

trained on preprocessed data from normal engine operation. DAE training aims to find optimal encoder and decoder parameters that minimize a loss function. An important aspect is that the DAE is trained on noisy data, aiding in extracting robust and informative features. Subsequently, the trained DAE model is used to calculate the speed and acceleration of anomaly assessment at each time step in degradation data in the event of a fault. Generic and dynamic threshold values are simultaneously established. These calculations and threshold values dynamically change over time, enabling real-time fault detection. The proposed model has demonstrated high efficiency in detecting three types of faults in marine diesel engines: air filter clogging, turbocharger malfunction, and frequency-controlled fan faults. The model can be used for online fault detection, facilitating timely corrective actions. It holds promise for practical use in PHM systems for marine diesel engines. However, further development tasks include automating data labeling for both fault classification and Remaining Useful Life (RUL) predictions, as well as analyzing the root cause of faults and isolating them. Solving these tasks will enhance the model's effectiveness and accuracy.

Keywords: *automated detection, spectral anomalies, marine diesel engines, fault, auto-encoder, noise suppression, maintenance, operating conditions by condition, reliability, failure, technical condition, means of water transport, technical condition, means of water transport, designated resource, process, operation, ship equipment, river and sea transport*

УДК 656.61.084

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.12

Нікітін П.В., Гусак І.А.

МЕТОД УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ ВИКОНАННІ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Метою цієї статті є підвищення безпеки морських перевезень вантажів шляхом розробки та удосконалення методів оцінки та управління ризиками надзвичайних ситуацій. Дана стаття акцентує увагу на актуальності розробки та впровадження методу управління ризиками, пов'язаними з виникненням надзвичайних ситуацій під час морських перевезень. Незважаючи на значний науково-технічний прогрес у галузі безпеки мореплавства, частота аварій залишається високою. Основною метою є забезпечення безпеки під час морських перевезень та зменшення негативних факторів, що сприяють виникненню надзвичайних ситуацій. Поточне дослідження виявляє, що кількість інцидентів під час морських перевезень залишається високою та недостатньо зменшується. Аналіз практик підготовки та здійснення морських перевезень підкреслює, що підходи до оцінки та управління ризиками залишаються традиційними, і наукове забезпечення питань безпеки недостатньо розробляється. Тобто, аналіз існуючого досвіду та досліджень вказує на неповний розвиток наукових основ оцінки та управління ризиками в контексті морських перевезень вантажів. Методи оцінки ризиків надзвичайних ситуацій, а також оцінки безпеки та ефективності проектів транспортно-логістичних систем на основі критеріїв ризику потребують додаткової розробки. Питання прийняття рішень в управлінні ризиками також залишаються недостатньо дослідженими. Таким чином, дана стаття представляє інноваційний метод управління ризиками надзвичайних ситуацій на морських перевезеннях. Основною перевагою є інтегральний підхід, який дозволяє оцінити ризик на різних етапах перевезень вантажів. Цей метод базується на системному аналізі, детально розглядаючи ризики на кожному ланцюжку транспортно-логістичної системи. Такий підхід забезпечує більш точну оцінку можливих ризиків та дозволяє приймати

рішення щодо забезпечення безпеки на ранніх етапах проектування. Використання даного методу також сприяє зменшенню числа необґрунтованих ризикованих рішень, що дає можливість транспортним компаніям, власникам вантажів, морякам та власникам суден приймати додаткові заходи для забезпечення безпеки морських перевезень та зниження ймовірності аварійних ситуацій та їх наслідків.

Ключові слова: *метод управління ризиками, надзвичайні ситуації, морські перевезення, безпека, інтегральний аналіз, транспортно-логістичний ланцюг, оцінка ризику.*

Постановка проблеми. Розробка та впровадження методу управління ризиками надзвичайних ситуацій у морських перевезеннях має високу актуальність для забезпечення безпеки. Незважаючи на науково-технічний прогрес в області безпеки мореплавання, частота аварій залишається на високому рівні. Основним завданням при морських перевезеннях є забезпечення безпеки. Важливо зменшувати вплив негативних факторів, що спричиняють виникнення надзвичайних ситуацій.

Проте кількість інцидентів у морських перевезеннях все ще залишається високою і не зменшується в достатній мірі. Аналіз існуючих практик підготовки та здійснення морських перевезень показує, що підходи до оцінки та управління ризиками залишаються традиційними, і у розробці транспортно-логістичних систем недостатньо уділяється уваги науковому забезпеченню питань безпеки.

Проте аналіз існуючого досвіду та досліджень в галузі забезпечення безпеки перевезень вказує на недостатньо повний розвиток наукових основ оцінки та управління ризиками в контексті морських та мультимодальних вантажоперевезень. Методи комплексної оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій у цих галузях, а також оцінки безпеки та ефективності проектів транспортно-логістичних систем на основі критеріїв ризику залишаються недостатньо розробленими. Питання прийняття рішень у контексті управління ризиками також залишаються мало вивченими.

Все вищевказане визначає суперечність, коли, з одного боку, існує необхідність в посиленні безпеки та ефективності морських перевезень, а з іншого боку, теоретичні дослідження питань забезпечення безпеки в умовах невизначеності розвитку надзвичайних ситуацій залишаються недостатньо розробленими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, значна кількість досліджень присвячена підвищенню безпеки на морі та оцінки ризиків надзвичайних ситуацій [1-11].

Наприклад, у статті [1] зазначено, що в минулому морська галузь досить успішно зменшувала кількість великих аварій. Щоб продовжити цю тенденцію у майбутньому, необхідно внести певні інновації у попередні показники ризику. При правильному розробленні вони дозволяють визначити та оцінити існуючі ризики для судна та екіпажу в майбутньому, що, в свою чергу, дозволяє приймати пом'якшувальні заходи до того, як станеться небажана подія. Прямо зараз на можливість розробки таких попередніх показників ризику позитивно впливає тривала цифрова трансформація в морській галузі. По мірі того, як стає доступним все більше даних про роботу суден, їх можна використовувати в інноваційних рішеннях з управління ризиками. Поеднуючи ідею попередніх показників ризику з методами управління ризиками на основі даних та алгоритмів, цим документом спочатку встановлюється структура розробки моделей морських ризиків на основі даних, пов'язаних з безпекою, зібраних на борту. Структура розробки застосовується для перевірки концепції, де використовується інноваційний підхід, заснований на машинному навчанні, для розрахунку провідного показника морського ризику. У загальному підсумку, результати підтверджують, що підхід, заснований на даних та алгоритмах, можна використовувати для визначення основного показника ризику для кожного судна, навіть незважаючи на те, що досягнута ефективність моделі ще не вважається задовільною, і заплановані подальші дослідження.

У статті [2] визначено, що катастрофічні екологічні, людські та фінансові втрати, пов'язані з аваріями з небезпечними вантажами, продовжують викликати серйозне занепокоєння серед посадових осіб морського транспорту. Фактори, що спричиняють ці аварії при роботі з небезпечними вантажами в порту, потребують ретельного аналізу та оцінки, які поки що перебувають на початковому етапі. Відповідно до цих переважаючих проблем, це дослідження спрямоване на оцінку багатофакторних ризиків, пов'язаних з роботою з небезпечними вантажами в порту. Запропонована методологія поєднує експертні оцінки та огляд літератури для виявлення факторів та встановлення їх причинно-наслідкових зв'язків, а також баєсовську мережу (BN) для висновків, заснованих на 348 попередніх звітах про аварії з 1990 по 2018 рік. Результати показують, що за нормальних обставин ймовірність аварії зі значними наслідками становить 0.598, при цьому люди та управління найбільше сприяють цим факторам. За наявності ознак аварії на навколишнє середовище та забруднення, ймовірність інциденту «управління» збільшується на 0.706. Був проведений аналіз чутливості для визначення найбільш критичних факторів аварії з небезпечним вантажем. Це дослідження показує, що для уникнення нещасних випадків з небезпечними вантажами та зменшення важкості наслідків портові влади, зацікавлені державні органи та інші відповідні установи повинні приділяти особливу увагу кваліфікації, навчанню та ставленню залученої робочої сили. Крім того, було виявлено, що розробка та впровадження жорстких протоколів безпеки мають вирішальне значення. Це дослідження має практичне значення для підвищення безпеки та зниження ризиків, пов'язаних з перевезенням небезпечних вантажів в порту.

У роботі [3] визначено, що, як інтерфейс між морем і сушею, порти піддаються впливу широкого спектра природних небезпек, таких як циклони, повені та цунамі. В той же час морські вантажі зростають як за обсягом, так і за вартістю. Крім їх вразливості до різних небезпек під час морської подорожі, їх концентрація в портах підвищує ризик для самого вантажу, а також для порту. Мета цієї статті подвійна. По-перше, дослідження пропонує рамки аналізу ризику катастроф для морських вантажів та портів, розкладаючи процес термінальної діяльності на частини. Це дозволяє більш глибокий аналіз, досліджуючи різні аспекти цього процесу. По-друге, дослідження формулює модель переходу станів для симуляції сценаріїв. Це інтегрована і надійна модель ризику для аналізу вразливості морських вантажів та портів до природних небезпек. Порт Лаем Чабанг обраний як приклад для демонстрації аналізу ризику симуляції. Виявлено, що втрати можуть бути як фізичними втратами/пошкодженням, так і втратами через перерви з великим накопиченням вантажу через розриви в роботі порту.

Метою статті є підвищення безпеки морських вантажоперевезень шляхом розробки та вдосконалення методів оцінки та управління ризиками надзвичайних ситуацій.

Викладення основного матеріалу дослідження.

Метод управління ризиками надзвичайних ситуацій при здійсненні морських перевезень ґрунтується на застосуванні статистичної моделі безпеки перевезень морським транспортом та узагальненої моделі прогнозування розвитку надзвичайних ситуацій (рис. 1).

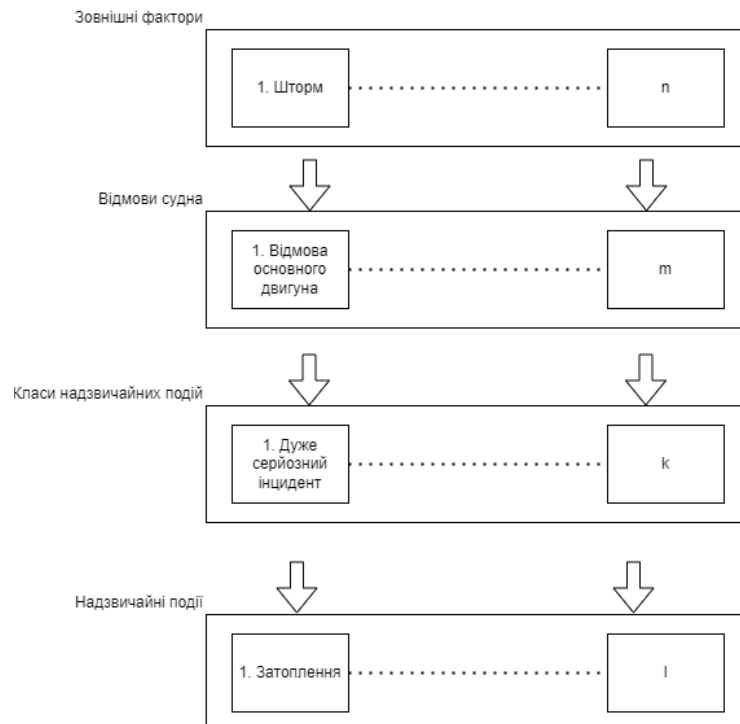


Рисунок 1. Узагальнена схема моделі прогнозування розвитку надзвичайних ситуацій

Вивчення статистичної інформації надає можливість виявити характер послідовності випадкових подій, визначити рівняння тенденцій розвитку надзвичайних ситуацій та обрати конкретну модель, яка описує рівень безпеки вантажних перевезень шляхом обчислення числових значень показників ризику.

При цьому розглядається статистична модель безпеки вантажних перевезень в певний період часу, яка представляється постійним пуасонівським потоком подій. Тут досліджується ймовірність того, що протягом певного періоду часу τ відбувається k подій:

$$P(X(t, \tau)) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}, \quad (1)$$

де P – ймовірність настання події;

$X(t, \tau)$ – функція кількості випадкових надзвичайних ситуацій;

k – кількість надзвичайних ситуацій протягом розглянутого часу;

$a = \delta\tau$ – параметр, що залежить від інтервалу часу та кількості надзвичайних ситуацій;

δ – інтенсивність потоку надзвичайних ситуацій;

τ – розглядаємий інтервал часу (розмірність вибирається залежно від конкретної задачі).

Також варто відзначити, що загальний потік надзвичайних ситуацій у транспортній системі формується з індивідуальних потоків випадкових подій, пов'язаних з різними причинами та транспортними маршрутами як на суходолі, так і на морі. Це дозволяє застосовувати основні принципи теорії потоків. Крім того, сума незалежних пуасонівських потоків також буде пуасонівським потоком.

При розробці методу управління ризиками надзвичайних ситуацій при морських перевезеннях враховуються такі обмеження та припущення:

– виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій відбувається згідно з заданою послідовністю етапів, зображених на рис. 1;

– виникнення надзвичайних ситуацій та подальших подій розглядається як послідовність взаємовиключних подій (A_i^j) та спільних подій (B_i).

До групи невзаємовиключних подій A_j^l входять такі: можливі відмови технічних систем j -го типу (де $j = 1, 2, \dots, J$) на ділянці маршруту l (де $l = 1, 2, \dots, L$), наприклад, основного двигуна. Ці відмови можуть бути джерелом, наприклад, зіткнень суден або, наприклад, аварійної посадки на мілину, але тільки одна подія A_j^l може призвести до однієї з надзвичайних ситуацій під час руху суден.

Події B_i – це взаємопов'язані події, одна з яких з певною ймовірністю може статися після настання події A_j^l . Іншими словами, подія B_i може призвести до зіткнення, аварійної посадки на мілину або спричинити інші наслідки, пов'язані з i -им типом негативних наслідків для судна.

Тоді ймовірність відмови j -го виду з i -им збитком $P(A_{ji}^l)$ будемо визначати як середньостатистичне значення відношення кількості транспортних засобів, які постраждали від надзвичайної ситуації через відмову j -го виду з i -им збитком в районах плавання l , до загальної кількості транспортних засобів, які проходять через ці райони

$$P(A_{ji}^l) = \frac{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}}{\sum_l N_l} \tag{2}$$

Вагові оцінки відмов j -го виду з i -им збитком в районах плавання l розраховуються відповідно до виразу

$$\omega(A_{ji}^l) = \frac{\sum_l N_l}{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}} \tag{3}$$

Оскільки джерела надзвичайних ситуацій встановлюються шляхом застосування експертних оцінок під час офіційного розслідування подій з транспортними засобами, ймовірності виникнення подій $P(A_{ji}^l)$ розглядаються як початкові ймовірності. В результаті, події A_j^l можна розглядати як набір гіпотез, які породжують відповідні події B_i .

Отже, якщо подія A_j^l сталася, то ймовірність гіпотез, які породжують події B_i , можна обчислити за допомогою теореми Байеса та виразу для перемноження ймовірностей

$$P(A_j^l | B_i) = \frac{P(A_j^l)P(B_i | A_j^l)}{\sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L P(A_j^l)P(B_i | A_j^l)} \tag{4}$$

де $P(A_j^l)$ – гіпотеза A_j^l ;

$P(B_i | A_j^l)$ – умовні ймовірності події B_i згідно з гіпотезою $P(A_j^l)$.

Провівши розрахунки для значень $P(B_i | A_j^l)$, можна визначити максимальне значення ймовірності, що допоможе визначити, які події A_j^l мають найбільший вплив на подію B_i .

Інтенсивність виникнення надзвичайних ситуацій протягом періоду T з різних причин, таких як відмови, екстремальні погодні умови та непередбачувані обставини, може бути обчислена на основі статистичних даних для кожної потенційно небезпечної області l з використанням наступного виразу:

$$\gamma_{(B_i | A_j^l)} = \frac{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}}{T_l} \tag{5}$$

і на основі одного, проходячи по районах l

$$\gamma_{(B_i | A_j^l)}^{\sum S} \gamma_{(B_i | A_j^l)} = \frac{\sum_j \sum_i \sum_l N_{jil}}{T_l \sum_l S_{tl}} \tag{6}$$

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

Тоді ймовірність виникнення надзвичайної ситуації може бути розрахована згідно з виразом

$$R(B) = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l P(A_j^l) P(B_i|A_j^l). \quad (7)$$

Вартість ризику аварії, позначена як R_i^l , визначається як добуток ймовірності аварії $P(B_i|A_j^l)$ на оцінку потенційного збитку, виражену через інтеграл функції збитку відносно змінної l (функція збитку для одиниці транспортного засобу)

$$R_i^l = P(B_i|A_j^l) \int W_i^l dl. \quad (8)$$

Узагальнена структура методу управління ризиками надзвичайних ситуацій під час морських перевезень з урахуванням формул (1) - (8) наведена на рис. 2.

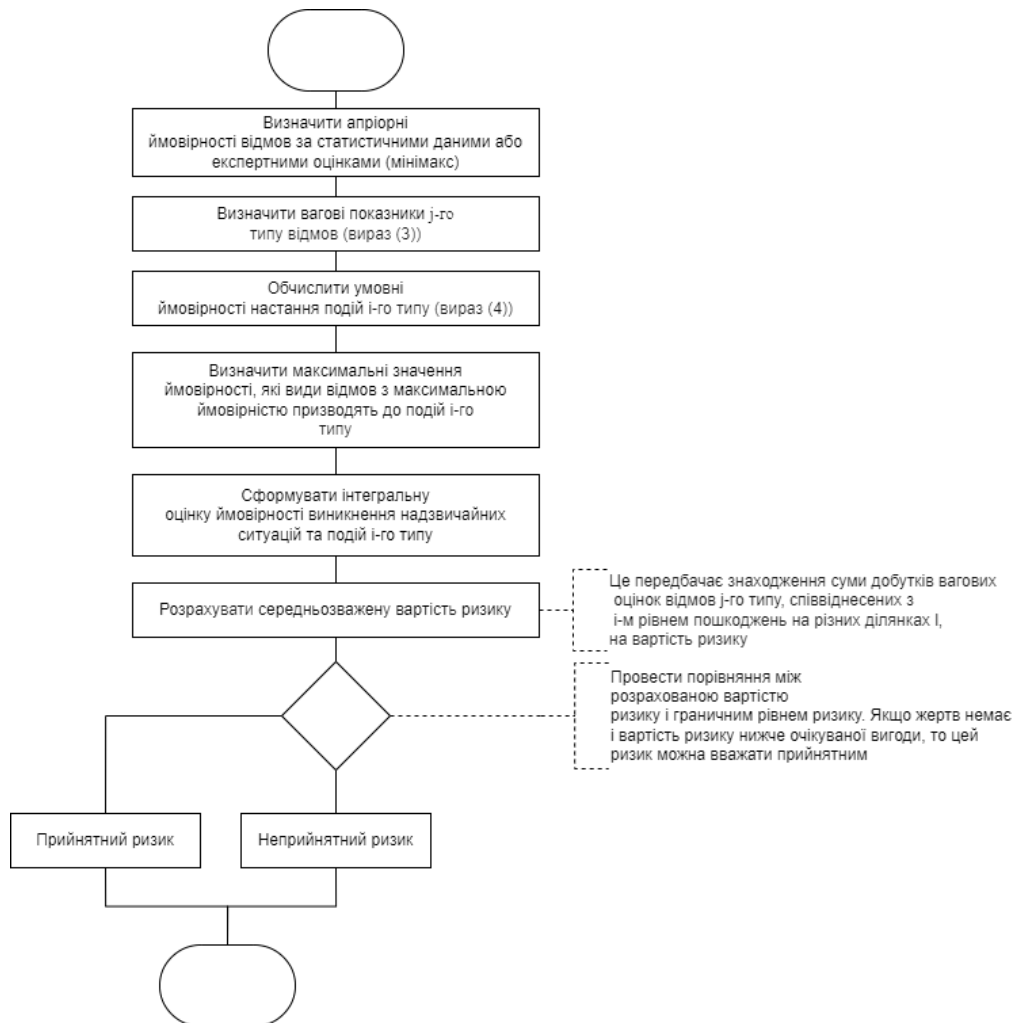


Рисунок 2. Узагальнена структура методу управління ризиками надзвичайних ситуацій під час морських перевезень

Отже, розроблений метод аналізує фактори та ризики на кожному етапі перевезення. Оцінка ризику надзвичайних ситуацій здійснюється для різних етапів, що дозволяє враховувати безпеку на ранніх стадіях проектування. Це допомагає оцінити рівень ризику для різних варіантів доставки та розглянути можливості зниження ризику. Маючи дані про ризик на різних

ділянках шляху, можна приймати більш обґрунтовані заходи безпеки, що зменшує ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій та завданого збитку.

Висновки. Таким чином, розроблений метод є інноваційним підходом, який дозволяє не лише оцінити рівень ризику, але й провести його комплексний аналіз на різних етапах вантажних перевезень. Однією з найважливіших особливостей цього методу є його інтегральний характер. На відміну від традиційних методів оцінки ризику, цей підхід ґрунтується на системному аналізі, в рамках якого докладно розглядаються та розраховуються ризики для кожного елемента, кожного етапу і кожного ланцюга транспортно-логістичної системи. Отже, забезпечується більш повне та точне уявлення про можливі ризики на кожному етапі перевезення. З використанням цього методу аналізуються фактори, які можуть вплинути на безпеку перевезень, а також виявляються фактори ризику. На основі цих даних здійснюється інтегральна оцінка ризику надзвичайних ситуацій. Це дозволяє на ранніх стадіях проектування транспортно-логістичних схем оцінити безпеку різних варіантів доставки вантажів та розглянути можливості зниження ризику до прийнятних значень. Крім того, використання цього методу сприяє зменшенню кількості необґрунтованих ризикових рішень. Це надає можливість транспортним компаніям, власникам вантажів, екіпажам суден та власникам суден приймати додаткові заходи для забезпечення безпеки перевезень, тим самим зменшуючи ймовірність виникнення аварійних ситуацій та їх потенційних наслідків.

REFERENCES

1. Kretschmann, L. Leading indicators and maritime safety: predicting future risk with a machine learning approach. *J. shipp. trd.* 5, 19 (2020). <https://doi.org/10.1186/s41072-020-00071-1>.
2. Khan RU, Yin J, Mustafa FS (2021) Accident and pollution risk assessment for hazardous cargo in a port environment. *PLoS ONE* 16(6): e0252732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252732>.
3. Gou, X., Lam, J.S.L. Risk analysis of marine cargoes and major port disruptions. *Marit Econ Logist* 21, 497–523 (2019). <https://doi.org/10.1057/s41278-018-0110-3>.
4. Balmat, Jean-Francois, et al. "MARitime RiSk Assessment (MARISA), a fuzzy approach to define an individual ship risk factor." *Ocean engineering* 36.15-16 (2009): 1278-1286.
5. Hänninen, Maria, Osiris A. Valdez Banda, and Pentti Kujala. "Bayesian network model of maritime safety management." *Expert Systems with Applications* 41.17 (2014): 7837-7846.
6. Hanzu-Pazara, Radu, et al. "Reducing of maritime accidents caused by human factors using simulators in training process." *Journal of Maritime Research* 5.1 (2008): 3-18.
7. Wang, Jin. "Maritime risk assessment and its current status." *Quality and Reliability Engineering International* 22.1 (2006): 3-19..
8. Wang, J., et al. "Use of advances in technology for maritime risk assessment." *Risk Analysis: An International Journal* 24.4 (2004): 1041-1063.
9. Siddiqui, Atiq W., and Manish Verma. "Assessing risk in the intercontinental transportation of crude oil." *Maritime Economics & Logistics* 20 (2018): 280-299.
10. Rouboutsos, Athena, Nikitas Nikitakos, and Stefanos Gritzalis. "Information technology network security risk assessment and management framework for shipping companies." *Maritime Policy & Management* 32.4 (2005): 421-432.
11. Tanackov, Ilija, et al. "Risk distribution of dangerous goods in logistics subsystems." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 54 (2018): 373-383.

Nikitin P., Husak I.

METHOD OF EMERGENCY RISK MANAGEMENT IN MARITIME TRANSPORT

The purpose of this article is to improve the safety of maritime transportation of goods by developing and improving methods for assessing and managing emergency risks. This article focuses

on the relevance of developing and implementing a method for managing risks associated with the occurrence of emergencies in maritime transportation. Despite significant scientific and technological progress in the field of maritime safety, the frequency of accidents remains high. The main goal is to ensure safety during maritime transport and reduce the negative factors that contribute to the occurrence of emergencies. The current study reveals that the number of maritime transport incidents remains high and is not sufficiently reduced. The analysis of the practices of preparing and carrying out maritime transport underlines that approaches to risk assessment and management remain traditional, and scientific support for safety issues is not sufficiently developed. In other words, the analysis of existing experience and research indicates that the scientific basis for risk assessment and management in the context of maritime transport of goods is incompletely developed. Methods for assessing emergency risks, as well as assessing the safety and efficiency of transport and logistics system projects based on risk criteria, need to be further developed. The issues of decision-making in risk management also remain insufficiently researched. Thus, this article presents an innovative method of managing the risks of maritime emergencies. The main advantage is an integral approach that allows to assess the risk at different stages of cargo transportation. This method is based on a systematic analysis, considering in detail the risks at each chain of the transport and logistics system. This approach provides a more accurate assessment of potential risks and allows for early decision-making on safety issues. The use of this method also helps to reduce the number of unreasonable risky decisions, which enables transport companies, cargo owners, seafarers and ship owners to take additional measures to ensure the safety of maritime transport and reduce the likelihood of accidents and their consequences.

Keywords: risk management method, emergencies, maritime transport, safety, integrated analysis, transport and logistics chain, risk assessment.

УДК 629.12.004:621.833.1.004.4

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.13

Савчук В.П., Зінченко Д.О., Кочетов Г.А., Дзигар А.К.

АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПІДШИПНИКІВ ШАТУНА СЕРЕДНЬООБЕРТОВОГО ДВИГУНА HYUNDAI HİMSEN H25/33 ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ З ДОПУСТИМИМИ ЗНАЧЕННЯМИ ЗАЗОРІВ БЕЗ РЕМОНТУ

Дана стаття присвячена визначенню впливу режимів навантаження та робочих зазорів на працездатність мотилевих та головних підшипників на прикладі суднового середньообертового дизеля Hyundai HiMSEN H25/33. Також важливим аспектом даного дослідження є аналіз безпечності роботи досліджуваних підшипників при складальних та граничних значеннях робочих зазорів. Приведено послідовність моделювання робочих процесів у підшипниках шатуна із застосуванням спеціалізованого програмного комплексу GT-Suite. Встановлено характеристики робочих параметрів досліджуваних підшипників при роботі дизеля на найбільш вживаному режимі навантаження 75 % $N_{ен}$ та перевантажувальному режимі 110 % $N_{ен}$ при складальних та допустимих без ремонту робочих зазорах. Отримані результати комп'ютерного моделювання протікання робочих процесів у мотилевих підшипниках вказують на наявність стійкого режиму гідродинамічного мащення при всіх варіантах навантажень та робочих зазорів. Встановлено, що при найбільш несприятливих умовах експлуатації величина мінімальної товщини змащувального шару становить 10,2 мкм.