

Перелік використаних джерел:

1. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions / I.V. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk, Y. Grytsuk, Y. Nikitchenko, D. Klets, M. Smieszek, Y. Volkov, R. Symonenko, A. Grytsuk. *SAE Technical Paper*. 2018-01-0024. 2018. Pp. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>.
2. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований). Харьков : ХНАДУ, 2011. 292 с.
3. Metcalf T. (1997). Listening to your clients. *Life Association News*. 1997. Vol. 92(7). Pp. 16-18.
4. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, July 1978; International Code on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1995, with amendments adopted in 2010 (Manila Amendments).
5. IMO Model Course 2.07 «Engine-room simulator». 2017.
6. TechSim 5000 simulator. ERS 5000 TechSim. MAN B&W 6S60MC-C Diesel Engine – Tanker LCC (Aframax). 2014. 279 p.

Reviewer: E.V. Bilousov
Dsc (Engineering), prof., KSMA

The article was received on 21.08.2023

The article was admitted on 17.09.2023

УДК 656.616.2

doi: 10.31498/2225-6733.47.2023.300114

© Гусак І.Л.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ РИЗИКУ ПЛАВАННЯ СУДНА В АКВАТОРІЇ МОРСЬКОГО ПОРТУ

Метою статті є визначення, систематизація та аналіз факторів ризиків для підвищення безпеки плавання танкера в акваторії морського порту. У статті розглянуто методи оцінки ризиків та управління ризиками при плануванні плавання танкерів в акваторії порту. Запропонована класифікація факторів ризику плавання танкера в акваторії морського порту за п'ятьма класами: клас ризиків щодо структури порту та його акваторії; клас ризиків щодо гідрометеорологічних чинників; клас ризиків щодо керованості судна; клас ризиків щодо технічних засобів та методів судноплавства; клас ризиків щодо системи управління судноплавством в акваторії порту. Запропоновано проводити кількісну оцінку ризиків, що описуються, за допомогою коефіцієнтів безпеки. Ці коефіцієнти безпеки отримуються на основі експертних оцінок, які відображають складність виконання аналізованих операцій, що відповідає прийнятним підходам у морському судноплавстві. З урахуванням вже розроблених практикою методів інтуїтивної оцінки небезпек, коефіцієнти безпеки (для кожного фактору ризику) визначаються через ступінчасту функцію. Найбільш суттєвим науковим результатом є створення єдиного підходу щодо кількісної оцінки для всіх врахованих факторів ризику та побудова дерева факторів ризику плавання танкера в акваторії морського порту. Це є основою для наступного етапу оцінки коефіцієнта навігаційної безпеки плавання в акваторії порту та розробки комплексної моделі аналізу ризиків. Таким чином, проведений аналіз можливих ризиків, пов'язаних зі впливом різних факторів на безпеку навігації танкерів в акваторії морського порту. Ці ризики охоплюють широке коло впливів, включаючи структуру порту та акваторію порту, вплив гідрометеорологічних факторів, характеристики судна та його керованість, а також організацію контролю та управління рухом суден у

* здобувачка ступеня доктора філософії, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, ORCID: 0000-0002-1546-5914

акваторії порту. Розроблена методика кількісної оцінки виявлених ризиків дозволила обчислювати коефіцієнти навігаційної безпеки для конкретних ділянок та всієї портової території. Особливості запропонованих підходів до оцінки ризиків та наведена методика можуть бути ключовими інструментами для визначення рівня безпеки навігації та прийняття обґрунтованих рішень при навігації суден у межах портів, можуть сприяти більш точному аналізу ризиків та впливу різних факторів на безпеку навігації.

Ключові слова: морське судноплавство, безпека, безпека судноводіння, фактор ризику, танкери, акваторія порту, гідрометеорологічні фактори, керованість судно, порт, технічні засоби та методи судноплавства, судноплавство.

I.L. Husak. Research of risk factors for tanker navigation in the seaport area. The article is aimed at identifying, systematizing and analyzing risk factors to improve the safety of tanker navigation in the seaport waters. The article discusses methods of risk assessment and risk management when planning tanker navigation in the port area. The author proposes a classification of risk factors for tanker navigation in the seaport water area into five classes: class of risks regarding the structure of the port and its water area; class of risks regarding hydrometeorological factors; class of risks regarding ship controllability; class of risks regarding technical means and methods of navigation; class of risks regarding the navigation management system in the port water area. It is proposed to quantify the described risks using safety factors. These safety factors are obtained based on expert assessments that reflect the complexity of the analyzed operations, which corresponds to the accepted approaches in maritime shipping. Considering the methods of intuitive hazard assessment already developed in practice, the safety factors (for each risk factor) are determined through a step function. The most significant scientific result is the creation of a unified approach to quantification for all risk factors considered and the construction of a risk factor tree for tanker navigation in the seaport area. This is the basis for the next stage of assessing the coefficient of navigational safety of navigation in the port area and developing a comprehensive risk analysis model. Thus, an analysis of possible risks associated with the impact of various factors on the safety of tanker navigation in the seaport waters was carried out. These risks cover a wide range of influences, including the structure of the port and port waters, the impact of hydrometeorological factors, ship characteristics and its controllability, as well as the organization of control and management of ship traffic in port waters. The developed methodology for quantifying the identified risks made it possible to calculate the coefficients of navigation safety for specific areas and the entire port area. The peculiarities of the proposed approaches to risk assessment and the methodology presented can be key tools for determining the level of navigation safety and making informed decisions when navigating ships within ports and can contribute to a more accurate analysis of risks and the impact of various factors on navigation safety.

Key words: sea navigation, safety, safety of navigation, risk factor, tankers, port water area, hydrometeorological factors, ship controllability, port, technical means and methods of navigation, shipping.

Постановка проблеми. В останні роки вимоги щодо безпеки морського судноплавства та запобігання забрудненню морського середовища стають більш жорсткими. Судна перевозять мільйони тон вантажів щороку, і вони викидають у водойми велику кількість забруднюючих речовин, таких як нафта, хімічні сполуки та сміття. Це забруднення може мати руйнівний вплив на навколишнє середовище, а також на здоров'я людей. Для захисту морського середовища від забруднення важливо приймати заходи зі зменшення викидів забруднюючих речовин із суден. Один із способів зробити це – покращення методів оцінки ризиків та управління ризиками при плануванні плавання танкерів в акваторії порту.

Міжнародна морська організація (ІМО) активно досліджує методи оцінки ризиків та управління ризиками для додаткового підвищення рівня морської безпеки. На рівні ІМО розроблено цілий ряд процедурних документів, а власники суден та інші учасники морської індустрії прагнуть інтегрувати методи управління ризиками у свою щоденну діяльність, керуючись

вказаними директивами та рекомендаціями. Тим не менше, прикладна теорія оцінки ризиків та управління ризиками в морському судноплаванні досі не розроблена повністю. Багато методів перенесено з інших галузей, а багато поширених документів залишаються занадто загальними та недостатньо придатними для забезпечення безпеки.

Отже, необхідна розробка специфічних методів оцінки ризиків та управління ризиками, адаптованих до особливостей морського судноплавання. Також варто відзначити, що проблема забезпечення безпеки акваторії залишається актуальною, особливо в контексті збільшення розмірів суден та вартості вантажоперевезень. Постійно виникають суперечки та судові процеси щодо безпеки заходу суден до портів у різних навігаційних, гідрографічних та метеорологічних умовах.

Враховуючи вищевказане, розробка методів аналізу та управління ризиками при плануванні плавання танкерів в акваторії порту є актуальним завданням. Це включає різноманітні підходи, в тому числі дослідження факторів ризику плавання танкера в акваторії морського порту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час існує значна кількість досліджень, присвячених підвищенню безпеки в акваторії порту та оцінці ризиків, що впливають на безпеку судноплавання [1-8].

Так, у статті [1] підкреслюється, що аварії з небезпечними вантажами спричиняють серйозні збитки. Фактори, які спричиняють ці аварії в порту при обробці небезпечних вантажів, потребують ретельного аналізу та оцінки, що наразі знаходяться у стадії початкового вивчення. Відповідно до цих загальноновизнаних проблем, дане дослідження націлене на оцінку множинних ризиків, пов'язаних з обробкою небезпечних вантажів у порту. Пропонована методологія комбінує експертні оцінки та аналіз наукової літератури для визначення факторів та встановлення їх причинно-наслідкових зв'язків, а також використовує баєсовську мережу для отримання висновків, заснованих на попередніх звітах про аварії.

Проведені дослідження показують, що в нормальних умовах ймовірність виникнення аварій із серйозними наслідками становить більше 0.5, причому найбільший внесок – це людський чинник. За наявності ознак аварії, пов'язаної із забрудненням навколишнього середовища, ймовірність випадку управлінської аварії зростає до 0.1. Проведено аналіз чутливості для виявлення найкритичніших факторів аварій із небезпечними вантажами. Дослідження свідчить, що для уникнення нещасних випадків із небезпечними вантажами та зниження важкості наслідків, портові органи, зацікавлені державні структури та інші відповідні установи повинні приділяти особливу увагу кваліфікації, навчанню та ставленню залученої робочої сили. Крім цього, встановлено, що розробка та впровадження жорстких протоколів безпеки мають вирішальне значення. Дослідження має практичне значення для поліпшення безпеки та зменшення ризиків, пов'язаних із перевезенням небезпечних вантажів в порту.

Промислова діяльність у порту має у своєму складі всі ті види діяльності, які стосуються нафтових терміналів, хімічних та нафтохімічних заводів. З іншого боку, портово-суднова діяльність – це діяльність, пов'язана із завантаженням та розвантаженням вантажів, нафтових пристаней та їх пошуком [2].

Додатково, враховуючи їх розташування у прибережних областях, порти, безсумнівно, є найскладнішими структурними системами з точки зору охорони навколишнього середовища, оскільки в них здійснюється ряд вантажних операцій [3].

Цей аспект розглядається як центральний пункт обговорення, а аварійні розливи визнаються основною причиною забруднення води [4]. Аварії у портах описуються як найбільш поширені, на які припадає 51% викидів, що забруднюють воду. Крім того, рекордна кількість аварій у порту (59%) викликана та пов'язана з розливами нафти [3].

Отже, швидке поширення забруднення через розливи нафти є однією з найбільш серйозних проблем, з якими стикаються порти під час завантаження вантажів, наливних вантажів, пальне постачання та судноплавання.

Оцінка ризику завжди є ключовою проблемою в небезпечних виробничих зонах, особливо у морському транспорті, та її не можна просто ігнорувати. Основне завдання полягає у виявленні всіх показників, що негативно впливають на безпеку, та в мінімізації можливих ризиків [5]. Ймовірність виникнення аварії і негативних наслідків, пов'язаних з нею, визначається як ризик. У морських перевезеннях ризик та його наслідки зазвичай мають негативний вплив на економічну

стабільність, включаючи фінансові збитки, на здоров'я людей через нещасні випадки, а також на навколишнє середовище через забруднення [5].

Формальна оцінка безпеки (FSA) введена Міжнародною морською організацією для управління функціональністю морської транспортної системи (MTS). Важливу роль у такій оцінці грають передвідомості від експертів, які мають досвід у цій області, і ці знання є важливим джерелом інформації для оцінки ризику [6].

Проте існує проблема з попередніми знаннями, адже доступні дані є більш реактивними, ніж прогнозуючими. Дослідження підкреслює, що реактивні підходи, як правило, є пасивними, і їх обмежений систематичний підхід не враховує зміни, змінні або недоліки як джерела, що впливають на загальний прогноз [7, 8]. У такому контексті важливими є системи, які можуть бути використані для розрахунку ймовірностей та наслідків, що виникають в результаті аварій.

Метою статті є визначення, систематизація та аналіз факторів ризиків для підвищення безпеки плавання танкера в акваторії морського порту.

Виклад основного матеріалу. В статті пропонується класифікація факторів ризику плавання танкера в акваторії морського порту за п'ятьма класами:

- 1) клас ризиків щодо структури порту та його акваторії;
- 2) клас ризиків щодо гідрометеорологічних чинників;
- 3) клас ризиків щодо керованості судна;
- 4) клас ризиків щодо технічних засобів та методів судноплавства;
- 5) клас ризиків щодо системи управління судноплавством в акваторії порту.

Клас ризиків щодо структури порту і його акваторії містить стан причалів й інших споруд порту, глибину і ширину фарватеру, наявність підводних об'єктів, метеорологічні, гідрологічні та екологічні умови. Ці фактори можуть впливати на безпеку судноплавства в акваторії порту, а також на навколишнє середовище.

До класу ризиків щодо гідрометеорологічних чинників входять такі фактори, як сильний вітер, високі хвилі, шторм, туман і лід. Ці фактори можуть впливати на безпеку судноплавства в акваторії порту, а також на навколишнє середовище. Для мінімізації ризиків, пов'язаних з цими факторами, необхідно регулярно отримувати прогноз погоди та приймати рішення про судноплавство на основі прогнозу погоди. Також необхідно мати на борту судна відповідне обладнання для боротьби з гідрометеорологічними чинниками.

Клас ризиків щодо керованості судна включає в себе технічний стан судна, досвід і кваліфікацію екіпажу, а також навколишні умови. Ці фактори можуть впливати на здатність судна управлятися і збільшити ризик аварії. Щоб мінімізувати ризики, пов'язані з керованістю судна, необхідно регулярно проводити техогляд судна і забезпечувати його справність, підбирати екіпаж з досвідом і кваліфікацією, яка дозволяє якісно управляти судном, а також враховувати навколишні умови і приймати рішення про судноплавство на основі прогнозу погоди.

Клас ризиків щодо технічних засобів та методів судноплавства складається з таких елементів: технічний стан судна, досвід і кваліфікація екіпажу, навколишні умови та методи судноплавства. Ці фактори, перетинаючись з попереднім класом ризиків, також можуть безпосередньо впливати на безпеку судноплавства і збільшити ризик аварії. Мінімізація ризиків, пов'язаних з цими факторами, складається з необхідності проведення ретельних та регулярних перевірок технічного стану судна, якісного підбору екіпажу із значним досвідом, що дозволяє відповідально управляти судном, враховувати навколишні умови і приймати рішення про судноплавство на основі прогнозу погоди, а також використовувати правильні методи судноплавства і дотримуватися правил безпеки.

До класу ризиків щодо системи управління судноплавством (СУСП) в акваторії порту входять такі основні елементи: технічний стан СУСП, кваліфікація персоналу, який обслуговує СУСП, навколишні умови та методологія управління судноплавством. Ці фактори можуть впливати на безпеку судноплавства в акваторії порту і збільшити ризик аварії. Мінімізація ризиків, викликаних цими факторами, складається у необхідності регулярних технічних оглядів СУСП, забезпечення відповідної кваліфікації персоналу, який обслуговує СУСП, врахування навколишніх умов, прийняття рішення про судноплавство на основі прогнозу погоди, використання правильної методології управління судноплавством і дотримання правил безпеки.

В статті пропонується проводити кількісну оцінку ризиків, що описуються, за допомогою тільки коефіцієнтів безпеки. Ці коефіцієнти отримуються на основі експертних оцінок, які

відображають складність виконання аналізованих операцій. Це відповідає прийнятим підходам у морському судноплаванні. З урахуванням вже розроблених практикою методів інтуїтивної оцінки небезпек, коефіцієнти безпеки (для кожного фактору ризику) визначаються через ступінчасту функцію з такою структурою:

$$K_C = \begin{cases} P_C(z), \text{ якщо } \Delta_i \leq 2\Delta_{add}; \\ 2, \text{ якщо } 2\Delta_{add} < \Delta_i \leq 3\Delta_{add}; \\ 3, \text{ якщо } \Delta_i > 3\Delta_{add}, \end{cases} \quad (1)$$

де K_C – коефіцієнт безпеки класу C ;

Δ_{add} – найменше допустиме значення цього параметра, при якому виконання відповідної операції вважається небезпечним.

Якщо значення параметру $\Delta_i \leq \Delta_{add}$ перевищує певний поріг, то розрахунок припиняється і вказується наявність небезпечного фактору ризику, що означає недопустимість цього ризику.

Якщо виконується умова $\Delta_i \leq 2\Delta_{add}$, то коефіцієнт безпеки оцінюється за допомогою методів теорії ймовірностей, що характеризує ймовірність безпечного виконання аналізованої операції. У такій ситуації капітан судна розглядає її як потенційно небезпечну, що вимагає високої уваги та контролю. Визначивши допустимий рівень ймовірності P_{add} , отримується мінімальне допустиме значення параметра Δ_i , при якому виконання цієї операції вважається небезпечним.

Якщо прогнозоване значення оцінюваного параметра Δ_i перевищує допустиме (порогове) значення в 2-3 рази, то капітан класифікує цю ситуацію як стандартну ($K_C = 2$), що передбачає використання вже звичних методів судноплавання. Проте, якщо прогнозоване значення оцінюваного параметра перевищує допустиме більше ніж у три рази, то капітан розуміє, що ризик від цього фактору є край низьким ($K_C = 3$).

Отже, запропонована система ступеневої кількісної оцінки ризиків найбільше відповідає підходам капітанів і тому інтуїтивному сприйняттю небезпеки, яке накопичене поколіннями (ситуація {важка, стандартна, проста}).

Якщо Δ_i не описується з точки зору ймовірності $P_C(z)$, то

$$K_C = \begin{cases} 0, \text{ якщо } \Delta_i \leq \Delta_{add}; \\ 1, \text{ якщо } \Delta_{add} < \Delta_i \leq 2\Delta_{add}; \\ 2, \text{ якщо } 2\Delta_{add} < \Delta_i \leq 3\Delta_{add}; \\ 3, \text{ якщо } \Delta_i > 3\Delta_{add}, \end{cases} \quad (2)$$

де $K_C = 0$ вказує на значення, що може становити небезпеку, і розрахунок зупиняється з інформацією про наявний ризик.

Запропоновано виразити узагальнену формулу індивідуального коефіцієнта безпеки для різних факторів ризику таким чином:

$$K_{ij} = \alpha_i \beta_i K_{C_{ij}}, \quad (3)$$

де $\alpha_i \beta_i$ – додаткові коефіцієнти, які відображають особливості врахування розглянутих факторів ризику в конкретних завданнях навігації (наприклад, залежно від напрямку вітру і/або течії, співвідношення швидкості судна до швидкості течії тощо).

Отримавши кількісні оцінки всіх ризикових факторів з використанням коефіцієнтів безпеки $K_{C_{ij}}$, на наступному етапі запропоновано ввести остаточний коефіцієнт безпеки K_{CS_j} для множини підкласів ризиків j -го класу:

$$K_{CS_j} = f(\{K_{ij}\}). \quad (4)$$

Остаточний коефіцієнт безпеки для структури портових вод буде залежати від коефіцієнтів безпеки для глибин, ширини прямолінійного та криволінійного фарватеру при односторонньому та двосторонньому русі суден з урахуванням концепції зони навігаційної безпеки. Вираз, який визначає функціональну залежність, буде змінюватися залежно від специфіки об'єднаних факторів ризику. Отже, загальний вираз для остаточного коефіцієнта безпеки для множини підкласів ризиків j -го класу представляється у такому вигляді:

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^N P_i K_{ij}}{\sum_{i=1}^N P_i}, \quad (5)$$

де P_i – коефіцієнт вагомості кожного параметра, що оцінюється залежно від умов плавання судна в даному порту протягом визначеного періоду часу.

На рис. 1 наведено дерево факторів ризику, які входять до п'яти базових класів ризиків плавання танкера в акваторії морського порту.

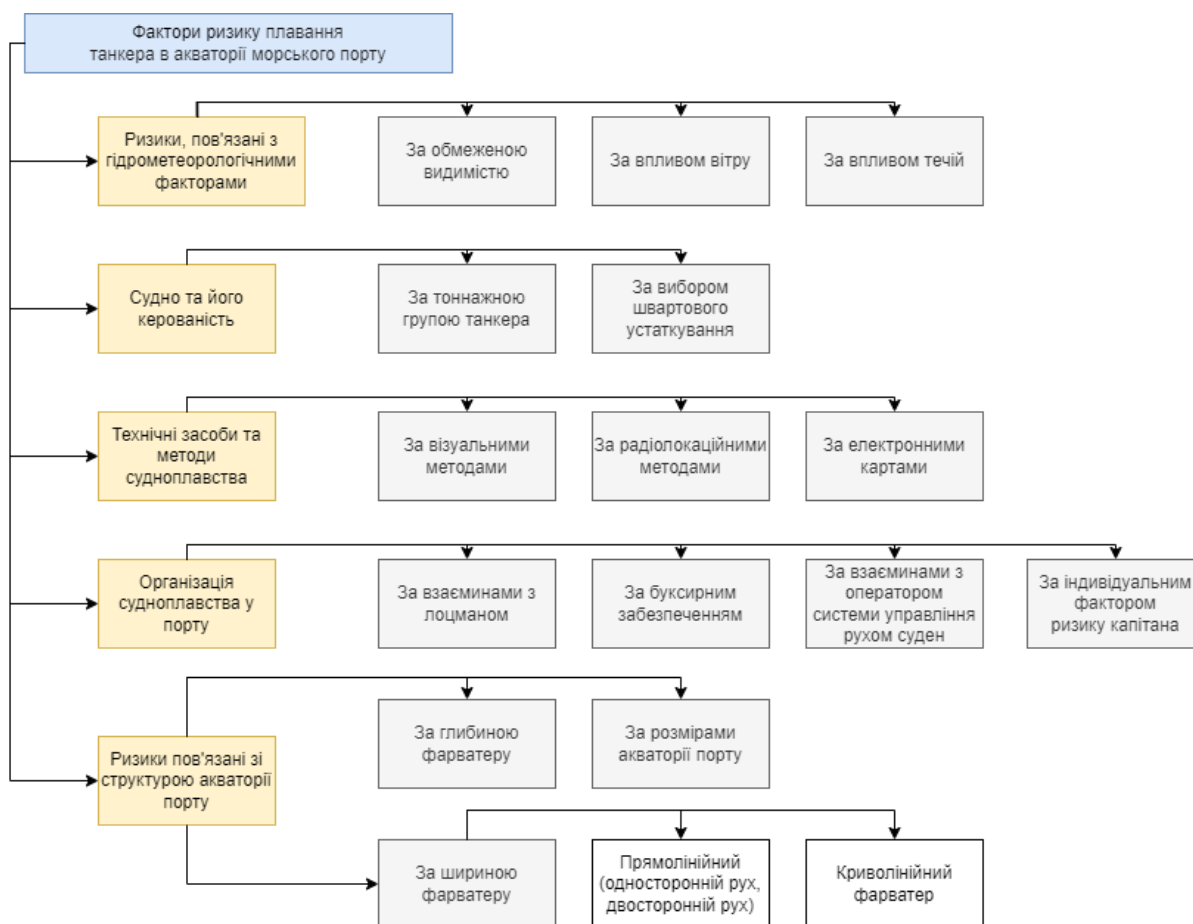


Рис. 1 – Дерево факторів ризику плавання танкера в акваторії морського порту

Отже, головним результатом є створення єдиного підходу щодо кількісної оцінки для всіх враховуваних факторів ризику та побудова дерева факторів ризику плавання танкера в акваторії морського порту. Це є основою для наступного етапу оцінки коефіцієнта навігаційної безпеки плавання в акваторії порту та розробки комплексної моделі аналізу ризиків.

Висновки

Таким чином, у даній статті проведений аналіз можливих ризиків, пов'язаних зі впливом різних факторів на безпеку навігації танкерів в акваторії морського порту. Ці ризики охоплюють різноманітні аспекти, включаючи структуру порту та портові води, вплив гідрометеорологічних факторів, характеристики судна та його керування, а також організацію контролю та управління рухом суден у портових водах.

У рамках дослідження запропоновано підходи щодо кількісної оцінки виявлених ризиків. Це дозволило отримати вирази для обчислення коефіцієнта навігаційної безпеки для конкретних ділянок та всієї портової території. Підходи до оцінки ризиків та розроблені вирази можуть бути ключовими інструментами для визначення рівня безпеки навігації та прийняття обґрунтованих рішень у галузі навігації.

Важливо підкреслити, що отримані результати мають практичне значення для підвищення морської безпеки в межах портів. Запропоновані підходи сприяють більш точному аналізу ризиків та глибокому розумінню впливу різних факторів на безпеку навігації.

Таким чином, ця робота є важливим кроком до покращення ефективності та надійності навігації в морських портах.

Перелік використаних джерел:

1. Khan R.U., Yin J., Mustafa F.S. Accident and pollution risk assessment for hazardous cargo in a port environment. *PLoS ONE*. 2021. Vol. 16(6). Pp. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252732>.
2. Predicting the frequency of accidents in port areas by developing event trees from historical analysis / A. Ronza, S. Félez, R.M. Darbra, S. Carol, J.A. Vilchez, J. Casal. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2003. Vol. 16(6). Pp. 551-560. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2003.08.010>.
3. Darbra R.-M., Casal J. Historical analysis of accidents in seaports. *Safety Science*. 2004. Vol. 42(2). Pp. 85-98. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(03\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(03)00002-X).
4. Development of a system of indicators for sustainable port management / E. Peris-Mora, J.M.D. Orejas, A. Subirats, S. Ibáñez, P. Alvarez. *Marine Pollution Bulletin*. 2005. Vol. 50(12). Pp. 1649-1660. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.048>.
5. Ellis J. Undeclared dangerous goods – Risk implications for maritime transport. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2010. Vol. 9(1). Pp. 5-27. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03195163>.
6. Berle Ø., Asbjørnslett B.E., Rice J.B. Formal Vulnerability Assessment of a maritime transportation system. *Reliability Engineering & System Safety*. 2011. Vol. 96(6). Pp. 696-705. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.12.011>.
7. Montewka J., Ehlers S., Goerlandt F., Hinz T., Tabri K., Kujala P. A framework for risk assessment for maritime transportation systems – A case study for open sea collisions involving RoPax vessels. *Reliability Engineering & System Safety*. 2014. Vol. 124. Pp. 142-157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.11.014>.
8. Goerlandt F., Montewka J. A framework for risk analysis of maritime transportation systems: A case study for oil spill from tankers in a ship-ship collision. *Safety Science*. 2015. Vol. 76. Pp. 42-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.009>.

References:

1. R.U. Khan, J. Yin, and F.S. Mustafa, «Accident and pollution risk assessment for hazardous cargo in a port environment», *PLoS ONE*, vol. 16(6), pp. 1-20, 2021. doi: **10.1371/journal.pone.0252732**.
2. A. Ronza, S. Félez, R.M. Darbra, S. Carol, J.A. Vilchez, and J. Casal, «Predicting the frequency of accidents in port areas by developing event trees from historical analysis», *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 16(6), pp. 551-560, 2003. doi: **10.1016/j.jlp.2003.08.010**.
3. R.-M. Darbra, and J. Casal, «Historical analysis of accidents in seaports», *Safety Science*, vol. 42(2), pp. 85-98, 2004. doi: **10.1016/S0925-7535(03)00002-X**.
4. E. Peris-Mora, J.M.D. Orejas, A. Subirats, S. Ibáñez, and P. Alvarez, «Development of a system of indicators for sustainable port management», *Marine Pollution Bulletin*, vol. 50(12), pp. 1649-1660, 2005. doi: **10.1016/j.marpolbul.2005.06.048**.
5. J. Ellis, «Undeclared dangerous goods – Risk implications for maritime transport», *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 9(1), pp. 5-27, 2010. doi: **10.1007/BF03195163**.
6. Ø. Berle, B.E. Asbjørnslett, and J.B. Rice, «Formal Vulnerability Assessment of a maritime transportation system», *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 96(6), pp. 696-705, 2011. doi: **10.1016/j.ress.2010.12.011**.
7. J. Montewka, S. Ehlers, F. Goerlandt, T. Hinz, K. Tabri, and P. Kujala, «A framework for risk assessment for maritime transportation systems – A case study for open sea collisions involving RoPax vessels», *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 124, pp. 142-157, 2014. doi: **10.1016/j.ress.2013.11.014**.
8. F. Goerlandt, and J. Montewka, «A framework for risk analysis of maritime transportation systems: A case study for oil spill from tankers in a ship-ship collision», *Safety Science*, vol. 76. pp. 42-66, 2015. doi: **10.1016/j.ssci.2015.02.009**.

Рецензент: І.П. Гончарук
канд. техн. наук, доц., ОНМУ

Стаття надійшла 25.06.2023
Стаття прийнята 13.07.2023