

УДК 621.316.313:629.5.067

DOI 10.47049/2226-1893-2023-3-34-46

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА РІВНЯ БЕЗПЕКИ СУДНА НА ПРИКЛАДІ БАГАТОШАРОВОЇ МОДЕЛІ

О.М. Мельник

к.т.н, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки

ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація. В даній статті проводиться аналіз різних методів оцінки рівня безпеки транспортних суден під час експлуатації.

Основою для аналізу є модель «шарів безпеки», яка дозволяє виявити потенційні загрози безпеці на різних рівнях усередині судна.

В роботі представлено огляд моделей безпеки які використовуються в судноплаванні та важливість наявності якісних даних для їх розробки, пропонується використання різних методів для оцінки ймовірності виникнення загроз, зокрема пожеж. Також підкреслюється необхідність дотримання стандартів і нормативів у сфері забезпечення безпеки морських суден та надаються рекомендації щодо вдосконалення методів і підходів до забезпечення безпеки, з метою подальшого підвищення рівня експлуатаційної безпеки судна та надійності морських перевезень вантажів.

Ключові слова: модель безпеки судна, морське перевезення, експлуатація судна, моделювання ризиків морської безпеки, пожежна безпека на судні, морський транспорт.

UDC 621.316.313:629.5.067

DOI 10.47049/2226-1893-2023-3-34-46

ANALYSIS AND EVALUATION OF SHIP SAFETY LEVEL ON THE BASIS OF A MULTILAYER MODEL

O.M. Melnyk

PhD (Eng.), Associate Professor at the Department of Navigation and Maritime Safety

ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

Odesa national maritime university, Odesa, Ukraine

Abstract. *This article offers an analysis of ways to assess the level of safety of transport vessels in operation using the «layers of safety» model.*

Recommendations are given on how to apply such a model to identify and eliminate possible security threats at different levels within the ship.

The article also emphasizes the importance of quality data on which the model is based and suggests the use of various methods and formulas to assess the likelihood of safety hazards, such as fires.

It calls for compliance with standards and regulations in the field of maritime transport safety and recommends continuous improvement of security methods and techniques to achieve a higher level of reliability in the maritime transportation of goods.

Keywords: *ship safety model, maritime transportation, ship operation, maritime safety risk modeling, fire protection, maritime transport.*

Вступ. Морський транспорт являє собою складне й унікальне середовище з високими ступенями ризику. У цьому контексті розроблення ефективних та результативних заходів протидії виникненню негативних явищ є невід'ємною частиною забезпечення безпеки суден, екіпажів і навколишнього середовища протягом експлуатаційного періоду, адже морські перевезення є важливим компонентом у системі міжнародної торгівлі та запорукою умов глобального економічного розвитку. Тому з метою досягнення високого рівня надійності та безпеки морських перевезень важливо вдосконалювати методи та засоби забезпечення безпеки безпосередньо на суднах.

Було проведено численні дослідження з метою розробки ефективних моделей безпеки, які дозволяють оцінювати та управляти ризиками, пов'язаними з різними аспектами експлуатаційної безпеки судна. Огляд літератури, проведений в даній статті, дозволяє розглянути різні аспекти безпеки судна та моделі підвищення ефективності експлуатації судна і забезпечення його безпеки. В ньому були враховані наукові праці, які розглядають такі теми, як моделювання експлуатаційної безпеки суден, прогнозування небезпеки за допомогою штучного інтелекту, безпека судових операцій, моделі оцінки рівня безпеки тощо.

Так в [1] описується модель, заснована на безпеці та свідомості членів екіпажу в процесі обробки та утилізації експлуатаційних та харчових відходів на судні. У [2] досліджується модель прогнозування безпеки штучного інтелекту та втручання в основні процеси керування судном. У [3] пропонується модель ризику безпеки пасажирського судна під час пожежі та її застосування. У [4] проводиться оцінка безпеки евакуації людських мас на круїзних суднах на основі моделей накопичення відхилень і соціальних сил. Праця [5] пропонує модель оцінки безпеки швартовних операцій суден у портовому доці – модель оцінки розривів на основі розмитого аналізу ієрархічного процесу. У роботі [6] розглядаються моделі та їх застосування в системі забезпечення безпеки судноплавства. Стаття [7] пропонує концепцію інформаційної системи, заснованої на ризику, для забезпечення безпеки експлуатації судна в умовах льодового покрову. Джерела [8-9] розглядають ефек-

тивність експлуатації суден у перевезенні проектних вантажів шляхом оптимізації режиму швидкості з урахуванням впливу погодних умов.

В цілому, цей огляд літератури пропонує широкий спектр статей, що охоплюють різні аспекти безпеки судноплавства та підкреслюють необхідність додатково висвітлення актуальних проблем безпеки і розробки рішень для забезпечення безпеки та підвищення ефективності судноплавства.

Постановка проблеми. Однією з головних проблем, з якою стикається сучасне судноплавство, є ефективна оцінка ризиків в сфері морських перевезень. Вона охоплює складнощі в оцінці ймовірності виникнення різних аварійних ситуацій, аналізі наслідків таких ситуацій і обліку невизначеностей, пов'язаних із безпекою судна в морському середовищі. Іншою проблемою може бути невідповідність між різними моделями безпеки, які використовуються для забезпечення експлуатаційної безпеки суден, частково з приводу того, що такі моделі розроблені різними організаціями або в різних країнах і не мають єдиних стандартів і протоколів. Це може ускладнити обмін інформацією, зіставлення даних і прийняття узгоджених рішень у сфері забезпечення безпеки судноплавства. Крім того, важливим аспектом є врахування людського фактора в моделях безпеки, адже екіпажі суден відіграють вирішальну роль у забезпеченні безпеки на борту, і необхідно врахувати людський фактор під час розроблення моделей безпеки та навчання екіпажів.

Мета статті полягає в дослідженні та аналізі моделей безпеки в морській сфері та виявленні основних проблем, з якими стикаються ці моделі. Отже, основним завданням цієї статті є аналіз проблем, пов'язаних із моделями морської безпеки, з метою вироблення рекомендацій і поліпшення наявних моделей для забезпечення ефективнішої та надійнішої безпеки в морській сфері.

Результати досліджень. Оцінювання ризику під час вирішення проблем безпеки суден як технічних систем, передбачає системний підхід, який враховує різні чинники, що впливають на ризик. Існують різні підходи до оцінювання ризику:

- Інженерний підхід ґрунтується на аналізі статистики поломок і аварій. Він дає змогу визначити ймовірність виникнення певних подій і проводить імовірнісний аналіз безпеки.
- Модельний підхід використовує моделювання впливу шкідливих факторів на людину та навколишнє середовище. Цей підхід допомагає аналізувати наслідки подій та їхній вплив на систему.
- Експертний підхід включає опитування досвідчених експертів, які можуть оцінити ймовірність і наслідки подій на основі свого досвіду і знань.
- Соціологічний підхід досліджує ставлення суспільства до різних ризиків. Він ґрунтується на опитуваннях та аналізі громадської думки, щоб зрозуміти сприйняття ризику та його соціальні наслідки.

У процесі оцінки ризику також необхідно враховувати невизначеності, які також можуть виникнути на безпеку процесу експлуатації судна. Аналіз невизна-

ченостей охоплює врахування можливих варіацій і непередбачених обставин, щоб узяти до уваги різні сценарії та розробити заходи для зниження ризику.

Застосування моделей безпеки є структурованим підходом до оцінки рівня безпеки в певній галузі, суднопластво не є виключенням. Це комплексний підхід, який враховує безліч чинників, а саме стандарти безпеки, ризику та небезпеки, процеси управління ризиками, технічні характеристики тощо. Мета модельного підходу – забезпечити безпечне функціонування системи та запобігти потенційним аваріям і подіям. Вона може бути представлена у вигляді математичних моделей, схем, діаграм, таблиць та інших графічних або текстових форматів та охоплювати процес аналізу та оцінювання ризиків, вжиття заходів для усунення виявлених вразливостей і недоліків, а також здійснення моніторингу та контролю за виконанням стандартів безпеки.

Прикладами деяких поширених моделей безпеки, які використовуються в сучасному суднопластві є «модель безпеки мореплавання» (Maritime Safety Model), «модель безпеки судна» (Ship Safety Model) і «модель ризиків безпеки судноплавання» (Maritime Safety Risk Model). Усі вони засновані на багаторічних дослідженнях і досвіді, накопиченому фахівцями і науковцями в морській індустрії.

Модель морської безпеки (Maritime Safety Model), – це комплексна система, що використовується для оцінки та управління ризиками безпеки в морській галузі. Це структурований підхід до виявлення, аналізу, оцінки та контролю ризиків, пов'язаних з морськими операціями, з метою запобігання аваріям, інцидентам та іншим подіям, пов'язаним з безпекою. Модель охоплює широкий спектр факторів, що впливають на безпеку мореплавання, включаючи дизайн і конструкцію судна, обладнання і системи, підготовку і досвід екіпажу, експлуатаційні процедури, умови навколишнього середовища, відповідність нормативним вимогам і людський фактор. Вона також враховує специфічні характеристики різних типів суден, таких як вантажні судна, танкери, пасажирські судна і рибальські судна та зазвичай складається з декількох етапів, серед яких (табл. 1).

Така модель безпеки широко використовується в морській індустрії, в тому числі судновласниками та операторами, регуляторними органами і класифікаційними товариствами, для забезпечення безпечної та ефективної роботи на морі. Вона також постійно розвивається і вдосконалюється, оскільки з'являються нові технології, правила і передовий досвід.

Одним з основних завдань моделі безпеки є врахування різних факторів, які можуть впливати на безпеку судна. Ці фактори можуть охоплювати технічні аспекти, такі як стан обладнання та інфраструктури, а також людський фактор, наприклад, рівень навчання і досвіду екіпажу, культуру безпеки тощо. Модель безпеки також може містити оцінку рівня ризику і небезпеки в різних сценаріях, як-от плавання під час шторму, в льодах або в тумані, а також під час заходу і виходу з порту. На основі цих оцінок, модель безпеки може надати рекомендації щодо поліпшення безпеки судна і зменшення ризиків.

Таблиця 1

Основні етапи моделі морської безпеки

Ідентифікація небезпеки	На цьому етапі передбачається визначення потенційних небезпек, які можуть завдати шкоди людям, судну, вантажу, навколишньому середовищу такі як зіткнення, посадка на міліну, пожежі та забруднення.
Оцінка ризику	Цей етап включає в себе оцінку ймовірності настання та наслідків кожної з виявлених небезпек з використанням різних методів, таких як аналіз дерева несправностей, аналіз дерева подій та аналіз «метелика».
Управління ризиками	Передбачає розробку і впровадження заходів для контролю і зниження виявлених ризиків, таких як впровадження процедур безпеки, вдосконалення конструкції судна, проведення тренінгів і навчання, а також поліпшення комунікації та співпраці між зацікавленими сторонами.
Моніторинг та огляд	Передбачає постійний моніторинг та оцінку ефективності заходів з управління ризиками, а також внесення необхідних коректив для забезпечення безпеки та дотримання нормативних вимог.

Модель безпеки судна – (Ship Safety Model) являє собою системний підхід до аналізу та оцінки рівня безпеки на судні. Вона призначена для ідентифікації потенційних загроз і ризиків безпеки, а також для розроблення відповідних заходів і засобів для їх запобігання або усунення. Модель безпеки судна містить різні компоненти і шари безпеки, які оцінюються й аналізуються незалежно один від одного. Кожен шар безпеки фокусується на конкретних аспектах безпеки і містить відповідні заходи та системи. Застосування моделі безпеки судна дає змогу систематично досліджувати й оцінювати ризики та загрози на різних рівнях судна, починаючи від фізичних аспектів (наприклад, структура судна, системи пожежогашіння) до операційних аспектів (наприклад, управління безпекою, навчання екіпажу). Вона дає змогу виявити вразливості та потенційні проблеми безпеки і розробити заходи для їх усунення або зниження.

Модель ризиків морської безпеки (Maritime Safety Risk Model) – це система, що використовується для оцінки та управління ризиками, пов'язаними з морськими операціями. Це комплексний підхід до виявлення, аналізу, оцінки та контролю ризиків, існуючих у судноплавстві, з метою запобігання аваріям, інцидентам та іншим подіям, пов'язаним з безпекою. Вона є інструментом для аналізу та оцінки ризиків, пов'язаних з морськими перевезеннями та дозволяє ідентифікувати потенційні небезпеки та визначати ймовірність їх виникнення, а також оцінювати наслідки цих ризиків.

Модель ризиків морської безпеки базується на системному підході до аналізу безпеки. Вона враховує різноманітні фактори, що впливають на безпеку морських перевезень, включаючи технічні аспекти судна, людський фактор, експлуатаційні умови, природні та інші зовнішні чинники.

Модель ризиків морської безпеки використовується для визначення рівня ризику на різних етапах морського перевезення, включаючи планування маршруту, навігацію, ремонт та обслуговування судна, реагування на надзвичайні ситуації та інші процеси. Шляхом ідентифікації потенційних загроз та їх оцінки модель допомагає приймати рішення з метою запобігання аваріям, забезпечення безпеки екіпажу, судна та вантажу а також зменшення впливу на довкілля.

Одним із дієвих інструментів забезпечення безпеки є модель «шарів безпеки» – яка дає змогу оцінити рівень безпеки на різних рівнях усередині судна. Вона ґрунтується на припущенні, що кожен рівень всередині судна має свій власний рівень безпеки, і що рівні можна класифікувати за ступенем ризику.

Модель «шарів безпеки» складається з декількох шарів, кожен з яких являє собою окремих рівень всередині судна. Наприклад, перший шар може являти собою область містка і кабін команди судна, другий шар може являти собою машинне відділення, третій шар – вантажні приміщення і так далі. Кожен шар оцінюється на основі своїх характеристик і потенційних ризиків. Оцінка рівня безпеки на кожному шарі охоплює ідентифікацію можливих загроз безпеці, визначення ймовірності їх виникнення, а також оцінку наслідків, якщо загроза все ж таки станеться. Ці характеристики можуть варіюватися залежно від типу судна, його призначення, умов експлуатації та інших факторів.

На рис.1 зображено організацію двох основних рівнів з «шарів безпеки» всередині судна: внутрішній і зовнішній шари безпеки в рамках загальної безпеки судна.

Обидва рівні безпеки взаємодіють між собою і сприяють досягненню загального рівня безпеки судна в цілому що дає змогу систематично аналізувати й оцінювати рівні безпеки кожного з шарів та ухвалювати відповідні заходи і рішення для усунення можливих загроз безпеки на кожному рівні. Наприклад, при виявленні недоліків або ризиків внутрішнього шару безпеки, можуть бути вжиті заходи щодо поліпшення систем пожежогасіння, впровадження додаткових засобів контролю тощо. Аналогічно, на зовнішньому шарі безпеки можна взяти заходів для забезпечення більш точної навігації, поліпшення систем зв'язку та підвищення заходів запобігання зіткненням.

У моделі «шарів безпеки» застосовуються різні методи для оцінювання рівня безпеки на кожному шарі. Деякі з цих методів можуть включати використання алгоритмів для обчислення ймовірності виникнення загроз безпеки та їхніх наслідків.

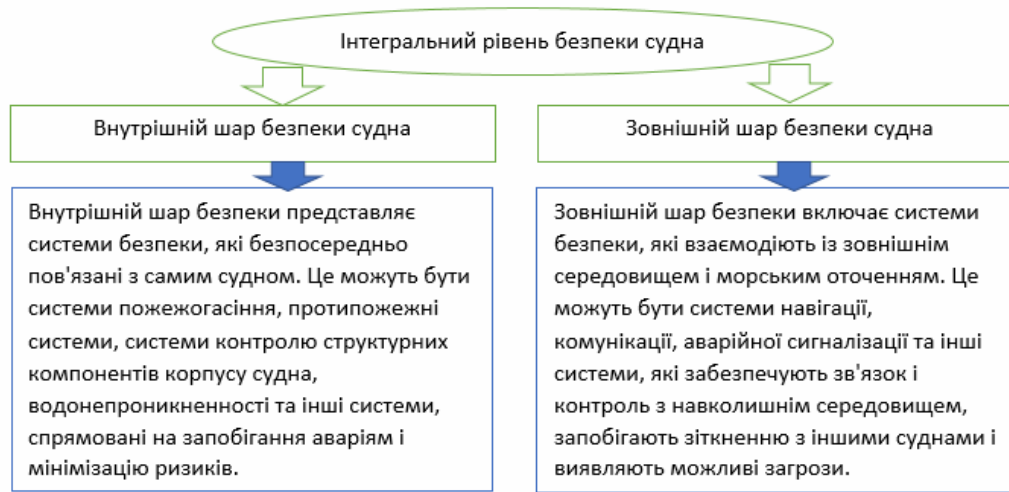


Рис. 1. Структура забезпечення загальної безпеки судна

Одним із прикладів, який може використовуватися в моделі «шарів безпеки», може бути розрахунок імовірності виникнення пожежі на судні, що може бути визначено на основі різних чинників, як-от кількість пального та легкозаймистих матеріалів на борту судна, наявність систем пожежогасіння, умови експлуатації та інші. У загальному вигляді можна представити у вигляді

$$P = (F + S + M + E) \times C \quad (1)$$

де P – імовірність виникнення пожежі на судні (%);

F – кількість палива на борту судна (т);

S – кількість легкозаймистих матеріалів (т);

M – наявність систем пожежогасіння та їхня ефективність;

E – умови експлуатації судна, як-от температура, вологість і т. ін.;

C – коефіцієнт, що враховує інші чинники.

Для розрахунку моделі протипожежної безпеки судна, можна використовувати метод визначення категорії ризику пожежі. Для необхідно розрахувати показники пожежного навантаження і протипожежного захисту, ґрунтуючись на умовних характеристиках судна і технічних можливостях його систем пожежогасіння:

довжина судна – $L = 125$ м;

ширина судна – $B = 27$ м;

висота борту судна – $H = 12$ м;

осадка у вантажі – $T = 9$ м;

водотоннажність судна – $D = 25000$ т;

система автоматичного гасіння пожеж у трюмах – CO_2 ;

пожежні сповіщувачі на кожній палубі і в кожному з 5 трюмів;

вогнегасники CO₂ і порошкові біля кожного трюму і на кожній палубі (5 палуб);

системи вентиляції в трюмах;

внтаж – зерно навалом.

Для розрахунку пожежного навантаження (ПН) на площі 1 м² можна використовувати таку формулу:

$$ПН = Q / A \quad (2)$$

де ПН – пожежне навантаження (дж/м²);

Q – кількість енергії, що виділяється під час горіння матеріалів (дж.);

A – площа, на якій відбувається горіння (м²).

Формула (2) дає змогу обчислити пожежне навантаження на одиничній площі та є інструментом для оцінки енергетичного потенціалу пожежі. З огляду на пожежне навантаження, можна оцінити потенційні ризики і вжити відповідних заходів для забезпечення безпеки на судні.

Для судна із зерновим вантажем ми можемо прийняти пожежне навантаження $Q_i = 350$ МДж/м². Таким чином, пожежне навантаження для нашого судна буде

$$ПН = Q_i / S = 350 \text{ МДж/м}^2 / (125 \text{ м} \times 27 \text{ м}) = 1,17 \text{ МДж/м}^2. \quad (3)$$

Протипожежний захист (ПЗ) – це кількість засобів пожежогасіння, необхідних для гасіння пожежі на площі 1 м². Для розрахунку протипожежного захисту ми можемо використовувати таку формулу:

$$ПЗ = V / S \quad (4)$$

де V – обсяг ефективності використання засобів пожежогасіння (м³), необхідних для гасіння пожежі на площі S (м²).

Для судна із системою автоматичного гасіння пожеж у трюмах CO₂, вуглекислотними і порошковими вогнегасниками біля кожного трюму та на кожній палубі, а також системами вентиляції в трюмах, ми можемо прийняти, що необхідний обсяг засобів пожежогасіння на площі 1 м² становить $V = 0,1$ м³/м². Таким чином, протипожежний захист для судна буде

$$ПЗ = V / S = 0,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 / (125 \text{ м} \times 27 \text{ м}) = 0,000296 \text{ м}^3/\text{м}^2. \quad (5)$$

Використовуючи отримані показники пожежного навантаження і протипожежного захисту, ми можемо визначити категорію ризику пожежі на судні. Залежно від отриманих значень, судно може бути віднесено до однієї з таких категорій (табл. 2).

Таблиця 2

Категоризація ризиків пожежі

Категорія	Ступінь ризику	Значення
Категорія 1	низький ризик	$ПН < 2,5 \text{ МДж/м}^2$, $ПЗ > 0,0002 \text{ м}^3/\text{м}^2$
Категорія 2	середній ризик	$2,5 \text{ МДж/м}^2 \leq ПН < 7,5 \text{ МДж/м}^2$, $0,0001 \text{ м}^3/\text{м}^2 < ПЗ \leq 0,0002 \text{ м}^3/\text{м}^2$
Категорія 3	високий ризик	$ПН \geq 7,5 \text{ МДж/м}^2$, $ПЗ \leq 0,0001 \text{ м}^3/\text{м}^2$

У нашому випадку, судно має пожежне навантаження $ПН = 1,17 \text{ МДж/м}^2$ і протипожежний захист $ПЗ = 0,000296 \text{ м}^3/\text{м}^2$. Згідно з критеріями, умовне судно належить до категорії 2 (середній ризик) з пожежної безпеки.

Розрахувавши категорію ризику пожежі на судні, можна взяти заходів щодо поліпшення протипожежного захисту та зниження ризику виникнення і поширення пожежі на борту. Результати розрахунку категорії ризику пожежі можуть використовуватися для вжиття заходів щодо поліпшення протипожежного захисту судна і зниження ймовірності виникнення і поширення пожежі на борту. Наприклад, можна встановити додаткові системи детектування та гасіння пожежі, забезпечити наявність достатньої кількості вогнегасників на борту, проводити регулярні перевірки та обслуговування систем протипожежного захисту та навчати екіпаж і пасажирів правилам поведінки в разі пожежі на борту.

Далі, необхідно оцінити ймовірність виникнення пожежі на судні. Для цього необхідно враховувати різні чинники, такі як наявність джерел запалювання (електроприладів, нагрівальних приладів тощо), наявність легкозаймистих матеріалів, характеристики вантажу тощо. У цьому випадку припустимо, що ймовірність виникнення пожежі на судні становить 0,5 % протягом одного рейсу.

Також, необхідно визначити час виявлення пожежі та час впливу продукту горіння. Припустимо, що час виявлення пожежі становить 5 хвилин, а час впливу продукту горіння (CO^2) становить 45 хвилин. Використовуючи ці дані, можна розрахувати пожежну небезпеку судна наступним чином:

$$P = Pp \times (1 - (Tt + Tr) / Td) \quad (6)$$

де P – пожежна небезпека судна;

Pp – ймовірність виникнення пожежі на судні за один рейс;

Tt – час виявлення пожежі;

Tr – час реакції на пожежу (час, за який екіпаж судна починає боротися з пожежею);

Td – час дії продукту горіння. Підставив значення в формулу, отримаємо

$$P = 0,005 * (1 - (5 + 0) / 45) = 0,0031 \quad (7)$$

Таким чином, пожежна небезпека судна становить 0,31 %. Оцінка пожежної небезпеки дає змогу визначити ефективність системи протипожежного захисту судна та вжити заходів для її поліпшення, а також дає змогу оцінити ризики виникнення і поширення пожежі на борту судна. Основні фактори, що впливають на пожежну небезпеку судна, включають у себе пожежне навантаження, протипожежний захист, доступність і якість протипожежного обладнання, а також рівень навчання і готовності екіпажу до дій у разі пожежі. Під час визначення категорії ризику пожежі на судні, а також під час розроблення та поліпшення системи протипожежного захисту, необхідно враховувати всі ці фактори.

Дерево рішень є потужним інструментом та може бути використане і під час пожежі для організації та керування процесом пожежогасіння і прийняття рішень. Воно може служити засобом структурування дій і варіантів дій під час пожежі, оцінки їх наслідків та визначення оптимального шляху дій для забезпечення безпеки та мінімізації збитків (рис. 2).



Рис. 2. Дерево рішень у разі виникнення пожежі

Однак, слід зазначити, що конкретна схема розрахунку ймовірності виникнення пожежі може змінюватись залежно від конкретних умов і вимог, і що використання цього прикладу є лише одним із багатьох методів для оцінки безпеки на судні в рамках моделі «шарів безпеки». Модель «шарів безпеки» може використовуватися для оцінки безпеки судна протягом виконання будь яких рутинних морських операцій, наприклад під час складних навігаційних умов переходу, кожен шар моделі може відповідати різним аспектам безпеки плавання, таким як:

- шар погоди з оцінкою поточних метеорологічних умов, таких як температура повітря, температура води, швидкість вітру і стан видимості;

- шар навігаційного обладнання з оцінкою наявності та ефективності використання навігаційних засобів на борту судна, таких як радар, ехолот, система GPS тощо;

- шар екіпажу судна з оцінкою компетентності та професіоналізму, а також готовності та вміння реагувати на екстрені ситуації в умовах поганій видимості;

- шар систем безпеки судна з оцінкою наявності та ефективності функціонування систем безпеки на борту судна, таких як системи аварійного зупинення двигуна, системи пожежогасіння, системи водонепроникнення тощо;

- шар безпеки навколишнього середовища. Оцінка можливих наслідків у разі аварії, таких як зіткнення з іншими суднами або заподіяння шкоди навколишньому середовищу.

Для кожного з цих шарів можуть використовуватися різні методи оцінки безпеки, включно з математичними моделями, аналізом даних та експертними оцінками. Наприклад, для оцінки ймовірності зіткнення з іншими суднами може використовуватися математична модель, що ґрунтується на даних про рух суден у цьому районі та загальну кількість суден, а для оцінки компетентності команди судна може використовуватися експертна оцінка, проведена кваліфікованими спеціалістами з безпеки.

Висновки. Загалом, модель «шарів безпеки» може бути ефективним інструментом для оцінки безпеки під час плавання та дає змогу оцінити рівень безпеки на різних рівнях усередині судна і вжити заходів для усунення можливих загроз безпеці на кожному з шарів, що дає змогу більш ефективно управляти ризиками і підвищувати загальну безпеку судна, аналізувати і оцінювати ризики, пов'язані із пожежею на судні, та ухвалювати обґрунтовані рішення. Такі моделі дають змогу знизити ризики на судні, підвищити безпеку екіпажу і вантажів, а також сприяють ефективному управлінню аварійними ситуаціями. Вони можуть бути застосовані в різних сферах морської діяльності для забезпечення більш високого рівня безпеки та захисту. Важливо зазначити, що модель «шарів безпеки» є лише інструментом аналізу та оцінки безпеки судна, і її ефективність залежить від якості та достовірності даних, на яких вона заснована. Також необхідне постійне оновлення моделей та їх адаптація до мінливих умов і вимог, щоб забезпечити безперервне підвищення рівня безпеки морських перевезень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kuncowati, & Sholihah, Qomariyatus & Ciptadi, Gatot & Koderi,. (2022). *Handling Waste on Ships: A Model Based on Safety and Awareness. LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics.* 13. 222-232. 10.2478/logi-2022-0020.
2. Liu, Runnan & Liu, Guangze & He, Pengfei & Lin, Xingzhi. (2022). *Research on artificial intelligence safety prediction and intervention model based on ship driving habits. MATEC Web of Conferences.* 355. 03032. 10.1051/mateconf/202235503032.

3. Spyrou, Kostas & Koromila, Ioanna. (2020). *A risk model of passenger ship fire safety and its application*. *Reliability Engineering & System Safety*. 200. 106937. [10.1016/j.ress.2020.106937](https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106937).
4. Li, Jianing & Wang, Gaoshuai & Guo, Yong & Liu, Chao & Huang, Yiming & Chen, Gang. (2022). *Assessment of Escape Safety of Cruise Ships Based on Dislocation Accumulation and Social Force Models*. *Applied Sciences*. 12. 7998. [10.3390/app12167998](https://doi.org/10.3390/app12167998).
5. Hsu, Wen-Kai & Kao, Jui-Chung. (2021). *THE SAFETY OF SHIP BERTHING OPERATIONS AT PORT DOCK – A GAP ASSESSMENT MODEL BASED ON FUZZY AHP*. *International Journal of Maritime Engineering*. 159. [10.5750/ijme.v159iA4.1038](https://doi.org/10.5750/ijme.v159iA4.1038).
6. Szlapczynski, Rafal & Szlapczynska, Joanna. (2017). *Review of ship safety domains: Models and applications*. *Ocean Engineering*. 145C. 277-289. [10.1016/j.oceaneng.2017.09.020](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.09.020).
7. Yakimov, Vladimir. (2023). *A concept for onboard risk-based information system to ensure the safety of ship operation in ice conditions*. *AIP Conference Proceedings*. 2700. 060001. [10.1063/5.0125036](https://doi.org/10.1063/5.0125036).
8. Onyshchenko S., Melnyk O. (2021) *Probabilistic Assessment Method of Hydrometeorological Conditions and their Impact on the Efficiency of Ship Operation*. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 14 (6), 132 - 136. <https://doi.org/10.25103/jestr.146.15>
9. Onyshchenko, S., Melnyk, O. (2022) «Efficiency of Ship Operation in Transportation of Oversized and Heavy Cargo by Optimizing the Speed Mode Considering the Impact of Weather Conditions» *Transport and Telecommunication Journal*, vol.23, no.1, pp.73-80. <https://doi.org/10.2478/ttj-2022-0007>

REFERENCES

1. Kuncowati, S., Qomariyatus C., Gatot & Koderi (2022). *Handling Waste on Ships: A Model Based on Safety and Awareness*. *LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics*, 13, 222-232. <https://doi.org/10.2478/logi-2022-0020>.
2. Liu, R., Liu, G., He, P., Lin, X. (2022). *Research on artificial intelligence safety prediction and intervention model based on ship driving habits*. *MATEC Web of Conferences*, 355, 03032. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202235503032>.
3. Spyrou, K., Koromila, I. (2020). *A risk model of passenger ship fire safety and its application*. *Reliability Engineering & System Safety*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106937>.
4. Li, J., Wang, G., Guo, Y., Liu, C., Huang, Y., Chen, G. (2022). *Assessment of Escape Safety of Cruise Ships Based on Dislocation Accumulation and Social Force Models*. *Applied Sciences*, 12, 7998. <https://doi.org/10.3390/app12167998>.

5. Hsu, W-K., Kao, J-C. (2021). *The safety of ship berthing operations at port dock – a gap assessment model based on fuzzy ahp*. *International Journal of Maritime Engineering*, 159. <https://doi.org/10.5750/ijme.v159iA4.1038>.
6. Szlapczynski, R., Szlapczynska, J. (2017). *Review of ship safety domains: Models and applications*. *Ocean Engineering*, 145C, 277-289. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.09.020>.
7. Yakimov, V. (2023). *A concept for onboard risk-based information system to ensure the safety of ship operation in ice conditions*. *AIP Conference Proceedings*, 2700, 060001. <https://doi.org/10.1063/5.0125036>.
8. Onyshchenko S., Melnyk O. (2021) *Probabilistic Assessment Method of Hydrometeorological Conditions and their Impact on the Efficiency of Ship Operation*. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 14 (6), 132-136. <https://doi.org/10.25103/jestr.146.15>.
9. Onyshchenko, S., Melnyk, O. (2022) *Efficiency of Ship Operation in Transportation of Oversized and Heavy Cargo by Optimizing the Speed Mode Considering the Impact of Weather Conditions*. *Transport and Telecommunication Journal*, 23, 1, 73-80. <https://doi.org/10.2478/ttj-2022-0007>.

Стаття надійшла до редакції 12.05..2023

Посилання на статтю: Мельник О.М. Аналіз та оцінка рівня безпеки судна на прикладі багат шарової моделі // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2023. № 3 (70). С. 34-46. DOI 10.47049/2226-1893-2023-3-34-46.

Article received 12.05.2023

Reference a journalartic: Melnyk O. Analysis and evaluation of ship safety level on the basis of a multilayer model // Herald of the Odesa national maritime university: Coll. scient. works, 2023. № 3 (70). P. 34-46. DOI 10.47049/2226-1893-2023-3-34-46.