

УДК 656.07: 005.4

DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-161-175

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ HAZOP ТА МОДЕЛІ XGBOOST

**В.М. Пітерська**

д.т.н., професор,

професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»

*varuwa@ukr.net*

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

***Анотація.** Метою дослідження є розробка системи управління ризиками на основі методу HAZOP та моделі XGBoost при доставці вантажів у міжнародному сполученні. Завдання дослідження склалися з аналіз стану системи доставки вантажів та впливу ризиків на організацію здійснення транспортно-експедиторської діяльності, обґрунтування важливості застосування системи управління ризиками при організації доставки вантажів, запропонування методологічних основ, що забезпечать розробку ефективної системи доставки вантажів із застосуванням ризико-орієнтованого підходу, формування моделі функціонування системи управління ризиками в рамках методу HAZOP та моделі градієнтного бустингу XGBoost при організації доставки вантажів.*

*Предметом дослідження є моделі і методи управління ризиками у системі доставки вантажів.*

*Актуальність дослідження полягає у важливості розробки методології, яка буде враховувати специфіку сучасних систем доставки вантажів та дозволить оптимізувати процеси управління ризиками.*

*Отримано наступні результати: було проаналізовано стан системи доставки вантажів і встановлена доцільність розробки системи управління ризиками при організації доставки. Визначено можливість застосування методу HAZOP при управлінні ризиками у системі доставки вантажів. Виявлено, що цей метод є структурованим та систематичним підходом до виявлення потенційних небезпек та операційних проблем. Встановлено, що він фокусується на аналізі відхилень від нормального режиму роботи, що дозволяє виявити приховані ризики, які можуть бути пропущені при використанні інших методів. Доведено, що модель градієнтного бустингу, як складова методу машинного навчання, може бути використаний для прогнозування та оцінки ризиків у системі доставки вантажів. На відміну від HAZOP, який є якісним методом, градієнтний бустинг дозволяє кількісно оцінити ризики на основі бази даних.*

*Висновки:* Встановлено, що в контексті доставки вантажів, метод HAZOP може допомогти виявити ризики, пов'язані з безпекою (аварії, пошкодження вантажу), ефективністю (затримки, перевитрати пального, простої транспорту), дотриманням нормативних вимог (порушення правил перевезення, штрафи, конфіскація вантажу), репутаційними втратами. При цьому при використанні моделі градієнтного бустингу XGBoost можна спрогнозувати ймовірності виникнення ризикових подій таких, як затримка доставки, пошкодження вантажу, аварії, оцінити вплив ризикових подій щодо фінансових втрат, втрат часу, репутаційних збитків, а також виявити фактори, що впливають на ризик у системі доставки вантажів. Поєднання методу HAZOP та моделі градієнтного бустингу XGBoost дозволяє створити більш ефективну систему управління ризиками, яка поєднує переваги обох методів. HAZOP може бути використаний для ідентифікації потенційних ризиків, а градієнтний бустинг – для їх кількісної оцінки та прогнозування у системі доставки вантажів.

**Ключові слова:** транспортні технології, управління ризиками, метод HAZOP, модель градієнтного бустингу XGBoost, машинне навчання, транспортно-експедиторська діяльність

UDC 656.07:005.4

DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-161-175

## DEVELOPMENT OF A CARGO DELIVERY RISK MANAGEMENT SYSTEM BASED ON THE HAZOP METHOD AND THE XGBOOST MODEL

V.M. Piterska

Doctor of Sciences (Engineering), Professor,  
Professor of the Department of Port Operation and Cargo Handling Technology  
varuwa@ukr.net

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

**Abstract.** This research aims to develop a risk management system for international freight delivery using the HAZOP method and the XGBoost model.

The objectives include analyzing the current freight delivery system and the impact of risks on transport and forwarding operations; justifying the importance of a risk management system; proposing a methodological framework for an effective, risk-oriented delivery system; and developing a risk management system model integrating HAZOP and XGBoost.

The research focuses on risk management models and methods within freight delivery systems. Its relevance stems from the need for a methodology addressing the specifics of modern freight delivery systems and optimizing risk management processes.

Key findings demonstrate the feasibility of a risk management system for freight delivery and the suitability of the HAZOP method. HAZOP's structured approach to identifying potential hazards and operational problems, focusing on deviations from normal operation, reveals hidden risks missed by other methods. The XGBoost gradient

*boosting model, a machine learning technique, effectively predicts and quantifies risks, complementing HAZOP's qualitative analysis with quantitative risk assessment using available data.*

*Conclusions indicate that HAZOP identifies risks related to safety (accidents, cargo damage), efficiency (delays, fuel overspending, downtime), regulatory compliance (violations, fines, confiscation), and reputational damage. XGBoost predicts the likelihood of events such as delivery delays, cargo damage, and accidents, quantifies their impact (financial losses, time loss, reputational harm), and identifies risk factors. Combining HAZOP and XGBoost creates a more effective risk management system, leveraging their respective strengths: HAZOP for risk identification and XGBoost for quantitative assessment and prediction within the freight delivery system. The combination of HAZOP and gradient boosting for risk management in the cargo delivery system will allow prioritizing risks by focusing on the most critical risks, developing more effective risk mitigation measures by selecting optimal risk management strategies, improving the risk management system: using the data obtained through gradient boosting for refinement and analysis.*

**Keywords:** *transport technologies, risk management, HAZOP method, XGBoost model, machine learning, freight forwarding*

**Вступ.** Система доставки вантажів, що включає численних учасників, різноманітні транспортні засоби та географічно розподілені ланцюги постачання, є вразливою до численних ризиків, які можуть призвести до значних фінансових втрат, затримок у доставці та погіршення репутації транспортно-експедиторських компаній.

Сучасний транспортно-експедиторський бізнес функціонує в умовах динамічного ринку, що характеризується зростаючою конкуренцією, вимогами до швидкості та якості послуг, а також постійними змінами в законодавстві та технологіях.

Традиційні методи управління, орієнтовані на функціональний поділ, часто виявляються недостатньо ефективними для вирішення складних задач у системі доставки вантажів. В таких умовах ризико-орієнтований підхід стає все більш актуальним інструментом для підвищення конкурентоспроможності та забезпечення сталого розвитку транспортно-експедиторських компаній.

Зростання кількості непередбачуваних подій, таких як геополітична нестабільність, введення воєнного стану, зміна клімату та кіберзагрози, посилює необхідність ефективного управління ризиками у цій галузі.

**Постановка проблеми.** Розробка та впровадження всеосяжної системи управління ризиками є не лише бажаним, а й критично важливим фактором забезпечення стабільності та конкурентоспроможності транспортно-експедиторських компаній. Ігнорування ризиків призводить до зростання витрат, зниження ефективності та втрати потенційного прибутку.

Наявність структурованої системи управління ризиками дозволяє проактивно ідентифікувати, оцінювати та зменшувати вплив негативних факторів, забезпечуючи безперебійність процесів доставки та підвищуючи загальну ефективність.

Актуальність дослідження полягає у важливості розробки методології, яка буде враховувати специфіку сучасних систем доставки вантажів та дозволить оптимізувати процеси управління ризиками з урахуванням економічних, соціальних та екологічних аспектів.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Опис різних стратегій управління ризиками (унікнення, зниження, передача, прийняття) та їх застосування у системі доставки вантажів представлено в роботах [1-3].

У [4; 5] проаналізовані різні методології ідентифікації та оцінки ризиків у логістичних ланцюгах. Важливими є дослідження, проведені у [6-9], які стосуються інструментів та технологій для управління ризиками (наприклад, системи GPS-трекінгу, програмного забезпечення для управління ланцюгами постачання, системи раннього попередження).

Дослідження впливу зовнішніх факторів, що відносяться до введення воєнного стану, політичної нестабільності, природних катастроф, на ризики в системі доставки вантажів відображені в роботах [10; 11]. Вплив внутрішніх факторів на ймовірність появи ризиків у системі доставки вантажів з причин помилок персоналу, технічних несправностей, недостатньої якості управління проаналізований в [12-15]. Аналіз взаємодії між різними типами ризиків наведено у роботі [16].

Моделі застосування штучного інтелекту, великих даних та інтернету речей у системах управління ризиками при доставці вантажів запропоновані у дослідженнях [17-20]. У роботах [21; 22] проведено огляд досліджень щодо ефективності використання блокчейн-технологій для підвищення прозорості та безпеки логістичних операцій.

Аналіз існуючих KPI для оцінки ефективності систем управління ризиками представлено у [23-25]. Обговорення проблем вимірювання ефективності системи управління ризиками при організації доставки вантажів представлено у роботах [26; 27].

**Формулювання мети та завдання дослідження.** Метою даного дослідження є розробка системи управління ризиками на основі методу HAZOP та моделі XGBoost при доставці вантажів у міжнародному сполученні.

Завданнями дослідження є аналіз стану системи доставки вантажів та впливу ризиків на організацію здійснення транспортно-експедиторської діяльності, обґрунтування важливості застосування системи управління ризиками при організації доставки вантажів, запропонування методологічних основ, що забезпечать розробку ефективної системи доставки вантажів із застосуванням ризико-орієнтованого підходу, формування моделі функціонування системи управління ризиками в рамках методу HAZOP та моделі градієнтного бустингу XGBoost при організації доставки вантажів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Система управління ризиками при організації доставки вантажів є абсолютно критичною для успішного функціонування транспортного комплексу в сучасних умовах.

Світ стає все більш взаємозалежним та непередбачуваним, що призводить до зростання кількості та різноманітності ризиків, з якими стикаються транспортно-експедиторські компанії. Відсутність ефективної системи управління ризиками може призвести до значних фінансових втрат відправників, одержувачів вантажів, а

такою власників транспортних засобів, які використовуються при організації доставки у міжнародному сполученні. Доказами затребуваності системи управління ризиками є наступні положення:

- зростання глобалізації, що стосується того, що глобальні ланцюги постачання більш вразливі до геополітичних ризиків, військових ризиків, природних катастроф та інших подій, які важко передбачити та контролювати, тому система управління ризиками стає необхідністю для ефективного управління ними;
- технологічний розвиток, що передбачає, що з'являються нові технології, які можуть допомогти в управлінні ризиками (штучний інтелект, інтернет речей, великі дані, блокчейн), але їхнє ефективне застосування вимагає добре розробленої системи управління ризиками;
- збільшення кількості нормативних вимог, адже регуляторні органи все більше звертають увагу на безпеку та ефективність логістичних операцій, що призводить до необхідності дотримання численних стандартів та вимог, які неможливо виконати без системи управління ризиками;
- зміна клімату, яка призводить до більш частих та інтенсивних екстремальних погодних явищ, що створює додаткові ризики для систем доставки вантажів, а система управління ризиками дозволяє краще прогнозувати та мінімізувати вплив цих явищ;
- зростання кіберзагроз створюють ризики втрати даних, перебоїв у роботі систем доставки вантажів та фінансових втрат, які має попередити система управління ризиками.

Якщо комплексно підійти до дослідження можливості використання механізмів управління ризиками у системі доставки вантажів, то можна виділити наступні методологічні кроки, що забезпечать розробку ефективної системи доставки вантажів із застосуванням ризико-орієнтованого підходу. Розглянемо їх детально.

Розробка комплексної методології ідентифікації та оцінки ризиків дозволить врахувати широкий спектр ризиків, включаючи ризики, пов'язані з безпекою вантажів, технічними поломками, погодними умовами, геополітичною нестабільністю, регуляторними змінами, а також кіберзагрозами. Методологія повинна забезпечувати кількісну та якісну оцінку ймовірності та потенційного впливу кожного ризику.

Оптимізація стратегій управління ризиками має передбачати, що дослідження повинно зосередитися на розробці та порівнянні різних стратегій управління ризиками (унікнення, зниження, передача, прийняття), з урахуванням їхньої ефективності та вартості в різних контекстах, враховуючи особливості організації доставки вантажів.

Впровадження інноваційних технологій для управління ризиками дозволить застосувати потенціал застосування штучного інтелекту, великих даних, інтернету речей та блокчейну для автоматизації процесів ідентифікації, моніторингу та реагування на ризики у системах доставки вантажів.

При цьому необхідно розробити систему показників, яка дозволяє оцінювати ефективність впровадженої системи управління ризиками та вимірювати її вплив на фінансові результати, рівень обслуговування клієнтів (вантажовідправників, вантажоодержувачів, судновласників, власників інших транспортних засобів, третіх сторін) та загальну конкурентоспроможність транспортно-експедиторської компанії.

Важливим аспектом є оцінка внеску системи управління ризиками у підвищення стійкості ланцюгів постачання вантажів до зовнішніх ризиків та непередбачуваних подій.

Також слід звернути увагу на розробку рекомендацій щодо впровадження системи управління ризиками для різних типів транспортно-логістичних компаній. З огляду на різноманітність розмірів та спеціалізації компаній у транспортній галузі, дослідження має надати конкретні рекомендації щодо адаптації системи управління ризиками до специфічних потреб кожного типу підприємства.

Виконання цих завдань дозволить отримати цінну інформацію для покращення практик управління ризиками у системі доставки вантажів та сприятиме підвищенню ефективності та стійкості логістичних операцій.

В рамках формування системи управління ризиками при організації доставки вантажів для управління ризиками можна використати метод HAZOP (Hazard and Operability Study). Цей метод є систематичним аналітичним методом, що використовується для ідентифікації потенційних небезпек та проблем в процесах.

В контексті системи доставки вантажів, HAZOP допомагає виявити потенційні ризики, пов'язані з безпекою, ефективністю та дотриманням нормативних вимог.

Сформуємо модель функціонування методу HAZOP у системі доставки вантажів:

1. Визначення меж системи, яке передбачає, що спочатку чітко визначається межа системи, яка буде аналізуватися. Це може бути конкретна частина процесу доставки вантажів (наприклад, завантаження контейнерів, транспортування вантажу судном, зберігання на складі), або весь ланцюг постачання в цілому;

2. Створення детальної блок-схеми процесу доставки вантажу, що включає всі ключові етапи та компоненти. Кожен етап представляється як «вузол» на схемі;

3. Формування команд HAZOP, в рамках якого складається команда експертів з різних областей, включаючи транспортне експедирування, безпеку, технічне обслуговування, та інші релевантні галузі. Важливо, щоб команда мала різні погляди та досвід;

4. Вибір «вузлів» для аналізу, який передбачає, що команда послідовно розглядає кожен «вузол» блок-схеми;

5. Застосування «відхилень», при цьому для кожного «вузла» застосовуються «відхилення» – це слова, що описують можливі відхилення від нормального функціонування процесу. Найчастіше використовуються наступні «відхилення»:

- більше – кількість, швидкість, температура тощо вище норми;
- менше – кількість, швидкість, температура тощо нижче норми;
- без – відсутність чогось важливого;

- частина – лише частина чогось працює;
- інше – щось несподіване або непередбачене;
- занадто рано – подія відбувається раніше, ніж заплановано;
- занадто пізно – подія відбувається пізніше, ніж заплановано;
- занадто багато – занадто велика кількість чогось;
- занадто мало – занадто мала кількість чогось.

6. Аналіз потенційних ризиків, який передбачає, що для кожного поєднання «вузла» та «відхилення» команда обговорює потенційні наслідки. Якщо виявлено потенційний ризик, він документується, включаючи його ймовірність, серйозність та можливі наслідки;

7. Розробка заходів з пом'якшення ризиків, яка полягає в тому, що для кожного ідентифікованого ризику команда розробляє заходи з пом'якшення ризику, які можуть включати зміни в процесі, обладнанні, навчанні персоналу або інші заходи, які мають місце при організації системи доставки вантажів;

8. Документація, яка передбачає, що вся інформація, включаючи блок-схему, ідентифіковані ризики, заходи з пом'якшення ризиків та відповідальних осіб, ретельно документується.

Розглянемо, яким чином можна застосувати метод HAZOP у системі доставки вантажів при використанні методології управління ризиками.

У якості вузла беремо процес завантаження контейнерів на судно. Відхилення ідентифікується як «Більше», тобто занадто багато контейнерів завантажено на судно.

Потенційний ризик у цьому випадку включає перевантаження судна, що може призвести до його несправності або навіть до катастрофи.

Пропонуємо заходи з пом'якшення ризику – впровадження системи моніторингу ваги вантажу, використання спеціального програмного забезпечення для планування завантаження, навчання персоналу щодо правильного розподілу ваги.

Перевагами застосування методу HAZOP у системі доставки вантажів є систематичний та структурований підхід, залучення експертів з різних галузей, виявлення як очевидних, так і прихованих ризиків, розробка конкретних заходів з пом'якшення ризиків. Недоліками даного методу є те, що він вимагає значних витрат часу та ресурсів, його ефективність залежить від компетентності та досвіду учасників команди, він може бути складним для застосування у великих та складних системах. Незважаючи на вказані недоліки, метод HAZOP є потужним інструментом для управління ризиками у системах доставки вантажів, що дозволяє значно покращити безпеку та ефективність транспортно-експедиторської діяльності.

Створення повної математичної моделі методу HAZOP для системи доставки вантажів є надзвичайно складною задачею, оскільки HAZOP – це якісний метод, заснований на експертних оцінках, а не на точних кількісних даних. Однак, ми можемо спробувати моделювати оцінку ризику, що є частиною методу HAZOP. Для цього використаємо класичну формулу оцінки ризику з урахуванням ймовірності ризику і його впливу на ефективність системи доставки вантажів.

Рівень ризику може бути безрозмірною величиною або виражатися у грошовому еквіваленті. Ймовірність виникнення події можна структурувати таким чином – від 0 до 1, де 0 – неможливо, 1 – неминуче. Вплив події (наслідки) може

бути також безрозмірною величиною або виражатися у грошовому еквіваленті, одиницях часу, кількості пошкодженого вантажу тощо.

Оцінка ймовірності може базуватися на історичних даних, експертних оцінках або комбінації обох. У спрощеній моделі можна використати шкалу оцінки ймовірності виникнення ризику у системі доставки вантажів: 1 – дуже мала ймовірність; 2 – мала ймовірність; 3 – середня ймовірність; 4 – висока ймовірність; 5 – дуже висока ймовірність.

Аналогічно, оцінка впливу на ефективність системи доставки вантажів може бути здійснена за допомогою шкали: 1 – незначний вплив; 2 – легкий вплив; 3 – середній вплив; 4 – значний вплив; 5 – катастрофічний вплив.

Для кожної ідентифікованої небезпеки (відхилення у методі HAZOP) можна розрахувати відповідний рівень ризику

Після розрахунку рівня ризику для кожної події, можна ранжувати ризики за спаданням значення ризику. Це дозволяє зосередитися на найбільш критичних ризиках у системі доставки вантажів.

При цьому важливо також врахувати показники взаємодії між різними ризиками, провести якісний аналіз потенційних наслідків та розробити заходи з пом'якшення ризиків.

Хоча повністю математизувати HAZOP неможливо, використання простих математичних формул для оцінки ймовірності та впливу ризиків може допомогти в систематизації та ранжуванні ризиків, отриманих за допомогою методу HAZOP. Ця спрощена модель може бути корисною для попередньої оцінки, але для повного аналізу все ще необхідний якісний експертний аналіз. Більш складні моделі можуть використовувати теорію ймовірностей, методи статистичного аналізу та теорії систем для більш детального моделювання, але вони значно складніші у розробці та потребують значних обсягів даних.

Цікавою для управління ризиками у системі доставки вантажів є модель градієнтного бустингу як частина методу машинного навчання, яка може бути ефективним інструментом для прогнозування ризику транспортних перевезень, враховуючи велику кількість факторів і нелінійні залежності між ними. Однак ця модель потребує великої кількості даних для ефективного навчання, а також регулярної перевірки та оновлення з урахуванням нових даних. Важливе значення для точності прогнозування має вибір параметрів моделі (кількість дерев, глибина дерев, ваги).

Модель градієнтного бустингу (Gradient Boosting) має значну теоретичну значимість і практичну сутність в галузі транспортних перевезень, забезпечуючи ефективні рішення для прогнозування ризиків, оптимізації маршрутів та покращення загальної ефективності процесів у системі доставки вантажів.

Градієнтний бустинг (XGBoost) дозволяє об'єднати кілька слабких моделей (наприклад, дерев рішень) в одну потужну модель, яка здатна прогнозувати складні залежності, не доступні для окремих моделей. При цьому дана модель навчається поступово, концентруючись на помилках попередніх моделей, що забезпечує зменшення загальної помилки прогнозування. Завдяки своїй структурі, градієнтний бустинг менш чутливий до шуму та викидів в даних, що робить його більш стійким до неточностей та недосконалості даних. Дана модель здатна виявляти та



моделювати складні взаємозв'язки між змінними, що важливо для прогнозування ризиків в транспортних перевезеннях, де існує багато нелінійних факторів.

Важливо відмітити, що модель градієнтного бустингу може бути використана для прогнозування різних ризиків, таких як затримки доставки, пошкодження вантажу, втрата вантажу, тощо, що дозволяє компаніям вживати заходів для їх зменшення. Враховуючи прогнози ризиків, модель може допомогти вибрати оптимальні маршрути, що мінімізують час доставки, витрати на транспортування та ймовірність виникнення проблем. Також дана модель може допомогти визначити необхідні ресурси, такі як транспортні засоби, складські приміщення, персонал, з урахуванням прогнозів обсягів перевезень та допомогти розробити ефективні стратегії управління ризиками, включаючи вибір оптимальних умов договорів з перевізниками, застосування спеціальних заходів безпеки, укладання страхових договорів, забезпечення належної упаковки вантажів. За допомогою прогнозів моделі, транспортно-експедиторські компанії можуть оптимізувати свої операційні процеси, зменшити витрати та підвищити рівень задоволення клієнтів.

До переваг моделі градієнтного бустингу можна віднести наступні складові:

- модель демонструє високу точність прогнозування виникнення ситуацій ризику при організації системи доставки вантажів, що робить її ефективним інструментом для прийняття рішень;
- модель можна інтерпретувати, визначаючи, які фактори мають найбільший вплив на прогноз ризиків у системі доставки вантажів;
- модель є гнучкою та може бути адаптована до різних завдань та даних.

Модель градієнтного бустингу є потужним інструментом, який може значно покращити ефективність та безпеку транспортних перевезень. Вона дозволяє компаніям ефективно управляти ризиками, оптимізувати маршрути, планувати ресурси та підвищити рівень задоволення клієнтів.

**Висновки.** Ефективне управління ризиками є необхідною умовою для успішної діяльності експедитора при доставці вантажу в Україну. Враховуючи специфіку українського ринку та різноманітність умов постачання, експедитору необхідно розробляти комплексну стратегію управління ризиками, що враховує всі потенційні загрози та дозволяє мінімізувати їх негативний вплив.

Застосування методу HAZOP для управління ризиками у системах доставки вантажів дозволить спрогнозувати потенційні ризики, які можуть виникнути при взаємодії учасників процесу доставки та запропонувати ефективні рішення з усунення негативних наслідків від їх настання.

Модель градієнтного бустингу є потужним інструментом для транспортних експедиторів, який допомагає підвищити ефективність, надійність та безпеку міжнародних доставок в умовах військового положення. Модель градієнтного бустингу – це непрямий метод, який навчається на прикладах, щоб прогнозувати ймовірність настання певного сценарію, в даному випадку — ймовірність затримки вантажу.

Поєднання методу HAZOP та моделі градієнтного бустингу може створити потужну систему управління ризиками для доставки вантажів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kosenko V. Система підтримки прийняття рішень в плануванні інвестиційних проектів. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2018. № 4 (6). С. 113-119. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.113>.
2. Shakhov A., Kyryllova O., Sagaydak O., Piterska V., Sherstiuk O. «Conceptual risk-oriented model of goal setting in the implementation of concession projects in seaports», Proceedings of the 3rd International Workshop IT Project Management (ITPM 2022), Kyiv, Ukraine, August 26, 2022, CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3295, P. 149-158.
3. Shakhov A., Piterska V., Botsaniuk V. and Sherstiuk O. «Competitiveness Assessment of Services in Seaport Concession Projects», 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2022, P. 406-409, doi: 10.1109/CSIT56902.2022.10000554.
4. Shakhov A., Piterska V., Sherstiuk O., Botsaniuk V. Механізми ризико-орієнтованого управління концесійними проектами в морських портах. Розвиток транспорту. 2020. № 1 (6). С. 30-39. <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.03>.
5. Samoilovska V., Kyryllova O., Piterska V. «Model for Evaluating the Efficiency of Seaports Development Projects Based on the Quality 4.0 Information and Analytical System», Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023), Warsaw, Poland, May 19, 2023, CEUR Workshop Proceedings, 2023, vol. 3453, P. 1-12.
6. Piterska V., Samoilovska V., Adakhovskiy V. «Assessment of Port Concession Projects Quality Based on the Information and Analytical Risk Management System», Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023), Warsaw, Poland, May 19, 2023, CEUR Workshop Proceedings <https://www.scopus.com/sourceid/21100218356?origin=resultslist>, 2023, vol. 3453, P. 71-81.
7. Chernov S., Titov S., Chernova Ld, Kunanets N., Piterska V., Chernova Lb., Shcherbyna Y. and Petryshyn L. «Efficient Algorithms of Linear Optimization Problems Solution», Proceedings of the 2nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2021), Slavsko, Lviv region, Ukraine, February 16-18, 2021, CEUR Workshop Proceedings, vol. 2851, 2021, P. 116-131.
8. Piterska V., Lohinov O., Lohinova L. Mechanism for forming an effective portfolio of research projects of institution of higher education / Innovative technologies and scientific solutions for industries, 2019, 3 (9), 99-108. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.9.099.
9. Piterska V., Shakhov A. The development of the risk management mechanism for innovation project. EUREKA: Physics and Engineering, Number 3, 2018, P. 12-20. DOI:10.21303/2461-4262.2018.00640.
10. Piterska V., Rudenko S., Shakhov A. (2018), «Development of the Method of Forming of the Architecture of the Innovation Program in the System «University-State-Business»», International Journal of Engineering & Technology (UAE), vol. 7 (4.3), P. 232-239. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19793.

11. Piterska V., Lohinov D. and Lohinova L. «Risk Management Mechanisms in Higher Education Institutions Based on the Information Support of Innovative Projects», 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2022, P. 410-413, DOI: 10.1109/CSIT56902.2022.10000551.
12. Пітерська В.М. Застосування проектно-орієнтованого підходу в управлінні інноваційною діяльністю / В.М. Пітерська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Збірник наукових праць. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 1 (1173). – С. 35-42. DOI: 10.20998/2413-3000.2016.1173.7.
13. Shakhov A., Piterska V., Botsaniuk V. and Sherstiuk O. «Mechanisms for Goal Setting and Risk Management of Concession Projects in Seaports», 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2020, P. 185-189, doi: 10.1109/ CSIT 49958.2020.9321963.
14. Kirillova E., Makushev P., Perepichko M., Piterska V., & Raskevych I. (2019). Security assurance of port services as a factor of their competitiveness. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(51)), P. 17-23. DOI:10.15587/2312-8372.2020.197733. URL: <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/197733>.
15. Piterska V., Shakhov A. (2018), «Development of the Methodological Proposals for the Use of Innovative Risk-Based Mechanism in Transport System», *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, vol. 7 (4.3), P. 257-261. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.20129>.
16. Shakhov A., Piterska V., Sherstyuk O., Botsaniuk V. and Babayev I. «Mechanisms for the effective sharing of risks of seaport concession projects», *Proceedings of the 2nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2021)*, Slavsko, Lviv region, Ukraine, February 16-18, 2021, *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2851, 2021, pp. 34-44.
17. Domanskyi V., Wolff C., Sachenko A., Badasian A. A Hybrid Method for Managing Agile Team in a Distributed Environment. 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Cracow, Poland. 2021. P. 247-251, DOI: <https://doi.org/10.1109/IDAACS53288.2021.9660882>.
18. Mikhridinova N., Wolff C., Hussein B. Data Acquisition Framework For Competence Profiles Selection and Project Staffing. 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Metz, France. 2019. P. 835-838, DOI: <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924379>.
19. Tanaka H., Ide M., Yajima J., Onodera S., Munakata K. and Yoshioka N. «Taxonomy of Generative AI Applications for Risk Assessment», 2024 IEEE/ACM 3rd International Conference on AI Engineering – Software Engineering for AI (CAIN), Lisbon, Portugal, 2024, P. 288-289.

20. Tanaka H., Ide M., Munakata K., Washizaki H. and Yoshioka N., «Activity-based modeling strategy for reliable machine learning system analysis targeting GUI-based applications», 2023 10th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), Tokyo, Japan, 2023, P. 135-143, doi: 10.1109/DSA59317.2023.00026.
21. Husen J.H. *et al.* «Extensible Modeling Framework for Reliable Machine Learning System Analysis», 2023 IEEE/ACM 2nd International Conference on AI Engineering – Software Engineering for AI (CAIN), Melbourne, Australia, 2023, P. 94-95, doi: 10.1109/CAIN58948.2023.00022.
22. Pratama N.D. and Musyafa A. «Risk Assessment on Sales Gas Distribution of Oil and Gas Company using HAZOP and Risk Matrix», 2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA), Surabaya, Indonesia, 2023, P. 558-563, doi: 10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427914.
23. Zhan Y., Xu F. and Zhang Y. «The Application of HAZOP Analysis on Risk Assessment of the 10000TEU Container Ships», 2009 International Asia Symposium on Intelligent Interaction and Affective Computing, Wuhan, China, 2009, P. 59-62, doi: 10.1109/ASIA.2009.9.
24. Tao R., Liu Z., Zhang Y., Wang X., Wang J. and Li L. «Decision Analysis Based on SVR and XGBoost Prediction Models», 2023 IEEE International Conference on Electrical, Automation and Computer Engineering (ICEACE), Changchun, China, 2023, P. 956-961, doi: 10.1109/ICEACE60673.2023.10442759.
25. Jain E. and Singh A., «Optimizing Gradient Boosting Algorithms for Obesity Risk Prediction: A Comparative Analysis of XGBoost, LightGBM, and CatBoost Models», 2024 International Conference on Cybernation and Computation (CYBERCOM), Dehradun, India, 2024, P. 320-324, doi: 10.1109/CYBERCOM63683.2024.10803186.
26. Yao L. and Lan H. «The risk assessment model of international multimodal transport system based on complex network», 2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), Sydney, NSW, Australia, 2016, P. 1-5, doi: 10.1109/LISS.2016.7854382.
27. Xiang F., Zhao X. and Ma X. «The Research of Container Multimodal Transport Risk Assessment Based on BP Neural Network», 2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Xi'an, China, 2009, P. 293-298, doi: 10.1109/ICIII.2009.531.

## REFERENCES

1. Kosenko V. (2018), «Decision support system in planning investment projects», Innovative technologies and scientific solutions for industries, No. 4 (6), P. 113-119. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.113>.

2. Shakhov A., Kyryllova O., Sagaydak O., Piterska V., Sherstiuk O. «Conceptual risk-oriented model of goal setting in the implementation of concession projects in seaports», Proceedings of the 3rd International Workshop IT Project Management (ITPM 2022), Kyiv, Ukraine, August 26, 2022, CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3295, P. 149-158.
3. Shakhov A., Piterska V., Botsaniuk V. and Sherstiuk O. «Competitiveness Assessment of Services in Seaport Concession Projects», 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2022, pp. 406-409, doi: 10.1109/CSIT56902.2022.10000554.
4. Shakhov, A., Piterska, V., Sherstiuk, O., Botsaniuk, V. (2020), «Mechanisms for risk-oriented management of concession projects in seaports», Transport Development, No. 1(6), P. 30-39. <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.03>.
5. Samoilovska V., Kyryllova O., Piterska V. «Model for Evaluating the Efficiency of Seaports Development Projects Based on the Quality 4.0 Information and Analytical System», Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023), Warsaw, Poland, May 19, 2023, CEUR Workshop Proceedings, 2023, vol. 3453, P. 1-12.
6. Piterska V., Samoilovska V., Adakhovskiy V. «Assessment of Port Concession Projects Quality Based on the Information and Analytical Risk Management System», Proceedings of the 4th International Workshop IT Project Management (ITPM 2023), Warsaw, Poland, May 19, 2023, CEUR Workshop Proceedings <https://www.scopus.com/sourceid/21100218356?origin=resultslist2023>, vol. 3453, P. 71-81.
7. Chernov S., Titov S., Chernova Ld., Kunanets N., Piterska V., Chernova Lb., Shcherbyna Y. and Petryshyn L. «Efficient Algorithms of Linear Optimization Problems Solution», Proceedings of the 2nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2021), Slavsko, Lviv region, Ukraine, February 16-18, 2021, CEUR Workshop Proceedings, vol. 2851, 2021, P. 116-131.
8. Piterska V., Lohinov O., Lohinova L. Mechanism for forming an effective portfolio of research projects of institution of higher education / Innovative technologies and scientific solutions for industries, 2019, 3 (9), P. 99-108. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.9.099.
9. Piterska V., Shakhov A. The development of the risk management mechanism for innovation project. EUREKA: Physics and Engineering, Number 3, 2018, P. 12-20. DOI:10.21303/2461-4262.2018.00640.
10. Piterska, V., Rudenko, S., Shakhov, A. (2018) «Development of the Method of Forming of the Architecture of the Innovation Program in the System «University-State-Business»», International Journal of Engineering & Technology (UAE), vol. 7 (4.3), P. 232–239. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19793.
11. Piterska V., Lohinov D. and Lohinova L. «Risk Management Mechanisms in Higher Education Institutions Based on the Information Support of Innovative Projects», 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2022, P. 410-413, DOI: 10.1109/CSIT56902.2022.10000551.

12. Piterska V. Using of the project-oriented approach in the innovative activity management. Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Strategic management, portfolio, program and project management, 1(1173), 2016, P. 35-42. DOI: 10.20998/2413-3000.2016.1173.7.
13. Shakhov A., Piterska V., Botsaniuk V. and Sherstiuk O. «Mechanisms for Goal Setting and Risk Management of Concession Projects in Sea-ports», 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2020, P. 185-189, doi: 10.1109/CSIT 49958.2020.9321963.
14. Kirillova, E., Makushev, P., Perepichko, M., Piterska, V., & Raskevych, I. (2019). Security assurance of port services as a factor of their competitiveness. Technology Audit and Production Reserves, 1(2(51)), P. 17-23. DOI:10.15587/2312-8372.2020.197733.
15. Piterska, V., Shakhov, A. (2018), «Development of the Methodological Proposals for the Use of Innovative Risk-Based Mechanism in Transport System», International Journal of Engineering & Technology (UAE), vol. 7 (4.3), P. 257-261. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.20129>.
16. Shakhov A., Piterska V., Sherstyuk O., Botsaniuk V. and Babayev I., «Mechanisms for the effective sharing of risks of seaport concession projects», Proceedings of the 2nd International Workshop IT Project Management (ITPM 2021), Slavsko, Lviv region, Ukraine, February 16-18, 2021, CEUR Workshop Proceedings, vol. 2851, 2021, P. 34-44.
17. Domanskyi, V., Wolff, C., Sachenko, A., Badasian, A. (2021). «A Hybrid Method for Managing Agile Team in a Distributed Environment», 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Cracow, Poland, P. 247-251, DOI: <https://doi.org/10.1109/IDAACS53288.2021.9660882>.
18. Mikhridinova, N., Wolff, C., Hussein, B. (2019). «Data Acquisition Framework For Competence Profiles Selection and Project Staffing», 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Metz, France, P. 835-838, DOI: <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924379>.
19. Tanaka H., Ide M., Yajima J., Onodera S., Munakata K. and Yoshioka N. «Taxonomy of Generative AI Applications for Risk Assessment», 2024 IEEE/ACM 3rd International Conference on AI Engineering – Software Engineering for AI (CAIN), Lisbon, Portugal, 2024, P. 288-289.
20. Tanaka H., Ide M., Munakata K., Washizaki H. and Yoshioka N. «Activity-based modeling strategy for reliable machine learning system analysis targeting GUI-based applications», 2023 10th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA), Tokyo, Japan, 2023, P. 135-143, doi: 10.1109/DSA59317.2023.00026.

21. Husen J.H. *et al.* «Extensible Modeling Framework for Reliable Machine Learning System Analysis», 2023 IEEE/ACM 2nd International Conference on AI Engineering – Software Engineering for AI (CAIN), Melbourne, Australia, 2023, P. 94-95, doi: 10.1109/CAIN58948.2023.00022.
22. Pratama N.D. and Musyafa A. «Risk Assessment on Sales Gas Distribution of Oil and Gas Company using HAZOP and Risk Matrix», 2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA), Surabaya, Indonesia, 2023, P. 558-563, doi: 10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427914.
23. Zhan Y., Xu F. and Zhang Y. «The Application of HAZOP Analysis on Risk Assessment of the 10000TEU Container Ships», 2009 International Asia Symposium on Intelligent Interaction and Affective Computing, Wuhan, China, 2009, P. 59-62, doi: 10.1109/ASIA.2009.9.
24. Tao R., Liu Z., Zhang Y., Wang X., Wang J. and Li L. «Decision Analysis Based on SVR and XGBoost Prediction Models», 2023 IEEE International Conference on Electrical, Automation and Computer Engineering (ICEACE), Changchun, China, 2023, P. 956-961, doi: 10.1109/ICEACE 60673. 2023. 10442759.
25. Jain E. and Singh A., «Optimizing Gradient Boosting Algorithms for Obesity Risk Prediction: A Comparative Analysis of XGBoost, LightGBM, and CatBoost Models», 2024 International Conference on Cybernation and Computation (CYBERCOM), Dehradun, India, 2024, P. 320-324, doi: 10.1109/CYBERCOM63683.2024.10803186.
26. Yao L. and Lan H. «The risk assessment model of international multimodal transport system based on complex network», 2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), Sydney, NSW, Australia, 2016, P. 1-5, doi: 10.1109/LISS.2016.7854382.
27. Xiang F., Zhao X. and Ma X. «The Research of Container Multimodal Transport Risk Assessment Based on BP Neural Network», 2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Xi'an, China, 2009, P. 293-298, doi: 10.1109/ICIM.2009.531.

*Стаття надійшла до редакції 12.12.2024*

**Посилання на статтю: Пітерська В.М.** Розробка системи управління ризиками доставки вантажів на основі методу hazop та моделі xgboost // *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць*, 2025. № 1 (75). С. 161-175. DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-161-175.

*Article received 12.12.2024*

**Reference a journal artic: Piterska V.M.** Development of a cargo delivery risk management system based on the hazop method and the xgboost model // *Herald of the Odesa national maritime university: Coll. scient. works*, 2025. № 1 (75). P. 161-175. DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-161-175.