^{1n}$  у вигляді матриць у виразі 3:

$$\begin{bmatrix} P(F_2^1|ЕМЕ_1^{1n}) & P(F_3^1|ЕМЕ_1^{1n}) & P(F_5^1|ЕМЕ_1^{1n}) \\ P(F_2^1|ЕМЕ_2^{1n}) & P(F_3^1|ЕМЕ_2^{1n}) & P(F_5^1|ЕМЕ_2^{1n}) \\ P(F_2^1|ЕМЕ_3^{1n}) & P(F_3^1|ЕМЕ_3^{1n}) & P(F_5^1|ЕМЕ_3^{1n}) \\ P(F_2^1|ЕМЕ_4^{1n}) & P(F_3^1|ЕМЕ_4^{1n}) & P(F_5^1|ЕМЕ_4^{1n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.25 & 0.2 & 0.65 \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} P(F_1^3|ЕМЕ_1^{1n}) \\ P(F_1^3|ЕМЕ_2^{1n}) \\ P(F_1^3|ЕМЕ_3^{1n}) \\ P(F_1^3|ЕМЕ_4^{1n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} P(F_3^4|ЕМЕ_1^{1n}) \\ P(F_3^4|ЕМЕ_2^{1n}) \\ P(F_3^4|ЕМЕ_3^{1n}) \\ P(F_3^4|ЕМЕ_4^{1n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Матриці формуються для кожної групи чинників окремо, а саме з чинниками, що впливають на безпеку самого судна, з чинниками, що впливають на безпеку людини; що впливають на безпеку навколишнього середовища; що впливають на безпеку вантажу. При цьому формується повна група матриць з урахуванням всіх АМП відповідного класу. Наприклад, АМП  $ЕМЕ_1^{1n}$ , відповідно до табл. 5

$\{F_2^1, F_3^1, F_5^1\} \cup \{F_3^4\}$ , фіксується у двох матрицях першої і четвертої групи чинників з відповідними значеннями. А оскільки є АМП першого класу, а саме  $EME_2^{1n}$ , чинник якої входить до третьої групи чинників, АМП  $EME_1^1$  фіксується і у відповідній матриці, але зі значенням 0.

Приклад визначення величини очікуваного збитку за статистичними даними для кожного чинника і формальне представлення розрахованих величин у вигляді матриці наведено у виразі 4 (значення величини очікуваного збитку ( $10^3$  у.о.)):

$$\begin{bmatrix} Y(F_2^1|EME_1^{1n}) & Y(F_3^1|EME_1^{1n}) & Y(F_5^1|EME_1^{1n}) \\ Y(F_2^1|EME_2^{1n}) & Y(F_3^1|EME_2^{1n}) & Y(F_5^1|EME_2^{1n}) \\ Y(F_2^1|EME_3^{1n}) & Y(F_3^1|EME_3^{1n}) & Y(F_5^1|EME_3^{1n}) \\ Y(F_2^1|EME_4^{1n}) & Y(F_3^1|EME_4^{1n}) & Y(F_5^1|EME_4^{1n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & 10 & 38 \\ 0 & 900 & 981 \\ 0 & 10 & 25 \\ 40 & 30 & 72 \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} Y(F_1^3|EME_1^{1n}) \\ Y(F_1^3|EME_2^{1n}) \\ Y(F_1^3|EME_3^{1n}) \\ Y(F_1^3|EME_4^{1n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1300 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Y(F_3^4|EME_1^{1n}) \\ Y(F_3^4|EME_2^{1n}) \\ Y(F_3^4|EME_3^{1n}) \\ Y(F_3^4|EME_4^{1n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \\ 30 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

З огляду на дані, приклад (2) та (4), визначаються ризики виникнення АМП за одним чинником як математичного сподівання величини збитку від небажаної події (табл. 6) [10].

Таблиця 6

**Результати визначення ризиків виникнення аварійної морської події  
за одним чинником**

№	АМП	Значення ризиків виникнення АМП за одним чинником (у.о.)
1	$EME_1^{1n}$	$R_1(F_2^1 EME_1^{1n})=217.6$
		$R_2(F_3^1 EME_1^{1n})=408$
		$R_3(F_5^1 EME_1^{1n})=2584$
		$R_4(F_3^4 EME_1^{1n})=1632$
2	$EME_2^{1n}$	$R_5(F_3^1 EME_2^{1n})=67320$
		$R_6(F_5^1 EME_2^{1n})=110068.2$
		$R_7(F_1^3 EME_2^{1n})=243100$
3	$EME_3^{1n}$	$R_8(F_3^1 EME_3^{1n})=519$
		$EME_3^{1n}=3027,5$
4	$EME_4^{1n}$	$R_{10}(F_2^1 EME_4^{1n})=2700$
		$R_{11}(F_3^1 EME_4^{1n})=1620$
		$R_{12}(F_5^1 EME_4^{1n})=12636$
		$R_{13}(F_3^4 EME_4^{1n})=112636$



Продовження таблиці 6

5	$EME_1^{2n}$	$R_{14}(F_3^1 EME_1^{2n})=16320$
		$R_{15}(F_5^1 EME_1^{2n})=63648$
		$R_{16}(F_4^4 EME_1^{2n})=40800$
6	$EME_2^{2n}$	$R_{17}(F_3^1 EME_2^{2n})=617355$
		$R_{18}(F_1^3 EME_2^{2n})=650250$
7	$EME_1^{2r}$	$R_{19}(F_3^1 EME_1^{2r})=199800$
		$R_{20}(F_3^1 EME_1^{2r})=11919180$

Будується криволінійна трапеція прийняттного ризику (з використанням поліноміальної регресії) та визначається прийнятність ризику для кожної АМП (приклад наведено на рис. 1).

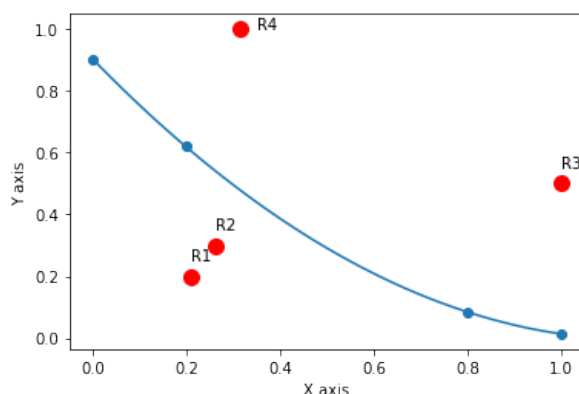


Рис. 1. Криволінійна трапеція прийняттного ризику та визначення прийнятності ризику для АМП  $EME_i^{ln}$

Для кожної АМП формуємо множину неприйнятних ризиків  $\{\bar{R}_j(F_i^n|EME_j^t)\}$ , які необхідно обробляти. Для визначення прийнятності ризику для кожної АМП отриману оцінку ризику перевіряємо на приналежність до криволінійної трапеції прийнятного ризику. Якщо значення  $R_j(F_i^n|EME_j^t)$  задовольняють системі рівнянь [10], при цьому значення ризику візуально знаходиться нижче або на лінії регресії, то ризик вважається прийнятним, і стає частиною множини прийнятних ризиків  $\{R_j(F_i^n|EME_j^t)\}$ . Вважаємо, що такий ризик обробки не потребує.

Якщо значення  $R_j(F_i^n|EME_j^t)$  не задовольняють системі рівнянь, при цьому значення ризику візуально знаходиться вище лінії регресії, то ризик є неприйнятним і стає частиною множини неприйнятних ризиків  $\{\bar{R}_j(F_i^n|EME_j^t)\}$ , які необхідно обробляти.

Після чого розраховується математичне сподівання неприйнятного ризику для кожної АМП з множини  $\{\bar{R}_j(F_i^n|EME_j^t)\}$  за всіма чинниками й очікуваним середнім збитком відповідно до виразу:

$$R_j^t = \sum_{i=1}^5 \lambda_j T_f Y(F_i^1 | EME_j^t) P(F_i^1 | EME_j^t) + \sum_{i=1}^4 \lambda_j T_f Y(F_i^2 | EME_j^t) P(F_i^2 | EME_j^t) + \sum_{i=1}^5 \lambda_j T_f Y(F_i^3 | EME_j^t) P(F_i^3 | EME_j^t) + \sum_{i=1}^4 \lambda_j T_f Y(F_i^4 | EME_j^t) P(F_i^4 | EME_j^t) = \lambda_j T_f (\sum_{i=1}^5 Y(F_i^1 | EME_j^t) P(F_i^1 | EME_j^t) + \sum_{i=1}^4 Y(F_i^2 | EME_j^t) P(F_i^2 | EME_j^t) + \sum_{i=1}^5 Y(F_i^3 | EME_j^t) P(F_i^3 | EME_j^t) + \sum_{i=1}^4 Y(F_i^4 | EME_j^t) P(F_i^4 | EME_j^t)). \quad (5)$$

Результати розрахунків наведені у табл. 7.

У цьому прикладі будемо вважати, що всі судна належать різним власникам (компаніям). У зв'язку з цим узагальнений ризик виникнення АМП (які вже є різнорідними стосовно одна одної) у цьому прикладі не визначається.

Таблиця 7

**Результати визначення неприйнятних ризиків виникнення АМП за всіма чинниками**

№	Значення неприйнятних ризиків виникнення АМП за одним чинником (у.о.)	Значення ризиків виникнення АМП за всіма чинниками (у.о.)
1	$\bar{R}_3(F_5^1   EME_1^{1n})=2584$	$R_1^{1n} = 4216$
	$\bar{R}_4(F_3^4   EME_1^{1n})=1632$	
2	$\bar{R}_5(F_3^1   EME_2^{1n})=67320$	$R_2^{1n} = 420488,2$
	$\bar{R}_6(F_5^1   EME_2^{1n})=110068,2$	
	$\bar{R}_7(F_1^3   EME_2^{1n})=243100$	
3	$\bar{R}_9(F_5^1   EME_3^{1n})=3027,5$	$R_3^{1n} = 3027,5$
4	$\bar{R}_{12}(F_5^1   EME_4^{1n})=12636$	$R_4^{1n} = 125272$
	$\bar{R}_{13}(F_3^4   EME_4^{1n})=112636$	
5	$\bar{R}_{15}(F_5^1   EME_1^{2n})=63648$	$R_1^{2n} = 104448$
	$\bar{R}_{16}(F_4^4   EME_1^{2n})=40800$	
6	$\bar{R}_{17}(F_5^1   EME_2^{2n})=617355$	$R_2^{2n} = 1267605$
	$\bar{R}_{18}(F_1^3   EME_2^{2n})=650250$	
7	$\bar{R}_{20}(F_3^1   EME_1^{2r})=11919180$	$R_1^{2r} = 11919180$

Відповідно до методу управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання АМП і зниження можливих збитків від них у СУБ судноплавства виконуються такі дії [11].

Сформуємо матриці ймовірностей запобігання для АМП, що сталася через причину чинника  $F_i^n$ , для морського транспорту з урахуванням статистичних даних [11]:

$$\begin{bmatrix} P(F_3^1|E_1) & P(F_5^1|E_1) \\ P(F_3^1|E_2) & P(F_5^1|E_2) \\ P(F_3^1|E_3) & P(F_5^1|E_3) \\ P(F_3^1|E_4) & P(F_5^1|E_4) \\ P(F_3^1|E_5) & P(F_5^1|E_5) \\ P(F_3^1|E_6) & P(F_5^1|E_6) \\ P(F_3^1|E_7) & P(F_5^1|E_7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 \\ 0.4 & 0.85 \\ 0.55 & 0.9 \\ 0.6 & 0.8 \\ 0.5 & 0.9 \\ 0.4 & 0.85 \\ 0.6 & 0.75 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} P(F_1^3|E_1) \\ P(F_1^3|E_2) \\ P(F_1^3|E_3) \\ P(F_1^3|E_4) \\ P(F_1^3|E_5) \\ P(F_1^3|E_6) \\ P(F_1^3|E_7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.55 \\ 0.65 \\ 0.45 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} P(F_3^4|E_1) & P(F_4^4|E_1) \\ P(F_3^4|E_2) & P(F_4^4|E_2) \\ P(F_3^4|E_3) & P(F_4^4|E_3) \\ P(F_3^4|E_4) & P(F_4^4|E_4) \\ P(F_3^4|E_5) & P(F_4^4|E_5) \\ P(F_3^4|E_6) & P(F_4^4|E_6) \\ P(F_3^4|E_7) & P(F_4^4|E_7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.5 \\ 0.45 & 0.6 \\ 0.55 & 0.65 \\ 0.6 & 0.45 \\ 0.45 & 0.55 \\ 0.5 & 0.6 \\ 0.65 & 0.6 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

За результатами перевірки граничних умов [11] виконуються розрахунки узагальнених витрат  $V_{gen}$ , що відповідають оптимальній імовірності запобігання АМП (таблиця 8). При цьому коефіцієнт  $V_{ois}$  [11] розглядається як постійна процесу, яка визначає розмір вкладених коштів у забезпечення безпеки плавання, за підсумками чого процес підвищення рівня безпеки плавання, що визначається експонентою, досягає 95% рівня асимптоти ймовірності запобігання вкладенням у заходи, що знижують ризик АМП. Результати скорочення несприятливого ризику реалізації АМП від впровадження запобіжних заходів у процентному відношенні представлені на рис. 2.

Таблиця 8

**Результати визначення узагальнених витрат, що відповідають оптимальній імовірності запобігання аварійним морським подіям**

№	Значення неприйнятних ризиків виникнення АМП за всіма чинниками	Узагальнене значення несприятливого ризику у разі впровадження заходів, спрямованих на його запобігання (зниження)
1	$R_1^{1n} = 4216$	$R'_1 = 3469,63$
2	$R_2^{1n} = 420488,2$	$R'_2 = 384754,74$
3	$R_3^{1n} = 3027,5$	$R'_3 = 2973$
4	$R_4^{1n} = 125272$	$R'_4 = 120157,01$
5	$R_1^{2n} = 104448$	$R'_5 = 85932,96$
6	$R_2^{2n} = 1267605$	$R'_6 = 1083041,1$

Отримана інформація є основою для формування переліку заходів, що знижують ризик АМП. Їх вжиття забезпечує мінімальні узагальнені витрати та найбільше скорочення ризиків, а також є необхідною умовою для прийняття рішення з управління чинниками ризиків на підставі критерію мінімуму узагальнених витрат.

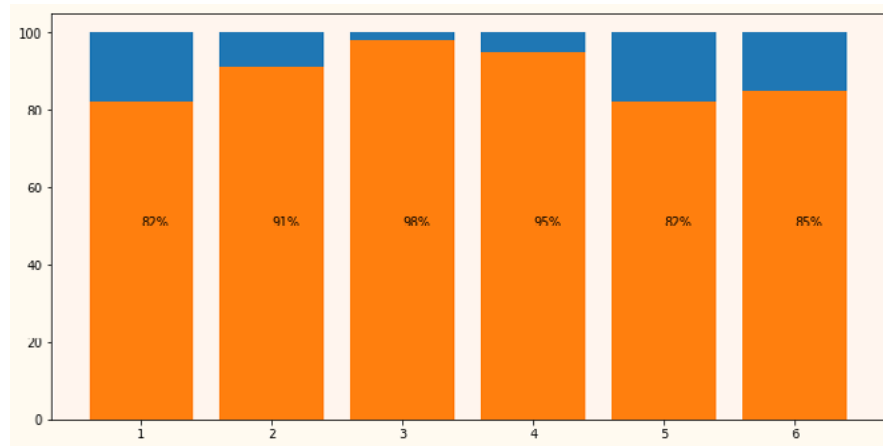


Рис. 2. Ефективність скорочення несприятливого ризику реалізації АМП від впровадження запобіжних заходів

**Висновки.** Таким чином, у статті на основі прогнозованої моделі, що реалізує запропоновані методи та модель, оптимізовано комплекс із 7 заходів щодо зниження ризиків АМП (дуже серйозних та серйозних аварій) під час експлуатації морського транспорту. У результаті визначення для кожної АМП сумарних витрат встановлено, що ефективність скорочення несприятливого ризику реалізації АМП від впровадження запобіжних заходів становить від 82% до 98%. Отримана інформація за результатами використання методів оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП є основою для формування переліку заходів, що знижують ризик АМП, вжиття яких забезпечує мінімальні узагальнені витрати та найбільше скорочення ризиків, а також є необхідною умовою для прийняття рішення з управління чинниками ризиків на підставі критерію мінімуму узагальнених витрат. Визначено, що перспективним напрямом подальшого розвитку автоматизованої підсистеми управління неприйнятними ризиками на основі методів оцінки та управління ризиками виникнення і запобігання АМП є врахування взаємозв'язків між АМП, чинниками АМП, ймовірності переходу одних аварійних морських подій в інші, впливу одного заходу зі зниження несприятливих ризиків АМП на кілька чинників.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Kristiansen S. Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis. Elsevier. 2010. P. 508 p.
2. Guçma M. Combination of processing methods for various simulation data sets. *TransNav*. 2008. № 2(1). P. 11–15. DOI: 10.26906/SUNZ.2023.1.004.
3. Kobyliński L. Risk analysis and human factor in prevention of CRG casualties. *TransNav*. 2009. № 3 (4). P. 443–448.
4. Yin J. Quantitative Risk Assessment for Maritime Safety Management: PhD thesis. Hong Kong Polytechnic University. 2011. URL: <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/>.

5. 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> (дата звернення: 01.12.2022).
6. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але з 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> (дата звернення: 01.12.2022).
7. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але з 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> (дата звернення: 01.12.2022).
8. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але з 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](https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit_2020.pdf) (дата звернення: 01.12.2022).
9. Стан безпеки судноплавства та аварійності на водному транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але з 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](https://data.gov.ua/dataset/cf069d00-9793-4974-9367-d39796282a59/resource/f9fa8a7c-74eb-4e62-ae62-7bcef5a02e/download/zvit_1pivrich_2021.pdf) (дата звернення: 01.12.2022).
10. Калініченко Є.В., Постников Є.Є., Бойко А.Д. Метод оцінки узагальненого ризику виникнення аварійних морських подій у системі управління безпекою судноплавства. *Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій*. 2022. № 2 (36). С. 20–30. URL: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.02>.
11. Ярмак В.Л., Бойко А.Д. Метод управління неприйнятними ризиками для визначення витрат на запобігання аварійним морським подіям і зниження можливих збитків від них у системі управління безпекою судноплавства. *Системи управління, навігації та зв'язку* : збірник наукових праць. Полтава. ПНТУ, 2023. № 1(71). С. 4–9. URL: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.004>
12. Inter-Object Navigation of Unmanned Aerial Vehicles to Increase the Efficiency and Accuracy of Inspection of Power Lines / O. Tymoschuk, O. Tymochko, V. Fustii, G. Kolesnyk, S. Olizarenko, G. Kalashnyk, R. Kulish, D. Galinskji. *Problemele energeticii regionale*. 2023. № 1(57). P. 28–38.

## REFERENCES

1. Kristiansen, S. (2010). *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis*. Elsevier. P. 508.
2. Gucma, M. (2008). Combination of processing methods for various simulation data sets. *TransNav*. № 2(1). P. 11–15. DOI: 10.26906/SUNZ.2023.1.004.
3. Kobyliński, L. (2009). Risk analysis and human factor in prevention of CRG casualties. *TransNav*. № 3 (4). P. 443–448.
4. Yin, J. (2011). *Quantitative Risk Assessment for Maritime Safety Management: PhD thesis*. Hong Kong Polytechnic University. Retrieved from: <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/>.
5. Accidents and incidents on sea and river transport in 2018. Official website of Ukrtransbezpeka. Accident analysis. Retrieved from: <http://dsbt.gov.ua/storinka/avariyi-ta-incydynty-na-morskomu-ta-richkovomu-transporti-za-2018-rik> (Last accessed: 01.12.2022).
6. The state of emergency and safety of navigation on water transport in Ukraine (including outside its borders, but with Ukrainian vessels), including small-sized (small) vessels for the first half of 2019 with an increasing sub-total. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. Retrieved from: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-4-avariynosti-za-2-kv-2019.doc> (Last accessed: 01.12.2022).
7. State of emergency and safety of navigation on water transport in Ukraine (including outside its borders, but with Ukrainian vessels), including small-sized (small) vessels for 2019 with a cumulative total. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. Retrieved from: <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynostiza-2019.pdf> (Last accessed: 01.12.2022).
8. The state of navigation safety and accidents on water transport in Ukraine (including outside its borders, but with Ukrainian vessels), including small-sized (small) vessels for 2020 with a cumulative total. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. Retrieved from: [https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit\\_2020.pdf](https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/16012021/Zvit_2020.pdf) (Last accessed: 01.12.2022).
9. The state of navigation safety and accidents on water transport in Ukraine (including outside its borders, but with Ukrainian vessels), including small-sized (small) vessels for the first half of 2021 with an increasing total. Official website of the Maritime Administration of Ukraine. Retrieved from: [https://data.gov.ua/dataset/cf069d00-9793-4974-9367-d39796282a59/resource/f9fa8a7c-74eb-4e62-ae62-7bcef5a02e/download/zvit\\_1pivrich\\_2021.pdf](https://data.gov.ua/dataset/cf069d00-9793-4974-9367-d39796282a59/resource/f9fa8a7c-74eb-4e62-ae62-7bcef5a02e/download/zvit_1pivrich_2021.pdf) (Last accessed: 01.12.2022).
10. Kalinichenko, E.V., Postnikov, E.E., Boyko, A.D. (2022). The method of assessing the generalized risk of the occurrence of emergency marine events in the system of managing the safety of navigation Water transport [Metod otsinky uzahalnenoho ryzyku vynyknennia avariinykh morskykh podii u systemi upravlinnia bezpekoiu sudnoplavstva].

Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. No. 2 (36). P. 20–30. Retrieved from: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.02>.

11. Yarmak, V.L., Boyko, A.D. (2023). The method of managing unacceptable risks to determine the costs of preventing emergency marine events and reducing possible losses from them in the navigation safety management system of the Control, Navigation and Communication Systems. Collection of scientific works. Poltava. PNTU. No. 1(71). P. 4–9. Retrieved from: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.004>.
12. Tymoschuk, O., Tymochko, O., Fustii, V., Kolesnyk, G., Olizarenko, S., Kalashnyk, G., Kulish, R., Galinskji, D. (2023). Inter-Object Navigation of Unmanned Aerial Vehicles to Increase the Efficiency and Accuracy of Inspection of Power Lines. *Problemele energeticii regionale*, No. 1(57), pp. 28–38.