

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЧЕРЕДНІЧЕНКА КОСТЯНТИНА ВАЛЕНТИНОВИЧА

УДК 656.073(045)

ДИСЕРТАЦІЯ

**КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ В
ІНТЕГРОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ**

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ: 275 «ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ
(НА ПОВІТРЯНОМУ ТРАНСПОРТІ)»
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ – 27 «ТРАНСПОРТ »

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ К.В. Чередніченко

Науковий керівник

Олена Євгенівна Соколова,
кандидат економічних наук, доцент

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Чередніченко К. В. Комплексна оцінка безпеки перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)», спеціалізації 275.04 «на повітряному транспорті» – Національний авіаційний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ. 2024.

Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню надважливого питання оцінки безпеки при перевезенні вантажів для побудови завчасно оптимальних – з точки зору безпеки – маршрутів транспортування в інтегрованих системах. Особливої актуалізації дане питання набуває сьогодні – під час повномасштабної війни на території України, коли ефективне функціонування транспортної галузі є критично важливим для підтримки економіки, задоволення потреб цивільного населення та забезпечення сталості держави.

Об'єктом дисертаційного дослідження є процеси формування безпечних перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах.

Предметом дисертаційного дослідження є методи та моделі комплексної оцінки безпеки в інтегрованих транспортних системах перевезенні вантажів.

Метою дисертаційного дослідження є розробка методів та моделей комплексної оцінки безпеки в інтегрованих транспортних системах та подальше її використання для проектування безпечних маршрутів перевезення вантажів. Для досягнення поставленої мети у роботі визначено наступні основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати концептуальні підходи до формування інтегрованих транспортних систем, а також їх функціонування у сучасних умовах.
2. Дослідити сучасні підходи до моделювання оцінок безпеки за різними видами транспорту, оцінити фактори, які впливають (або ж можуть впливати потенційно) на системи забезпечення безпеки на різних видах транспорту.

3. Розробити математичну модель оцінки надійності транспортного вузла інтегрованої транспортної системи;

4. Розробити математичну модель оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла в інтегрованих транспортних системах;

5. Удосконалити математичну модель ризиків настання надзвичайних подій в інтегрованих транспортних системах під час фактичного перевезення вантажу.

6. Розробити математичну модель, яка поєднує вищезазначені моделі для формування комплексної оцінки транспортної безпеки на кожній ділянці перевізного процесу.

7. Апробувати результуючу модель комплексної оцінки транспортної безпеки для проектування безпечних маршрутів перевезення вантажів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у концептуально новому комплексному підході до оцінки рівня безпеки в транспортних системах, що, на відміну від сучасних методів, включає в себе оцінку безпеки як інфраструктурних об'єктів, так і маршрутів перевезення; при цьому оцінка безпеки транспортної інфраструктури відбувається на двох рівнях: зовнішній – оцінка загроз зовнішнього середовища об'єкту, внутрішній – оцінки працездатності системи забезпечення безпеки.

При цьому *вперше*:

- розроблено математичну модель інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз інфраструктурних об'єктів за допомогою нечіткої логіки, що дозволяє врахувати криміногенність середовища, в якому він знаходиться та відстань від лінії розмежування, що є особливо важливим сьогодні для України через повномасштабну російську агресію;

- розроблено математичну модель надійності транспортного вузла, яка визначає працездатність системи забезпечення безпеки у довільний момент часу;

Удосконалено:

- математичну модель ризику, що дозволяє оцінити ймовірність настання надзвичайних подій на маршрутах перевезення вантажів в інтегрованих транспортних системах;

Набули подальшого розвитку:

- методи раціонального вибору та побудови маршрутів перевезення за рахунок включення до багатокритеріальної системи оцінок фактору безпеки, що дозволить забезпечити безпеку вантажу на кожному етапі транспортування в умовах війни в Україні;

Практична значимість отриманих результатів полягає у:

- практичне застосування апробованої моделі дозволяє комплексно оцінити альтернативні варіанти та розробити найбезпечніший маршрут вже на стадії проектування транспортно-технологічних схем інтегрованих перевезень, що в умовах війни в Україні виходить на новий рівень актуалізації та має вирішальне значення для ефективного функціонування транспортної галузі.

Науково-практичні результати дисертації впроваджено у навчальний процес Кафедри організації авіаційних перевезень Факультету транспорту, менеджменту та логістики Національного авіаційного університету (Додаток Е). Також результати дослідження були впроваджені у виробничі діяльності ТОВ «ФТП» (Додаток Г) у вигляді розробленого алгоритму для вирішення багатокритеріальної задачі побудови оптимальних мультимодальних систем перевезень та Міжнародного аеропорту «Одеса» у вигляді розробленої моделі комплексної оцінки безпеки аеропортової інфраструктури (Додаток Д).

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження. Сформульовано об'єкт, предмет, мету, задачі і методи дослідження. Окрім того, відображено наукову новизну та практичну значущість вихідних результатів. Наведено інформацію щодо апробації результатів дослідження у вигляді виступів на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях, а також щодо публікації результатів дослідження у фахових виданнях України категорії «Б» та міжнародних журналів, що входять до наукометричних баз.

Перший розділ присвячено дослідженню теоретичних і практичних засад функціонування інтегрованих транспортних систем та оцінки рівня їх безпеки. Встановлено, що забезпечення транспортної безпеки вимагає системного підходу, що включає в себе правові, економічні, організаційні та інші заходи.

Така система має на меті запобігання травмам та загибелі людей, матеріальним збиткам та забрудненню навколишнього середовища, а також мінімізацію економічних втрат у сфері транспортної діяльності.

Автором вивчено основні наукові та науково-практичні підходи до оцінювання рівня безпеки на різних видах транспорту та визначено недоліки таких концепцій. Встановлені, зокрема, проблеми локального моделювання, однобічності оцінок транспортної безпеки та недосконалості її управління.

Таким чином, аналіз проблеми вказує на необхідність розв'язання різноманітних методичних та методологічних питань, які стосуються визначення принципів, критеріїв та правил оцінки безпеки в інтегрованих системах перевезення вантажів. У цьому відношенні надважливо застосовувати інтегральний (комплексний) підхід.

У *другому розділі* автор дослідив вплив війни в Україні на світові вантажні потоки, зосереджуючись на ключових змінах у транспортних маршрутах, обсягах перевезень та логістичних витратах. Розроблена математична модель на основі часових рядів демонструє спад на показника вантажних перевезень в авіації до кінця 2030 року (порівняно з 2021 роком) за трьома сценаріями: оптимістичним, реалістичним та песимістичним.

Також було вивчено вплив криміногенності зовнішнього середовища транспортного вузла на кількість актів незаконного втручання. Розроблена множинна модель лінійної регресії підтвердила гіпотезу про істотний вплив даного фактору на безпеку інфраструктурного об'єкту (в даному випадку - аеропорту). Автором дослідження було проаналізовано статистичні дані щодо повітряних тривог на території України, за результатами якого було сформоване ранжування території України за рівнями загроз: зона 1 – умовно-безпечна (УБ); зона 2 – мало-безпечна (МБ); зона 3 – небезпечна (Н); зона 4 – середньо-небезпечна (СН); зона 5 – високо-небезпечна (ВН).

У *третьому розділі* розроблено модель комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем, яка базується на: моделі оцінки надійності транспортного вузла; моделі оцінки загрози зовнішнього середовища

транспортного вузла в рамках якої був розроблений інтелектуальний класифікатор оцінки зовнішніх загроз; моделі вибору оптимального транспортного вузла за оцінкою рівня його безпеки, що здійснюється за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті та включає в себе час та витрати на перевезення; модифікована модель оцінка ризиків настання надзвичайних подій на маршрутах перевезення; модель вибору оптимального маршруту перевезення за оцінкою рівня його безпеки, що здійснюється за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті та включає в себе викиди шкідливих речовин, а також час і витрати на перевезення.

У четвертому розділі апробовано модель комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем на прикладі гіпотетичного розробленого графу системи перевезення вантажів. Практичне застосування апробованої моделі дозволяє комплексно оцінити альтернативні варіанти та розробити найбезпечніший маршрут вже на стадії проектування транспортно-технологічних схем інтегрованих перевезень, що в умовах війни в Україні виходить на новий рівень актуалізації та має вирішальне значення для ефективного функціонування транспортної галузі.

Ключові слова: інтегровані транспортні системи, управління транспортними системами, мультимодальні перевезення, ланцюги постачання, транспортна задача, оптимальний маршрут, транспортний вузол, аеропорт, авіаційна безпека, об'єкт охорони, вантажні потоки, вантажні перевезення, транспортна безпека, інтелектуальні технології, надійність, ризик, загрози, збійна ситуація, викиди CO₂.

Список публікацій здобувача.

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Model of transport safety assessment in multimodal transportation systems / K. Cherednichenko et al. *Transport*. 2023. Vol. 38, no. 4. P. 204–213. URL: <https://doi.org/10.3846/transport.2023.20865>. (SCOPUS)

2. Ivannikova V., Sokolova O., Cherednichenko K. How the War in Ukraine Impacts Global Air Transportation Ecosystem: Assessment and Forecasting of Consequences. *TRANSBALTICA XIV: Transportation Science and Technology*. Cham, 2024. P. 386–401. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-52652-7_38. (SCOPUS)

3. Cherednichenko K., Sokolova O., Ivannikova V. Mathematical Model of Airport Aviation Security. *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology*. Cham, 2023. P. 773–781. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_75. (SCOPUS)

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. Sokolova O. Y., Cherednichenko K. V. Methods and models of short-term forecasting of the European air transport market. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2023. No. 1. P. 306–316. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/46>. (Категорія Б)

5. Cherednichenko K., Sokolova O. On Prospects of Analytic Hierarchy Process Application for Freight Transportation Safety Management in Integrated Transport Systems. *Electronics and Control Systems*. 2022. Vol. 2, no. 72. P. 64–68. URL: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.72.16945>. (Категорія Б)

6. Cherednichenko K. Urban transport network optimization modeling in integrated transport systems. *Dorogi i mosti*. 2022. Т. 2022, № 25. С. 259–269. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.259> . (Категорія Б)

7. Yanchuk M.B., Pron S.V., Fedyna V.P., Cherednichenko K.V. The Scientific-Methodological Approaches to Transport Risks Management in Multimodal Freight Transportations / e. *Business Inform*. 2021. Vol. 2, no. 517. P. 198–209. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-2-198-209>. (Категорія Б)

Опубліковані праці апробаційного характеру:

8. Чередніченко К.В., Соколова О.Є. Проблематика оцінки рівня транспортної безпеки в інтегрованих системах перевезення вантажів. *Транспортні технології та безпека дорожнього руху* : матеріали IV Всеукр. науково-практ. конф., м. Запоріжжя, 14 квіт. 2023 р. Запоріжжя, 2023. С. 59–62. Режим доступу: <https://bit.ly/3MTDx55>.

9. Чередніченко К.В., Соколова О.Є. Концепція «театру безпеки» інтегрованих транспортних систем. *Політ. Сучасні проблеми науки* : матеріали XXIII Міжнар. наук. практ. конф., м. Київ, 4 квіт. 2023 р. Київ, 2023. С. 37–39. Режим доступу: <https://bit.ly/42uGIpQ>.

10. Чередніченко К.В. Модель порушника авіаційної безпеки аеропорту. *Політ. Сучасні проблеми науки* : матеріали XXII Міжнар. наук. практ. конф., м. Київ, 4 квіт. 2022 р. Київ, 2022. Режим доступу: <https://bit.ly/3Nfff7a>

11. Чередніченко К.В. Підвищення надійності перевезення вантажу в інтегрованих транспортних системах за рахунок оптимізації міської транспортної мережі. *Проблеми організації перевезень та управління на повітряному транспорті* : X міжнар. наук. практ. конф., 28 жовтня 2021 р. К, 2021. С. 34-36. Режим доступу: <https://bit.ly/3MT9rPq>

12. Cherednichenko K.V, Yanchuk M.B. Mathematical formalization of transport safety assessment. *Ninth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY" – "Safety in Aviation and Space Technologies"*: IX міжнар. конгрес, 22-24 вересня 2020 р. Режим доступу: <https://bit.ly/3OYxleQ>

ABSTRACT

Cherednichenko K.V. Comprehensive safety assessment of cargo transportation in integrated transport systems – Qualification scientific work as a manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 275 Transport Technologies (in Air Transport) – National Aviation University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv. 2024.

The dissertation is dedicated to solving the crucial issue of safety assessment in cargo transportation to build pre-optimally safe transportation routes in integrated systems. This issue becomes especially relevant today – during the full-scale war on the territory of Ukraine, when the effective functioning of the transport industry is critically important for supporting the economy, meeting the needs of the civilian population, and ensuring the stability of the state.

The *object of the dissertation research* is the processes of forming safe cargo transportation in integrated transport systems.

The *subject of the dissertation research* is the methods and models for comprehensive safety assessment in integrated transport systems for cargo transportation.

The *purpose of the dissertation research* is to develop methods and models for comprehensive safety assessment in integrated transport systems and their further use in designing safe cargo transportation routes. To achieve the purpose, the following main research tasks have been identified:

1. Analyze conceptual approaches to the formation of integrated transportation systems and their functioning in modern conditions.
2. Investigate modern approaches to modeling safety assessments for different types of transportation, determine the impact of factors that influence (or potentially could influence) safety assurance systems for various types of transportation.
3. Develop a mathematical model for assessing the reliability of a transport node in an integrated transportation system.

4. Develop a mathematical model for assessing external threats to a transport node in integrated transportation systems.

5. Improve the mathematical model of risks of emergencies in integrated transportation systems during cargo transportation.

6. Develop a mathematical model that combines the aforementioned models to form a comprehensive safety assessment of transportation at each section of the transportation process.

7. Test the resulting comprehensive transportation safety assessment model for designing safe cargo transportation routes.

The scientific novelty of the obtained results lies in a conceptually new comprehensive approach to assessing the level of safety in transport systems, which, unlike modern methods, includes the assessment of the safety of both infrastructure objects and transportation routes. In this approach, the assessment of transport infrastructure safety is carried out on two levels: external – the assessment of external environmental threats to the object, and internal – the assessment of the performance of the safety assurance system.

In particular, *for the first time*:

- a mathematical model of an intelligent classifier for assessing external threats to infrastructure facilities using fuzzy logic has been developed, allowing for the consideration of the crime environment in which it is located and the distance from the demarcation line, which is especially important today for Ukraine due to the full-scale Russian aggression;

- a mathematical model of the reliability of a transport node has been developed, which determines the operability of the safety assurance system at any given time;

Improved:

- a mathematical model of risk, which allows for the assessment of the likelihood of emergencies occurring on cargo transportation routes in integrated transport systems;

Further developed:

- methods of rational choice and construction of transportation routes by including the safety factor in the multi-criteria assessment system, which will ensure the safety of cargo at every stage of transportation during the war in Ukraine;

The *practical significance of the obtained results* lies in:

- practical application of the tested model allows for a comprehensive assessment of alternative options and the development of the safest route already at the stage of designing transport-technological schemes of integrated transportation, which, in the context of the war in Ukraine, reaches a new level of relevance and is crucial for the effective functioning of the transport industry.

The main scientific and practical results of the dissertation have been implemented in the educational process of the Department of Air Transportation Management of the National Aviation University (Annex E). The dissertation research results were also implemented in the production activities of LLC "FTP" (Annex H) in the form of a developed algorithm for solving a multi-criteria task of building optimal multimodal transportation systems and in the International Airport "Odessa" in the form of a developed model for comprehensive safety assessment of airport infrastructure (Annex D).

The *introduction* substantiates the relevance of the dissertation research topic. It formulates the object, subject, purpose, tasks, and research methods. In addition, it highlights the scientific novelty and practical significance of the initial results. Information is provided on the testing of research results in the form of presentations at national and international scientific conferences, as well as the publication of research results in professional publications of Ukraine category "B" and international journals included in scientometric databases.

The *first chapter* is devoted to the study of the theoretical and practical foundations of the functioning of integrated transport systems and the assessment of their safety levels. It is established that ensuring transport safety requires a systematic approach, which includes legal, economic, organizational, and other measures. Such a system aims to prevent injuries and deaths, material damage, and environmental pollution, as well as minimize economic losses in the field of transport activities. The

author studied the main scientific and practical approaches to assessing the safety levels of different types of transportation and identified the shortcomings of such concepts. In particular, the problems of local modeling, one-sided assessments of transport safety, and the imperfection of its management are established. Thus, the analysis of the problem indicates the need to solve various methodological issues related to determining the principles, criteria, and rules for safety assessment in integrated cargo transportation systems. In this regard, it is crucial to apply a comprehensive approach.

In the *second chapter*, the author investigated the impact of the war in Ukraine on global cargo flows, focusing on key changes in transport routes, volumes of transportation, and logistics costs. The developed mathematical model based on time series demonstrates a decline in cargo transportation indicators in aviation by the end of 2030 (compared to 2021) under three scenarios: optimistic, realistic, and pessimistic. The influence of the crime environment of a transport node on the number of acts of unlawful interference was also studied. The developed multiple linear regression model confirmed the hypothesis about the significant impact of this factor on the safety of an infrastructure object. The author analyzed statistical data on air alarms in Ukraine, based on which a ranking of the territory of Ukraine by threat levels was formed.

In the *third chapter*, a model for comprehensive safety assessment of integrated transport systems was developed, based on: a model for assessing the reliability of a transport node; a model for assessing external threats to the transport node, within which an intelligent classifier for assessing external threats was developed; a model for selecting the optimal transport node based on its safety level assessment, which is carried out using a modified method of hierarchy analysis by T. Saaty and includes time and transportation costs; a modified model for assessing the risks of emergencies on transportation routes; a model for selecting the optimal transportation route based on its safety level assessment, carried out using a modified method of hierarchy analysis and includes CO₂ emissions, as well as time and transportation costs.

In the *fourth chapter*, the model for comprehensive safety assessment of integrated transport systems was tested on the example of a hypothetically developed graph of the cargo transportation system. Practical application of the tested model

allows for a comprehensive assessment of alternative options and the development of the safest route already at the stage of designing transport-technological schemes of integrated transportation, which, in the context of the war in Ukraine, reaches a new level of relevance and is crucial for the effective functioning of the transport industry.

Keywords: integrated transport systems, transport system management, multimodal transportation, supply chain, transport task, optimal route, transport hub, airport, aviation safety, security object, cargo traffic, freight transportation, transport safety, intelligent technology, reliability, risk, threats, failure situation, CO2 emissions.

List of Publications. Articles in foreign publications or in Ukrainian publications included in international scientometric databases:

1. Model of transport safety assessment in multimodal transportation systems / K. Cherednichenko et al. *Transport*. 2023. Vol. 38, no. 4. P. 204–213. URL: <https://doi.org/10.3846/transport.2023.20865>. (SCOPUS)

2. Ivannikova V., Sokolova O., Cherednichenko K. How the War in Ukraine Impacts Global Air Transportation Ecosystem: Assessment and Forecasting of Consequences. *TRANSBALTICA XIV: Transportation Science and Technology*. Cham, 2024. P. 386–401. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-52652-7_38. (SCOPUS)

3. Cherednichenko K., Sokolova O., Ivannikova V. Mathematical Model of Airport Aviation Security. *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology*. Cham, 2023. P. 773–781. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_75. (SCOPUS)

Articles in scientific professional publications:

4. Sokolova O. Y., Cherednichenko K. V. Methods and models of short-term forecasting of the European air transport market. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2023. No. 1. P. 306–316. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/46>. (Category B)

5. Cherednichenko K., Sokolova O. On Prospects of Analytic Hierarchy Process Application for Freight Transportation Safety Management in Integrated Transport Systems. *Electronics and Control Systems*. 2022. Vol. 2, no. 72. P. 64–68. URL: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.72.16945>. (Category B)

6. Cherednichenko K. Urban transport network optimization modeling in integrated transport systems. *Dorogi i mosti*. 2022. T. 2022, № 25. С. 259–269. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.259> . **(Category B)**

7. Yanchuk M.B., Pron S.V., Fedyna V.P., Cherednichenko K.V. The Scientific-Methodological Approaches to Transport Risks Management in Multimodal Freight Transportations / e. *Business Inform*. 2021. Vol. 2, no. 517. P. 198–209. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-2-198-209>. **(Category B)**

Published works in scientific conferences:

8. Cherednichenko K.V., Sokolova O.Ye. Issues of assessing the level of transport safety in integrated cargo transportation systems. *Transport Technologies and Road Safety: Proceedings of the IV All-Ukrainian Scientific-Practical Conference, Zaporizhzhia, April 14, 2023. Zaporizhzhia, 2023. pp. 59-62. Access mode: <https://bit.ly/3MTDx55>.*

9. Cherednichenko K.V., Sokolova O.Ye. The concept of "theater of safety" in integrated transport systems. *Polit. Modern Problems of Science: Proceedings of the XXIII International Scientific-Practical Conference, Kyiv, April 4, 2023. Kyiv, 2023. pp. 37-39. Access mode: <https://bit.ly/42uGIpQ>.*

10. Cherednichenko K.V. Model of an airport aviation security violator. *Polit. Modern Problems of Science: Proceedings of the XXII International Scientific-Practical Conference, Kyiv, April 4, 2022. Kyiv, 2022. Access mode: <https://bit.ly/3Nfff7a>.*

11. Cherednichenko K.V. Increasing the reliability of cargo transportation in integrated transport systems by optimizing the urban transport network. *Problems of Organizing Transportation and Management in Air Transport: X International Scientific-Practical Conference, October 28, 2021 – Kyiv: NAU, 2021. pp. 34-36. Access mode: <https://bit.ly/3MT9rPq>.*

12. Cherednichenko K.V, Yanchuk M.B. Mathematical formalization of transport safety assessment. *Ninth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY" – "Safety in Aviation and Space Technologies": IX International Congress, September 22-24, 2020. Access mode: <https://bit.ly/3OYxleQ>.*

ЗМІСТ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	18
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ТА ОЦІНКИ РІВНЯ ЇХ БЕЗПЕКИ	25
1.1. Логіко-методологічні засади дослідження питань безпеки в інтегрованих транспортних системах	25
1.2. Теоретичні засади функціонування інтегрованих транспортних систем	34
1.3. Дослідження міжнародної та української нормативно-правової бази щодо визначення та забезпечення безпеки в інтегрованих транспортних системах	45
1.4. Сучасні та потенційні наукові підходи до оцінки та забезпечення безпеки в транспортних системах	55
1.5. Висновки до розділу 1	86
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИКА ВПЛИВУ ВІЙНИ В УКРАЇНІ ТА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТУ	88
2.1. Аналітика впливу війни в Україні на глобальні потоки вантажних перевезень	88
2.2. Аналітика зовнішніх загроз транспортної системи України, що зумовлені воєнними діями російської федерації	111
2.3. Дослідження впливу криміногенності зовнішнього середовища на безпеку інфраструктурних об'єктів та концепція «театру безпеки» в транспортних системах	127
2.4. Висновки до розділу 2	137
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ІНТЕГРОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ	140

3.1. Загальна характеристика розробленої моделі комплексної оцінки транспортної безпеки інтегрованих систем перевезення вантажів	140
3.2. Розробка моделі оцінки надійності транспортного вузла в інтегрованій системі перевезення вантажів	143
3.3. Розробка моделі оцінки загроз зовнішнього середовища транспортного вузла в інтегрованій системі перевезення вантажів з використанням інтелектуальних технологій	151
3.4. Удосконалення моделі оцінки ризиків настання надзвичайних подій під час перевізного процесу в інтегрованій транспортній системі.	171
3.5. Розробка моделі комплексної оцінки безпеки в інтегрованих системах за допомогою методу аналізу ієрархій Т. Сааті для побудови безпечних маршрутів перевезення вантажів	174
3.6. Висновки до розділу 3	183
РОЗДІЛ 4. АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ІНТЕГРОВаних ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ БЕЗПЕЧНИХ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ	184
4.1. Формування вихідних даних для апробації результуючої моделі комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем	184
4.2. Розрахунок оцінки надійності транспортного вузла в інтегрованій системі перевезення вантажів	195
4.3. Розрахунок оцінки загроз зовнішнього середовища транспортного вузла з використанням інтелектуальних технологій	203
4.4. Розрахунок оцінки ризиків настання надзвичайних подій під час транспортування вантажів в інтегрованих системах перевезення	217
4.5. Розрахунок за алгоритмом побудови безпечних маршрутів перевезення вантажів, що базується на комплексній оцінці транспортної безпеки	223
4.6. Висновки до розділу 4	231

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	234
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ	239
ДОДАТОК А	265
ДОДАТОК Б	279
ДОДАТОК В	288
ДОДАТОК Г	291
ДОДАТОК Д	292
ДОДАТОК Е	293

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АБ – авіаційна безпека

АНВ – акти незаконного втручання

ДТП – дорожньо-транспортна пригода

ЗБВ – забезпечення безпеки вантажу

ІКОЗЗ – інтелектуальний класифікатор оцінки зовнішніх загроз

ІТС – інтегрована транспортна система

МАІ – метод аналізу ієрархій

МП – мультимодальні перевезення

КП – комбіновані перевезення

ПС – повітряне судно

ТЗ – транспортний засіб

AMS – Міжнародний аеропорт Схіпгол (Нідерланди)

EMSA – Європейське агентство з морської безпеки

ERA – Європейське агентство залізничного транспорту

EUR – євро

EUROSTAT – статистична організація Європейської Комісії

ТН1 – транспортний вузол (хаб) компанії ТОВ «ФТП» у м. Луцьк

ТН2 – транспортний вузол (хаб) компанії ТОВ «ФТП» у м. Хмельницький

IATA – Міжнародна асоціація повітряного транспорту

ICAO – Міжнародна організація цивільної авіації

IRTAD - Міжнародна база даних про дорожній рух і аварії

KYIV – м. Київ (Україна)

LDN – м. Лондон (Великобританія)

NLRTM – Міжнародний морський порт Роттердам (Нідерланди)

VIE – Міжнародний аеропорт Відня (Австрія)

USD – долари США

ВСТУП

У сучасному світі, особливо в Україні, питання безпеки та ефективності транспортних перевезень стало надзвичайно важливим. Це пов'язано не лише з економічними та соціальними аспектами, але й з військовими діями на території країни, що суттєво впливають на логістичні процеси та підвищують ризики транспортної безпеки. Військовий конфлікт призводить до руйнування інфраструктури, ускладнює роботу транспортних коридорів і створює додаткові загрози для пасажирів і вантажів.

Інтегровані транспортні системи, що об'єднують різні види транспорту та оптимізують логістичні процеси, потребують сучасних підходів до планування маршрутів з урахуванням фактору безпеки. Тому розробка моделей вибору маршрутів перевезення з урахуванням цих факторів є надзвичайно актуальною, оскільки дозволяє підвищити ефективність та безпеку перевезень, знизити ризики для перевізників і вантажів, а також стабілізувати логістичні ланцюги в кризових ситуаціях.

Актуальність теми. Оцінка транспортної безпеки та управління ризиками у транспортних системах стають ключовими елементами для забезпечення стабільного функціонування як міських, так і міжміських транспортних мереж. Надійне та безпечне функціонування транспортної інфраструктури має велике значення для економічного розвитку, соціальної стабільності та підтримки належного рівня життя населення. В умовах війни в Україні та її наслідків, що підвищують рівень ризиків, необхідно приділяти особливу увагу розробці методів та інструментів для оцінки та управління цими ризиками.

Таким чином, дослідження, спрямоване на розробку моделей вибору маршрутів перевезення в інтегрованих транспортних системах з врахуванням фактору безпеки та використанням інтелектуальних систем, є надзвичайно актуальним і має велике практичне значення для розвитку транспортної інфраструктури України в умовах сучасних викликів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота в рамках кафедральної науково-дослідної роботи на тему «Методи і моделі забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем та авіації спеціального призначення» (№6/11.02.02 з 01.09.15 по 30.06.18 рр.) та «Методи забезпечення сталого розвитку авіатранспортної системи», виконавець (№ 80/19.01 з 01.09.2018 – 30.06.2021 рр.); згідно з «Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 року за № 430-р.

Об'єктом дисертаційного дослідження є процеси формування безпечних перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах.

Предметом дисертаційного дослідження є методи та моделі комплексної оцінки безпеки в інтегрованих транспортних системах перевезенні вантажів.

Метою дисертаційного дослідження є розробка методів та моделей комплексної оцінки безпеки в інтегрованих транспортних системах та подальше її використання для проектування безпечних маршрутів перевезення вантажів. Для досягнення поставленої мети у роботі визначено наступні основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати концептуальні підходи до формування інтегрованих транспортних систем, а також їх функціонування у сучасних умовах.
2. Дослідити сучасні підходи до моделювання оцінок безпеки за різними видами транспорту, визначити вплив факторів, які впливають (або потенційно можуть впливати) на системи забезпечення безпеки на різних видах транспорту.
3. Розробити математичну модель оцінки надійності транспортного вузла інтегрованої транспортної системи;
4. Розробити математичну модель оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла в інтегрованих транспортних системах;
5. Удосконалити математичну модель ризиків настання надзвичайних подій в інтегрованих транспортних системах під час фактичного перевезення вантажу.

6. Розробити математичну модель, яка поєднує вищезазначені моделі для формування комплексної оцінки транспортної безпеки на кожній ділянці перевізного процесу.

7. Апробувати результуючу модель комплексної оцінки транспортної безпеки для проектування безпечних маршрутів перевезення вантажів.

Методи досліджень. Автор використовував аналітичний метод в дослідженні інтегрованих транспортних систем, де спершу було уявно «поділено» об'єкт на складові частини з метою більш детального його вивчення. Було визначено, що транспортні системи являють собою сукупність об'єктів транспортної інфраструктури, і безпеку такої системи було представлено як систему безпеки транспортних інфраструктур (метод аналогій). Безпеку транспортної системи було доцільно розглядати як безпеку транспортних вузлів і маршрутів переміщення.

На сьогоднішній день існує декілька основних підходів до оцінки рівня безпеки транспортних систем. Згідно з цими методами, спочатку за допомогою емпірично-теоретичних підходів було визначено параметри, які можуть вплинути на стан безпеки систем, а потім було проведено оцінку їх числових показників (статистики) та їх взаємозв'язків.

За допомогою методу синергії було об'єднано розраховані оцінки транспортних інфраструктур для формування єдиної (комплексної) оцінки рівня безпеки транспортної системи. Враховуючи важливість динамічної характеристики транспортну, було досліджено зміни як її стану, так і окремих її елементів у часі за допомогою методів моделювання. Важливим етапом було дослідження за допомогою експериментальних методів моделі транспортної системи на предмет її поведінки залежно від вихідних даних: якісні зв'язки між елементами, статистичні дані відмов роботи систем, можливості перерозподілу потоків тощо. Цей метод допоміг виявити слабкі сторони системи і стимулював оптимізаційне моделювання з метою підвищення живучості, ефективності та якості транспортної системи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у концептуально новому комплексному підході до оцінки рівня безпеки в транспортних системах, що, на відміну від сучасних методів, включає в себе оцінку безпеки як інфраструктурних об'єктів, так і маршрутів перевезення; при цьому оцінка безпеки транспортної інфраструктури відбувається на двох рівнях: зовнішній – оцінка загроз зовнішнього середовища об'єкту, внутрішній – оцінки працездатності системи забезпечення безпеки.

При цьому *вперше*:

- розроблено математичну модель інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз інфраструктурних об'єктів за допомогою нечіткої логіки, що дозволяє врахувати криміногенність середовища, в якому він знаходиться та відстань від лінії розмежування, що є особливо важливим сьогодні для України через повномасштабну російську агресію;

- розроблено математичну модель надійності транспортного вузла, який визначає працездатність системи забезпечення безпеки у будь-який момент часу;

Удосконалено:

- математичну модель ризику, що дозволяє оцінити ймовірність настання надзвичайних подій на маршрутах перевезення вантажів в інтегрованих транспортних системах

Набули подальшого розвитку:

- методи раціонального вибору та побудови маршрутів перевезення за рахунок включення до багатокритеріальної системи оцінок фактору безпеки, що дозволить забезпечити безпеку вантажу на кожному етапі транспортування в умовах війни в Україні;

Практична значимість отриманих результатів полягає у:

- практичне застосування апробованої моделі дозволяє комплексно оцінити альтернативні варіанти та розробити найбезпечніший маршрут вже на стадії проектування транспортно-технологічних схем інтегрованих перевезень, що в умовах війни в Україні виходить на новий рівень актуалізації та має вирішальне значення для ефективного функціонування транспортної галузі.

Основні науково-практичні результати дисертації впроваджено у навчальний процес кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету (Додаток Е). Також результати дисертаційного дослідження були впроваджені у виробничі діяльності ТОВ «ФТП» (Додаток Г) у вигляді розробленого алгоритму для вирішення багатокритеріальної задачі побудови оптимальних мультимодальних систем перевезень та Міжнародного аеропорту «Одеса» у вигляді розробленої моделі комплексної оцінки безпеки аеропортової інфраструктури (Додаток Д).

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачем особисто виконано наступне: [1] в рамках роботи над дослідженням розроблено та апробовано спрощену тестову модель оцінки надійності транспортного вузла, яка в подальшому була видозмінена, покращена та презентована автором у роботі; [2] розроблено математичну модель прогнозування впливу війни в Україні на забруднення навколишнього середовища, спричиненим обльотом територій України та росії за трьома сценаріями; [3] розроблена математична модель множинної лінійної регресії для перевірки гіпотези про вплив фактору криміногенності зовнішнього середовища на кількість актів незаконного втручання в діяльність аеропорту; [4] розроблений алгоритм для короткострокового прогнозування вантажопотоків транспортної компанії за допомогою симуляційного моделювання; [5] сформульовано математичний апарат для використання методу аналізу ієрархій при оцінці транспортної безпеки; [7] розроблено алгоритм визначення адитивної та мультиплікативної оцінки ризику під час транспортування за мультимодальною системою перевезень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційного дослідження та результати розробки доповідались та обговорювались на:

- Всеукраїнській науково-практичній конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху», що була проведена НУ «Запорізька політехніка» у м. Запоріжжя (квітень 2023 року);

- Міжнародних науково-практичних конференціях «Політ. Сучасні проблеми науки», які були проведені Національним авіаційним університетом у м. Київ у 2022-2023 роках;

- Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми організації перевезень та управління на повітряному транспорті», яка була проведена Національним авіаційним університетом у м. Київ у 2021 році;

- Дев'ятому Всесвітньому Конгресі «Авіація ХХІ сторіччя: Безпека у авіаційних та космічних технологіях», яка була проведена у м. Київ у 2020 році.

Публікації. По темі дисертаційного дослідження опубліковано 12 наукових праць, з яких: 4 статі у фахових наукових виданнях категорії «Б» України, 3 роботи у наукових виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus та 5 праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, переліку умовних позначень та термінів, вступу, чотирьох розділів, висновків, разом з якими її обсяг складає 293 сторінок, списку використаних джерел, який містить 259 найменування, 5 додатків на 28 сторінках, ілюструється 106 рисунками та містить 38 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ТА ОЦІНКИ РІВНЯ ЇХ БЕЗПЕКИ

1.1. Логіко-методологічні засади дослідження питань безпеки в інтегрованих транспортних системах

Транспортна галузь завжди привертала пильну увагу злочинних організацій і окремих правопорушників. Це зумовлено тим, що транспортний сектор працює з великою кількістю людей, вантажами і включає складні та дорогі об'єкти для здійснення своєї діяльності. Навіть часткове здійснення акту незаконного втручання в діяльність транспорту може спричинити значні фінансові, матеріальні, моральні та політичні збитки.

Також слід враховувати широкий суспільний резонанс, який супроводжує будь-які помилки у забезпеченні безпеки перевезень пасажирів і вантажів.

Аналіз стану безпеки на транспорті показує, що негативні тенденції переважають: терористична діяльність посилюється, терористичні організації отримують доступ до значних фінансових ресурсів, зростає фінансова злочинність. Усе це змушує серйозно зосередитися на проблемах забезпечення безпеки транспортних систем.

Транспортна безпека як наукова дисципліна є відносно новою і молодого галуззю. Важливо відзначити, що як термін вона існує лише кілька десятиліть. Основна мета транспортної безпеки полягає в забезпеченні такого рівня безпеки, який відповідає сучасним вимогам функціонування об'єктів транспортної інфраструктури, тобто необхідно керувати рівнем безпеки на транспорті.

Логічні засади дослідження оцінки безпеки в інтегрованих транспортних системах

У сучасному науково-практичному середовищі вивченням проблем транспорту присвячено досить значну кількість праць іноземних та українських

вчених. Однак, серед науковців досі не вироблено єдиного підходу до трактування категорії «транспорт».

У філософському аспекті поняття «транспорт» подається полігамним, що характеризується не тільки різноманітністю видів транспорту, але і його природою. Транспорт як переміщення предметів існує всюди: це і рух молекул, і сукупність різних транспортних систем організму. Незаперечно також транспортна складова і в природі, що виражається в таких явищах, як: течія річки, виверження вулканів, обертання Землі в Сонячній системі [23]. Визначення транспорту в традиційному сенсі є безпосереднім переміщення предметів.

Безумовно, транспорт - результат людської діяльності, проте він також може бути представлений не як технічне втілення діяльності людини, спрямованої на пересування предметів, але як більш складне поняття, яке відповідає за зв'язок окремих об'єктів. Сьогодні транспорт стає предметом людського екзистенціалізму [24]: транспорт надає нові простори для людської діяльності, наприклад, подолання величезних відстаней в стислі терміни, що дозволяє говорити про нове сприйняття простору і часу. Поняття «транспорт» має також інформаційну функцію. З кожним роком удосконалюються способи передачі інформації. Завдяки цьому досягаються висока швидкість, надійність і безпека транспортування [25].

У більш вузькому сенсі, абстрагуючись, транспорт ототожнюють з поняттям «транспортна система», тобто, як множину елементів, що знаходяться у зв'язках один з одним та утворює певну цілісність, єдність [26]. Потреба у використанні поняття «система» виникає у тих випадках, коли потрібно підкреслити, що об'єкт є великим, складним за структурою, але при цьому цілим, єдиним.

Так як транспорт є сукупністю взаємопов'язаних елементів (таких як транспортні вузли, засоби, логістичні та експедиторські компанії і т.д.), яка має такі властивості, як: *синергічність* (транспортна компанія отримує додатковий дохід при незмінних витратах на транспортування, а вантажовідправник отримує економію, тому що немає необхідності наймати додаткового співробітника,

виплачувати йому заробітну плату та витрати на відрядження), *емерджентність* (перевезення, затори на дорогах), *цілеспрямованість* і *ієрархічність* - в окремих працях транспорт розглядається як «транспортна система».

Враховуючи вищенаведене, *транспортну систему* визначають як комплекс транспортної інфраструктури, транспортних підприємств, транспортних засобів та системи управління, що забезпечує скоординований розвиток і роботу різних видів транспорту для максимізації задоволення потреб при мінімізації витрат. З вищевказаного визначення випливає, що транспортну систему можна розглядати також як сукупність систем видів транспорту, а саме: *повітряної, наземної* (автомобільної та залізничної), *водної* (морський і річковий) і *трубопровідної* транспортних систем.

Одним з важливих аспектів розвитку науки є інтеграція процесів всередині неї. Такі діалектичні протилежності були властивими не тільки в науці, а й в будь-яких епістемологічних, пізнавально-методологічних чи діяльнісно-організаційних контекстах. Об'єктивною базою таких процесів є різноманітність та єдність світу [24].

Протягом останніх десятиліть інтеграція стала ключовим фактором наукового розвитку. *Інтеграцію* наукового пізнання можна визначити як синтез наук і наукових дисциплін, об'єднання їх методів в єдине ціле, що стирає між ними межі [23].

У сучасній науці зміна характеру синтезу наукового знання відбувається за допомогою інтегративних процесів. Сьогодні дослідники розрізняють в науці три основні варіанти синтезу знання: 1) в межах однієї галузі (або дисципліни); 2) у межах різних галузей (або дисциплін), що входять до одного комплексу наук (наприклад, технічні науки, природознавство і т. д.); 3) за межами такого комплексу наук, який об'єднує знання з декількох наукових галузей.

На сучасному етапі сформовані нові типи транспортних систем - *інтегровані транспортні системи*, які можна визначити як результат синтезу декількох транспортних систем, де різні види транспорту ефективно пов'язані один з одним.

Потреба в таких системах виникла через особливості кожного виду транспорту та їх технологічні і технічні характеристики, які обмежують їх конкурентоспроможність і сприяють взаємодії між ними. На практиці це можна пояснити так: доставити вантаж за технологією "від дверей до дверей" може лише автотранспорт, тому для залізничного і водного транспорту потрібні автомобілі-посередники, які транспортують вантажі "до дверей". Друга причина формування таких систем - глобалізація, яка сприяє розвитку міжнародних перевезень. При транспортуванні товарів між країнами часто недоцільно використовувати лише один вид транспорту.

На жаль, сьогодні не існує єдиного визначення поняття «інтегрована транспортна система (ІТС)». Загальну характеристику підходів до визначення подано у таблиці 1.1.1.

Таблиця 1.1.1. Загальна характеристика підходів до визначення поняття «інтегрована транспортна система»

Автор	Підхід до визначення
Kraft S, Halás M, Klapka P., Blažek V. [27]	ІТС засновані на інтеграції окремих видів транспорту в одну взаємопов'язану, скоординовану систему та являють собою інноваційне рішення для організації міського та регіонального громадського транспорту.
Musa M., Hashim N., Muhammad R. [28]	Інтегрована транспортна система (ІТС) - технологія використання інтелектуальних додатків в управлінні транспортними системами. Загалом, вона передбачає об'єднання різних транспортних систем із кількома видами транспорту та керування переміщенням вантажу чи пасажирів відповідно до зібраних даних щодо пункту призначення, заторів, маршруту та витрат, тощо.
Janic M. [29]	мережа різних транспортних модальностей, що працюють разом під єдиним управлінням, для надання безперебійних і взаємопов'язаних транспортних послуг на всіх рівнях (місцевому, національному та міжнародному).

Kiba-Janiak M., Thompson R., Cheba K. [30]	комплекс взаємопов'язаних елементів транспортної інфраструктури, що сприяє оптимізації логістичних процесів і забезпечує ефективну взаємодію різних видів транспорту
Adamski A. [31]	системи управління транспортом, які прагнуть інтегрувати всі види транспорту та всі дороги в «систему систем», привертають увагу дослідників, враховуючи очікувані переваги в транспортній спільноті для підвищення рівня поточних транспортних систем до інтегрованої роботи.
Hull A. D [32]	системи, спрямовані на покращення ефективності транспортування шляхом координації різних видів транспорту та оптимізації транспортних потоків. Основна увага приділяється забезпеченню зручних та швидких пересадок між різними видами транспорту, що підвищує загальну ефективність системи
Schwedec O. Hoor M. [33]	системи, які забезпечують ефективну взаємодію між різними видами транспорту через використання сучасних інформаційних технологій та систем управління, що сприяє зниженню часу подорожі та підвищенню якості обслуговування пасажирів

Джерело: сформоване автором на основі аналізу [27-34]

Вчені (табл. 1.1.1) погоджуються, що інтегровані транспортні системи сприяють підвищенню ефективності та зручності перевезень. Це досягається за рахунок координації різних видів транспорту, що дозволяє мінімізувати час в дорозі та витрати на транспортування. Одним з головних питань, що викликає розбіжності, є підходи до інтеграції транспортних систем. Деякі вчені, такі як Загреба В. [34], пропонують впроваджувати європейські регламенти для координації роботи різних видів транспорту, тоді як інші, як Павленко Д. [34], зосереджуються на адаптації місцевих рішень для оптимізації мережі громадського транспорту.

Автор, в ході роботи над доробком, визначає *інтегровану транспорту системи (ИТС)* як систему, яка об'єднує різні види транспорту (залізничний,

автомобільний, водний та повітряний) в єдину мережу, що забезпечує ефективне і зручне перевезення пасажирів та вантажів.

Зростаючий попит на інтегровані перевезення підвищує актуальність питання оцінки рівня транспортної безпеки та її забезпечення. Особливу увагу приділяють збереженості транспортних засобів та вантажних одиниць та на кожній ділянці перевезення. Все це змушує серйозно приділити увагу проблемам забезпечення безпеки на транспорті.

З філософської точки зору, безпека визначається як стан складних систем, що забезпечує і гарантує збереження їх цілісності, стійкого динамічного розвитку і ефективного функціонування на задані цілі, а також тих об'єктивних умов, які цьому сприяють [25].

Безпека як складне системне утворення залежить від ступеня цілісності та сталого розвитку об'єкта безпеки, який виявляється в прямій залежності від об'єктивних умов його становлення, розвитку та функціонування. Стан безпеки в той же час знаходиться в безпосередній залежності від суб'єктивних чинників, призначенням яких є забезпечення безпеки, а значить, захищати цілісність та підтримувати умови сталого розвитку транспорту та оптимального функціонування транспортної системи.

Однак ступінь готовності і здатності суб'єктивного фактору реалізувати існуючі можливості, що надаються об'єктивними умовами в інтересах сталого розвитку та вдосконалення системи безпеки, виявляється одним з найскладніших управлінських завдань [23].

З вищесказаного випливає висновок, що *безпека* є однією з показників складних систем, що відображає степінь їх захищеності від зовнішніх і внутрішніх небезпек, або їх здатність до сталого функціонування при руйнуючих впливах.

Таким чином, *транспортну безпеку*, як характеристику транспортної системи, можна визначити як ступінь захищеності об'єктів транспортної інфраструктури, що сприяє забезпеченню національної безпеки і захисту національних інтересів у сфері транспортної діяльності. Це також включає

стійкість транспортної системи, здатність запобігати пошкодженням здоров'ю та життю людей, шкоді майну і навколишньому середовищу, а також мінімізацію економічних збитків внаслідок транспортної діяльності. Поняття «транспортної безпеки» охоплює кілька сфер безпеки, включаючи авіаційну, а також безпеки залізничного, автомобільного, трубопровідного, та морського транспорту.

Слід зазначити, що до сьогоднішнього дня управління *транспортною безпекою* здійснюється виключно на рівні організації, що означає, що безпекова подія фіксується, аналізується та досліджується, а на основі отриманих даних розробляються заходи для запобігання подібним інцидентам у майбутньому. Однак, через рідкість таких подій, статистичні дослідження не дають бажаного результату. Крім того, час при реалізації організаційного управління майже не враховується і не пов'язаний з процедурами виявлення та усунення небезпек, тому організаційне управління не може вважатися оптимальним.

З'являється складне завдання *оцінки рівня транспортної безпеки* об'єктів транспортної інфраструктури. Для того, щоб керувати безпекою на основі цієї оцінки, вона повинна мати кількісний еквівалент, тобто рівень транспортної безпеки об'єкта має бути виражений числом. Таким чином, *рівень транспортної безпеки* слід розуміти як ступінь захищеності транспортного комплексу. Оцінка рівня транспортної безпеки - це процедура, під час якої цей рівень отримує кількісний еквівалент.

Використовуючи *аналітичний метод* [25] в дослідженні інтегрованих транспортних систем, спершу необхідно уявно «поділити» піддослідній об'єкт на складові частини з метою більш детального його вивчення. Ґрунтуючись на припущенні, що так як транспортні системи являють собою сукупність об'єктів транспортної інфраструктури, то і безпеку такої системи можна представити як систему безпеки транспортних інфраструктур (*метод аналогій* [25]).

Безпеку транспортної інфраструктури доцільно розглядати як: *безпека транспортних вузлів і безпека маршрутів переміщення*.

На сьогоднішній день існує декілька основних підходів до оцінки рівня безпеки транспортних інфраструктур. Згідно з цими методами, спочатку за

допомогою *емпірично-теоретичних підходів* [25] визначаються параметри, які можуть вплинути на стан безпеки систем, а потім проводиться оцінка їх числових показників (статистики) та їх взаємозв'язків.

Автором встановлено, що у процесі таких досліджень рекомендовано проводити оцінку наступних показників: захищеність, надійність, живучість, стійкість, якість, рівень небезпеки, вразливість, загрози, ризик та ефективність (табл. 1.1.2).

Таблиця 1.1.2. Показники, які можуть бути використані для оцінки безпеки транспортних систем

Параметр	Визначення
надійність [12, 35-39]	показник, що відображає здатність системи зберігати необхідні властивості для виконання заданого призначення та функціонувати протягом визначеного часу за встановлених умов.
захищеність [40]	здатність об'єкта протидіяти конкретним, заздалегідь визначеним загрозам безпеки.
стійкість [41-43]	здатність системи зберігати свій поточний стан і виконувати функції під впливом зовнішніх факторів і перешкод.
живучість [43]	здатність системи продовжувати здійснювати свої основні функції незважаючи на отримані пошкодження або здатність адаптуватися до нових умов.
вразливість [42-45]	показник, який відображає нездатність системи протистояти реалізації певної загрози або сукупності загроз.
небезпека [43]	стан системи, в якому може відбутися небезпечна (прогнозована ризикова) подія в разі виявлення загрози, якщо виявлені фактори можуть відбутися.
ризик [6, 14, 17, 47-57, 102, 105, 106, 111, 112, 122, 123]	можливість виникнення негативної події, яка пов'язана зі зниженням рівня безпеки з урахуванням ймовірності її виникнення та серйозності наслідків.
загроза [58]	стан, об'єкт або діяльність, які потенційно можуть спричинити негативну подію, що виникає внаслідок зниження рівня безпеки.

якість [59]	ступінь відповідності властивих характеристик системи необхідним запитуваним вимогам.
ефективність [60]	властивість системи виконувати поставлену мету з певною якістю в умовах, передбачених для її використання.

Джерело: сформоване за [6], [14], [17], [35-60], [102], [105], [106], [111], [122], [123]

Виконавши аналіз більшості сьогоденних підходів до оцінки рівня безпеки у різних галузях, автором було зроблено висновок про те, що її рекомендовано розглядати двома шляхами.

По-перше, слід спочатку трактувати поняття «надійність», «захищеність», «стійкість» і «живучість» як синоніми «безпеки», а потім оцінювати їх взаємозв'язок. По-друге, ідентифікацію безпеки можна здійснювати не тільки в її наявності, але й у відсутності, оцінюючи негативні фактори впливу. Тому «безпеку» доцільно співвідносити з поняттями неповної або часткової безпеки, такими як «вразливість», «небезпека», «ризик» і «загрози». Таким чином, існує певне уявне поле захисту об'єкта транспортної інфраструктури, яке забезпечує протидію сукупності існуючих або передбачуваних загроз.

За допомогою *методу синергії* [25] необхідно об'єднати розраховані оцінки транспортних інфраструктур для формування єдиної (комплексної) оцінки рівня безпеки транспортної системи.

Так як важливою характеристикою транспортної системи є динамічність, то необхідно дослідити зміни стану системи і окремих її елементів у часі за допомогою *методів моделювання* [26].

Також важливим етапом є дослідження за допомогою *експериментальних методів* [25] моделі транспортної системи на предмет її поведінки, в залежності від вихідних даних: якісні зв'язки між елементами, статистичні дані відмов роботи систем, можливості перерозподілу потоків і т. д. Даний метод допоможе виділити слабкі сторони системи і дати поштовх для оптимізаційного

моделювання з метою підвищення живучості, ефективності та якості даної транспортної системи.

1.2. Теоретичні засади функціонування інтегрованих транспортних систем

Світовий досвід управління транспортними потоками на всіх рівнях показує, що одним з перспективних шляхів для зниження витрат та співпраці учасників у процесі доставки є розвиток інтегрованих систем перевезень. Ці системи дозволяють об'єднати конкуруючі види транспорту в єдину систему, що гармонійно взаємодіє між собою. Саме тому проблема створення інтегрованих транспортних систем є актуальною і потребує ретельного вивчення.

Форми взаємодії різних видів транспорту

Процес взаємодії різних видів транспорту є складним та різноманітним. Він охоплює прийняття рішень з організації роботи транспорту в різних аспектах: узгодження місця розташування та параметрів транспортних вузлів; характеристик рухомого складу; асортимент вантажів та умови їх транспортування, складування та перевантаження; планування та організацію вантажних потоків; нормативне регулювання перевезень; обмін інформацією; тощо

У науковій літературі [58 - 60] подані наступні форми взаємодії транспорту, а саме: технологічна, технічна, правова, економічна та інформаційна (рис. 1.2.1).

Технічна форма взаємодії різних видів транспорту має на меті:

- вирівнювання пропускнуої та обробної здатності систем і пристроїв, через які пройшов потік вантажів та пасажирів;
- узгодження параметрів рухомого складу та контейнерів за розмірами, вантажопідйомністю та місткістю для оптимального використання перевантажувальних засобів;

- розробка засобів зв'язку для робітників на різних видах транспорту, які відповідають за управління перевезенням, вантажоперевалкою та пасажирським обслуговуванням у внутрішньотранспортних вузлах.;

- проектування та будівництво транспортних вузлів і пересадочних пунктів, враховуючи взаємні вимоги.

Координація у сфері транспортної техніки передбачає створення умов для перенесення вантажів з одного виду транспорту на інший, що забезпечує оптимальне використання техніки як в рамках всієї транспортної системи, так і для кожного виду транспорту окремо.



Рис. 1.2.1. Форми взаємодії різних видів транспорту

Джерело: сформовано автором на основі [34]

Один з найяскравіших прикладів такої координації - це створення раціонально спланованих перевалочних вузлів, де взаємодіють різні види транспорту. Тоді пропускні та обробні здатності кожного елемента транспортного вузла повинні бути згодованими, і жоден елемент не повинен утруднювати процес перенесення.

Поряд із загальними вимогами, що стосуються будь-якого типу рухомого складу і пов'язані з збереженням вантажу та зручністю виконання вантажних операцій, існують специфічні вимоги для рухомого складу різних видів транспорту. Ці вимоги полягають в необхідності забезпечити наступне [69]:

- відповідність їх габаритних розмірів, вантажопідйомності та місткості для забезпечення ефективного використання;
- можливість перевезення вантажу у різних типах транспорту за допомогою однакових контейнерів або тари;
- можливість використання стандартних засобів механізації для виконання робіт з завантаження та розвантаження вантажів, з вантажопідйомністю, що відповідає масі вантажів;
- здатність до прямого перевантаження з одного виду транспорту на інший.

Технологічна взаємодія між різними видами транспорту нерозривно пов'язана з розробкою технології роботи цих видів транспорту як у процесі перевезення вантажів на них, так і під час перевезення вантажів і транспортних засобів. Відповідно, технологічна взаємодія між видами транспорту охоплює такі аспекти [60]:

- організація перевезення вантажів декількома видами транспорту за узгодженим графіком переміщення транспортних засобів;
- експлуатація рухомого складу та вантажно-розвантажувальних механізмів у місцях загального користування за єдиним технологічним процесом;
- застосування узгоджених норм для забезпечення перенавантажувальних для транспортних засобів, що забезпечені відповідними механізмами;
- створення умов, які є необхідними для максимізації розвитку перевезень без перевантаження;

- впровадження прямого перевантаження вантажів з одного виду транспорту на інший, уникнувши їх складського зберігання;

- оперативне планування діяльності транспортних підприємств у вузлах.

Взаємодія між видами транспорту передбачає врахування економічних інтересів всіх учасників перевізного процесу. Слід відзначити, що з переходом до ринкових умов економічні завдання взаємодії зазнали суттєвих змін. Якщо раніше держава вирішувала питання щодо розподілу обсягу перевезень між різними видами транспорту і визначала раціональні та нераціональні перевезення, тобто перевезення через перетин.

В економічній формі взаємодії транспорту на сьогоднішній день стоять наступні завдання [59]:

- розробка стратегії розвитку транспорту;
- розробка та узгодження планів-прогнозів попиту на транспортні послуги ;
- визначення об'ємів змішаних перевезення по регіонах ;
- визначення розмірів інвестицій та способів субсидування ;
- розробка єдиної методичної бази для визначення експлуатаційних витрат, ефективності капітальних вкладень, собівартості перевезення та продуктивності праці;
- обґрунтування та узгодження показників обліку транспортних витрат;
- узгодження системи розподілу доходів при змішаних перевезеннях;
- обґрунтування ефективності сумісних проектів транспортного обслуговування клієнтів;
- розроблення стратегії подальшого розвитку транспортної системи;
- визначення обсягів змішаних перевезень у різних регіонах;
- опрацювання обсягів інвестицій та методів їх фінансування;
- розробка єдиної методики для розрахунку експлуатаційних витрат, вартості перевезень, ефективності капітальних вкладень та інших економічних показників;
- узгодження системи обліку транспортних витрат;

- розроблення та узгодження методів розподілу прибутку від змішаних перевезень;

- оцінка ефективності спільних проектів обслуговування клієнтів;

- проведення спільних банківських та кредитних операцій між перевізниками різних видів транспорту.

Мета *інформаційної* взаємодії полягає у створенні єдиного для транспортного комплексу інформаційного середовища і впровадження аналітичних систем, які підтримують управління розвитком і регулюванням процесів функціонування цього комплексу.

Правова взаємодія передбачає вирішення правових питань, що виникають у зв'язку з взаємовідносинами між різними видами транспорту та між органами транспорту і клієнтами. Ці аспекти включають [59]:

- забезпечення правового регулювання організації та планування перевезень у прямих і непрямих комбінованих повідомленнях.;

- встановлення чіткого розмежування відповідальності між учасниками перевезення за результатами перевезення;

- встановлення правового статусу транспортних хабів (вузлів);

- визначення правового статусу операторів змішаного перевезення тощо.

До *організаційної форми взаємодії* необхідно віднести регулювання державною транспортної системи.

Організаційна форма взаємодії перш за все передбачає державне регулювання функціонування транспортної системи країни [56]. Серед аспектів, які підлягають державному регулюванню, зокрема:

- підвищення рівня розвитку та технічного удосконалення транспортної інфраструктури регіонального та загальнодержавного значення;

- перетворення інституційної структури у транспортній галузі;

- забезпечення технічної, технологічної, екологічної та транспортної безпеки інфраструктурних об'єктів та транспортних засобів;

- створення та розвиток ринку послуг та транспортних засобів;

- активність транспортних підприємств на міжнародному рівні.

Функціонування інтегрованих транспортних систем

Загальносвітовою тенденцією є створення інтегрованих транспортних систем, що є ключовою умовою для розвитку міжнародної торгівлі. Ці системи спрямовані на прискорення, зниження витрат та спрощення вантажних операцій шляхом консолідації стандартних вантажних одиниць. Інтегровані системи перевезень забезпечують безперервність транспортного процесу і потребують не лише організаційної взаємодії між їх учасниками, такими як вантажовідправники та вантажоотримувачі, але й інтегрованого розвитку матеріально-технічної бази взаємодіючих видів транспорту, впровадження спільних технологій, інтеграції комунікаційних систем та обміну інформацією (рис. 1.2.2).

Протягом останніх років помітна стабільна тенденція до зростання обсягів вантажопотоків на маршрутах, що з'єднують Східну та Західну Європу з країнами Азіатсько-Тихоокеанського регіону. Найкоротші маршрути цього типу перетинають територію України. Відомо, що Україна має великий потенціал для інтеграції в світовий транспортний процес, що пояснюється її вигідним географічним положенням і наявними ресурсними можливостями у транспортному секторі.

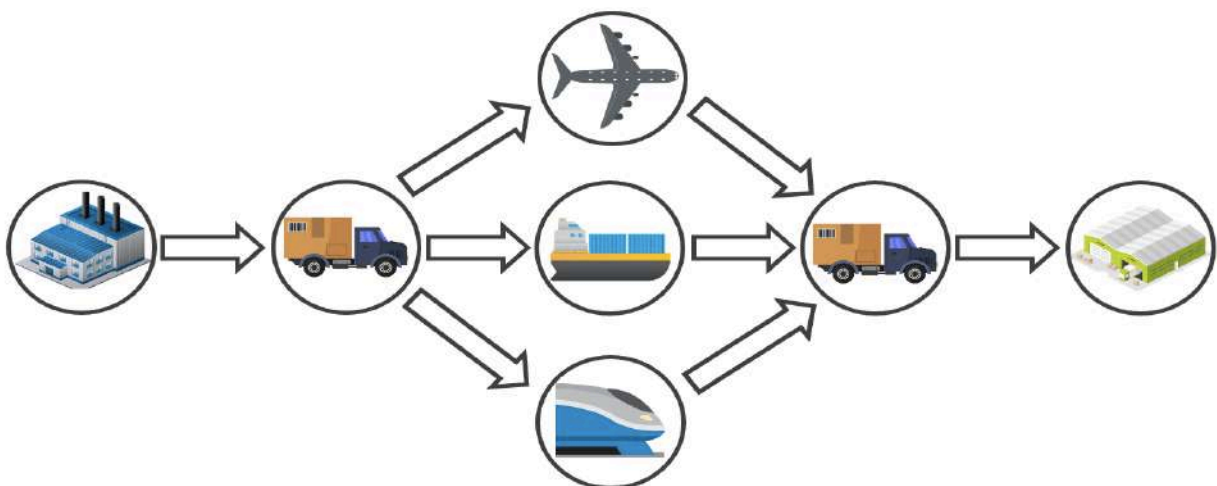


Рис. 1.2.2. Типова схема процесу перевезення в інтегрованих транспортних системах

Джерело: сформовано автором

Післявоєнний розвиток інтегрованих систем перевезень стане важливим напрямом відновлення транспортної інфраструктури України. Ця стратегія сприяє збільшенню обсягів перевезень в межах країни за участю національних транспортних компаній. Також такий підхід сприяє підвищенню конкурентоспроможності України на глобальному ринку транспортних послуг та сприяє розвитку мережі існуючих транспортних коридорів. Крім того, він сприяє інтеграції української інфраструктури у загальносвітову систему транспорту.

Варто зазначити, що сьогодні часто інтегровані транспортні системи ототожнюються з «мультимодальними», «інтермодальними» та «комбінованими» перевезеннями [62-66].

У [64] *інтермодальне перевезення* описується як переміщення вантажів без обробки їх самостійно при переході між різними видами транспорту, в єдиній вантажній одиниці, або ж одному транспортному засобі. У [65], інтермодальним перевезенням називається доставка, яка здійснюється кількома видами транспорту, при цьому один із учасників організує повний цикл перевезення від пункту відправлення до призначення. Тоді для доставки використовуються різні транспортні документи в залежності від розподілу відповідальності.

Комбіноване перевезення, що є формою інтермодального перевезення [65], значна частина маршруту в Європі виконується залізничним, внутрішньоводним або морським транспортом, а перший або останній етап маршруту, де використовується автомобільний транспорт, є максимально коротким. Щоправда, ЗУ «Про мультимодальне перевезення» [61] визначає *комбіноване перевезення*, як форму мультимодального перевезення вантажів, що є процесом перевезення вантажів однією та самою транспортною одиницею без необхідності перевантажування вантажу під час зміни виду транспорту.

Згідно з Законом України «Про мультимодальні перевезення» [61], *мультимодальне перевезення* (МП) – перевезення вантажів двома або більше видами транспорту на підставі договору мультимодального перевезення, що здійснюється за документом мультимодального перевезення.

Відповідно до вищевказаного нормативно-правового документа визначено сутність ключових понять та категорій, що є необхідною умовою організації мультимодальних перевезень (табл. 1.2.1):

Таблиця 1.2.1. Основні визначення щодо мультимодальних перевезень, визначені Законом України «Про мультимодальні перевезення».

Термін	Визначення
договір про МП	договір між оператором мультимодальних перевезень та замовником послуги мультимодального перевезення на надання послуги мультимодального перевезення
документ про МП вантажів	перевізний документ (транспортна накладна, коносамент тощо), що підтверджує укладення договору мультимодального перевезення та прийняття вантажу під свою відповідальність оператором мультимодального перевезення від замовника, який оформлюється оператором мультимодального перевезення та за яким здійснюється перевезення вантажу
мультимодальний термінал	виробничо-перевантажувальний комплекс будь-якої форми власності, який використовується під час мультимодального перевезення для зміни видів транспорту, виконання операцій навантаження, розвантаження, зберігання вантажів тощо, а під час міжнародного перевезення також може бути пунктом пропуску (пунктом контролю) через державний кордон України
оператор МП	суб'єкт господарювання, який укладає договір мультимодального перевезення, приймає на час перевезення під свою відповідальність вантаж, оформлює документ мультимодального перевезення та здійснює чи забезпечує здійснення перевезення вантажу до місця призначення

Джерело: сформовано автором на основі [61]

У практиці зовнішньоторговельної діяльності, мультимодальними називаються перевезення, які використовують декілька видів транспорту під однією відповідальністю перевізника за єдиним транспортним документом та на основі єдиної наскрізної ставки. Ця форма доставки охоплює більше однієї третини зовнішньоторговельних вантажів [62].

Серед головних ознак, які визначають мультимодальні перевезення [68], можна зупинитись на:

1. Використання різних видів транспорту: у мультимодальному перевезенні використовуються різні види транспорту: залізничний, автомобільний, повітряний та водний.

2. Один перевізник та єдиний транспортний документ: перевезення виконуються під відповідальністю одного перевізника, який організує весь процес доставки, та на підставі єдиного транспортного документа.

3. Єдина наскрізний тариф: перевезення передбачає єдину наскрізну ставку, що охоплює всі види транспорту, включені до логістичного ланцюга.

4. Інтеграція та координація: перевезення вимагає інтеграції та координації роботи різних перевізників та видів транспорту для забезпечення безперебійності та ефективності доставки.

5. Моніторинг та контроль: наявність системи моніторингу та контролю за рухом вантажу протягом всього логістичного ланцюга.

Термін «*мультимодальні перевезення*» - якщо розглядати його у порівнянні з «комбінованими» та «інтермодальними» перевезеннями - відображає процес транспортування вантажів з точки зору його організаційно-технічного та правового забезпечення. Такий процес не залежить від конкретних операцій, які здійснюються з вантажем чи транспортним засобом [68].

У мультимодальних перевезеннях один перевізник відповідає за організацію та координацію всього процесу доставки, використовуючи різні види транспорту. Це відрізняється від комбінованих перевезень, де різні види транспорту використовуються послідовно, а не одночасно під керівництвом одного перевізника. Інтермодальні перевезення, з іншого боку, передбачають послідовне використання різних видів транспорту без необхідності перевантаження вантажу, проте вони фокусуються на технологічних аспектах перевезення, а не на правовому та організаційно-технічному забезпеченні, як у випадку з мультимодальними перевезеннями.

Важливо відзначити, що головною відмінністю мультимодальних перевезень є наявність оператора, який несе відповідальність за весь шлях

доставки та ризики, пов'язані з перевезенням, незалежно від того, скільки видів транспорту задіяно [68].

Отже, враховуючи взаємовиключення належності комбінованих перевезень, деяких невизначеностей щодо трактування інтермодальних та мультимодальних перевезень, в роботі були зроблені наступні висновки. На думку автора, ІТС слід розуміти як над-систему, що включає в себе інтермодальні, мультимодальні та комбіновані перевезення, кожен з яких відрізняється одне від одного специфічною технологією виконання доставки вантажів (рис.1.2.3).

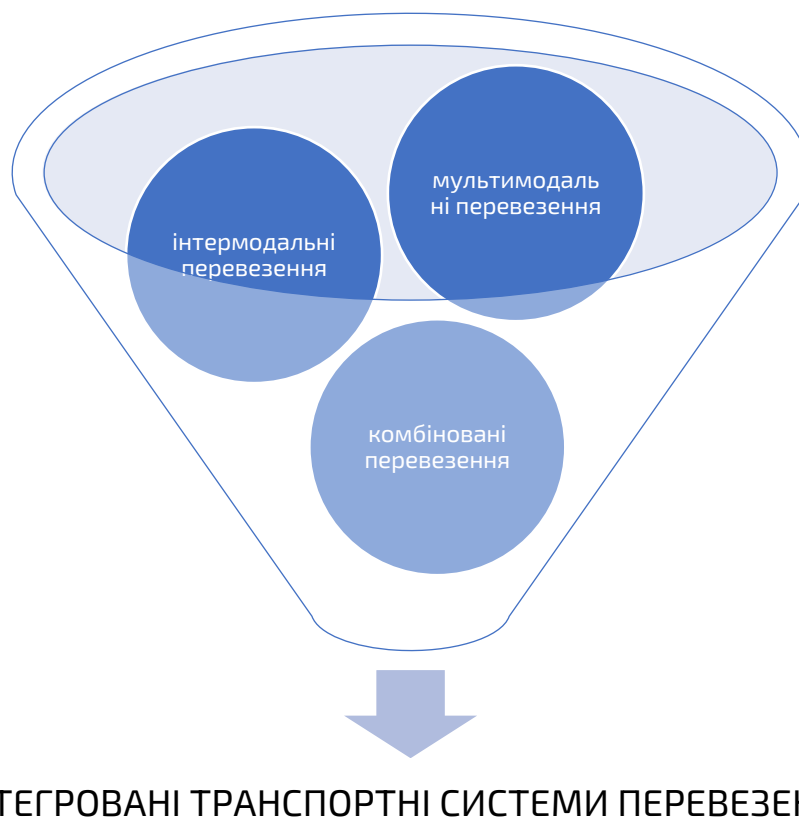


Рис. 1.2.3. Над-система «інтегровані транспортні системи перевезення»

Джерело: сформовано автором на основі [68]

Транспортний процес у інтегрованих транспортних системах передбачає кілька послідовних етапів, включаючи доставку та перевантаження вантажу з

одного виду транспорту на інший, з метою їх включення до загальної системи транспортування.

Для оптимального розвитку та ефективної роботи інтегрованої системи перевезення слід враховувати кілька принципів, серед яких ключовими є наступні [68]:

1. Створення єдиної комерційно-правової основи, що забезпечує уніфіковані правила та умови для всіх учасників системи;

2. Урахування комплексності фінансово-економічних аспектів функціонування системи, зокрема розрахунок витрат та прибутків у всіх сегментах перевезень;

3. Забезпечення інформаційної підтримки всіх ланок перевізного процесу для швидкого та точного обміну даними між учасниками;

4. Організація та технологічна співпраця, а також координація та узгодження дій всіх етапів перевезення, мають на меті уникнення затримок та конфліктів;

5. Співпраця всіх учасників мультимодальної системи перевезення для спільного досягнення поставлених цілей;

6. Комплексний розвиток інфраструктури різних видів транспорту з метою їх ефективного використання та інтеграції у загальну систему.

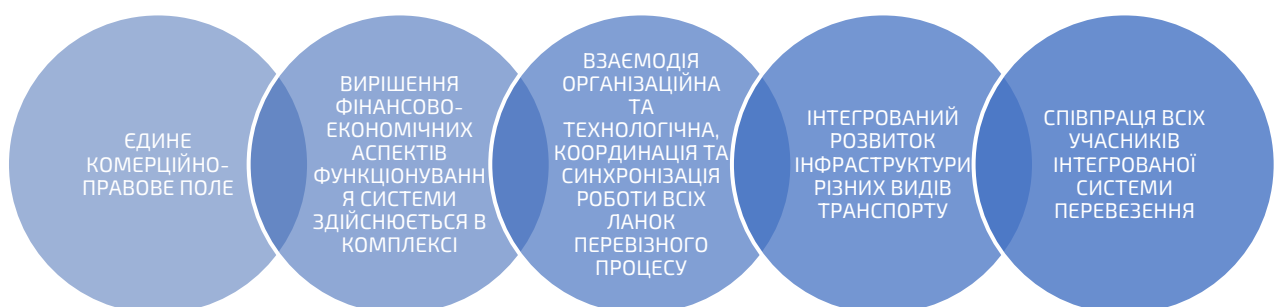


Рис. 1.2.4. Загальні принципи функціонування інтегрованої системи перевезення вантажів

Джерело: сформовано автором на основі [68]

Інтегровані системи перевезення вантажів варто розглядати як складні системи, що передбачають комплексний розвиток всіх галузей транспорту, об'єктів термінально-складської, митної та фінансової інфраструктури із використання інформаційно-телекомунікаційних технологій підтримки руху потоку вантажів від вантажовідправника до вантажоотримувача на взаємовигідних умовах під керівництвом єдиного транспортного оператора.

1.3. Дослідження міжнародної та української нормативно-правової бази щодо визначення та забезпечення безпеки в інтегрованих транспортних системах

Протягом останнього десятиліття спостерігається зростання ризиків природних, техногенних та соціальних небезпек, які призводять до аварій або катастроф, що наносять значні збитки здоров'ю людей, їх майну та довкіллю. Сфера транспорту не є винятком у цьому випадку. Загалом, ризики в транспортній галузі включають в себе:

- високий рівень аварійності на дорогах та серйозні наслідки ДТП;
- посилення негативного впливу транспорту на екологічну ситуацію;
- погіршення безпеки праці на транспортних засобах та об'єктах транспортної інфраструктури;
- аварії, пов'язані з транспортними засобами та об'єктами транспортної інфраструктури;
- знос транспортних засобів та об'єктів транспортної інфраструктури, погіршення якості підготовки персоналу та зміни клімату.

Забезпечення транспортної безпеки для України має важливе значення, особливо через великі розміри території та геополітичне положення країни, а також політичні та соціально-економічні стратегії, спрямовані на зміцнення суверенітету.

Однак зростаючі показники аварійності, травматизму, збитків та зносу технічних засобів ускладнюють завдання забезпечення сталого розвитку української транспортної галузі та комплексної безпеки [12].

Незважаючи на велику кількість людських жертв у транспортних пригодах та значні матеріальні збитки, важливо розуміти значення транспортної безпеки.

Основним нормативно-правовим актом у сфері транспорту є Закон України "Про транспорт" [71], що визначає правові, економічні та соціальні засади транспортної діяльності. Крім того, діяльність транспорту регулюють також закони України, зокрема «Про дорожній рух» [69], «Про залізничний транспорт» [70], «Про автомобільний транспорт» [72], «Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період» [73] і та інші.

Фактично, законодавство України не містить визначення поняття «транспортна безпека», хоча використання цієї концепції у правових актах, які регулюють транспортну сферу, є стандартним. Питання транспортної безпеки розглядаються в транспортних кодексах, статутах, правилах перевезення та інших правових актах, що стосуються транспортного законодавства.

Наприклад, стаття 16 Закону України "Про транспорт" [71] встановлює, що підприємства транспорту зобов'язані забезпечувати безпеку для життя та здоров'я громадян, а також охорону навколишнього середовища та безпечну експлуатацію транспортних засобів.

У Кодексі торговельного мореплавства [75], перша глава четвертого розділу присвячена питанням безпеки морських систем перевезень та інфраструктури. Згідно зі статтею 74, адміністрація морських портів України відповідає за організацію та забезпечення безпеки на морському транспорті.

Користувачі морських терміналів, судновласники та інші суб'єкти господарювання, що функціонують на території та в акваторії морського порту, повинні забезпечувати безпеку мореплавства відповідно до обов'язкових норм, встановлених для порту.

Відповідно до одинадцятої статті ЗУ "Про залізничний транспорт" [70], підприємства залізничного транспорту загального користування мають

забезпечувати безпеку життя і здоров'я громадян, що користуються їх послугами, а також безпеку переміщення потягів та охорону навколишнього середовища.

Згідно з шостою статтею ЗУ "Про трубопровідний транспорт", одним з основних принципів політики держави у галузі трубопровідного транспорту, враховуючи його ключове значення для економіки України, є забезпечення його безпечної діяльності [76].

У Повітряному Кодексі України [74], третій розділ відводить увагу основним механізмам управління безпекою в авіаційній галузі. Окрім того, на відміну від нормативно-правової бази інших видів транспорту, зазначає чіткі визначення понятійного апарату безпеки в авіації (табл. 1.3.1).

Таблиця 1.3.1. Зведена таблиця понятійного апарату щодо визначення безпеки на авіаційному транспорті за Повітряним Кодексом України

Поняття	Визначення
безпека авіації	стан галузі цивільної авіації, за якого ризик завдання збитків людям чи майну знижується до прийняттого рівня у результаті безперервного процесу визначення рівня небезпеки і керування ним та утримується на такому рівні, або знижується далі, у сферах безпеки польотів, авіаційної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, економічної безпеки та інформаційної безпеки
безпека польотів	стан, за якого ризик шкоди чи ушкодження обмежений до прийняттого рівня
авіаційна безпека	захист цивільної авіації від актів незаконного втручання, який забезпечується комплексом заходів із залученням людських і матеріальних ресурсів

Джерело: сформовано автором на основі [74]

Отже, транспортна безпека в українському законодавстві про транспорт не визначається явно, але вона виробляється через принципи державної політики та обов'язки суб'єктів, що забезпечують функціонування транспортної системи.

Схематично систему реалізації забезпечення транспортної безпеки на національному рівні представлено на рис. 1.3.1, а потенційне державне регулювання у сфері транспортної безпеки – на рис. 1.3.2.

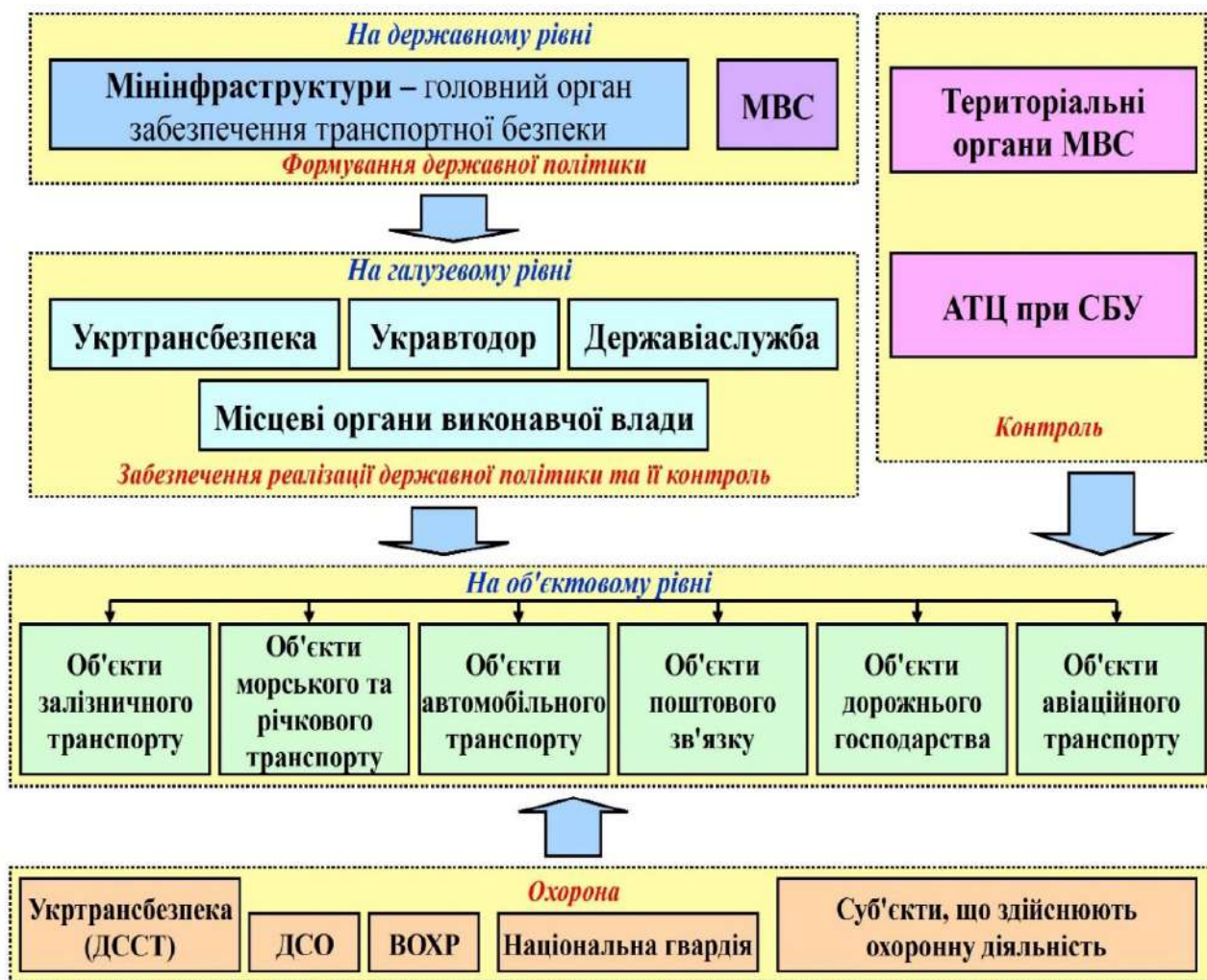


Рис. 1.3.1. Розроблена система реалізації забезпечення транспортної безпеки
Джерело: сформовано автором

Безпека перевезень залежить від міжнародного характеру транспортної галузі. Міжнародне співробітництво є ключовим для забезпечення безпеки та розвитку глобально визнаних стандартів.

Європейський союз активно залучений до зміцнення безпеки транспорту на міжнародному рівні, зокрема через співпрацю з такими організаціями, як: Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO), Міжнародна морська організація (IMO), Міжнародний союз автомобільного транспорту (IRU), Міжнародний союз залізниць (UIC) і т.д.

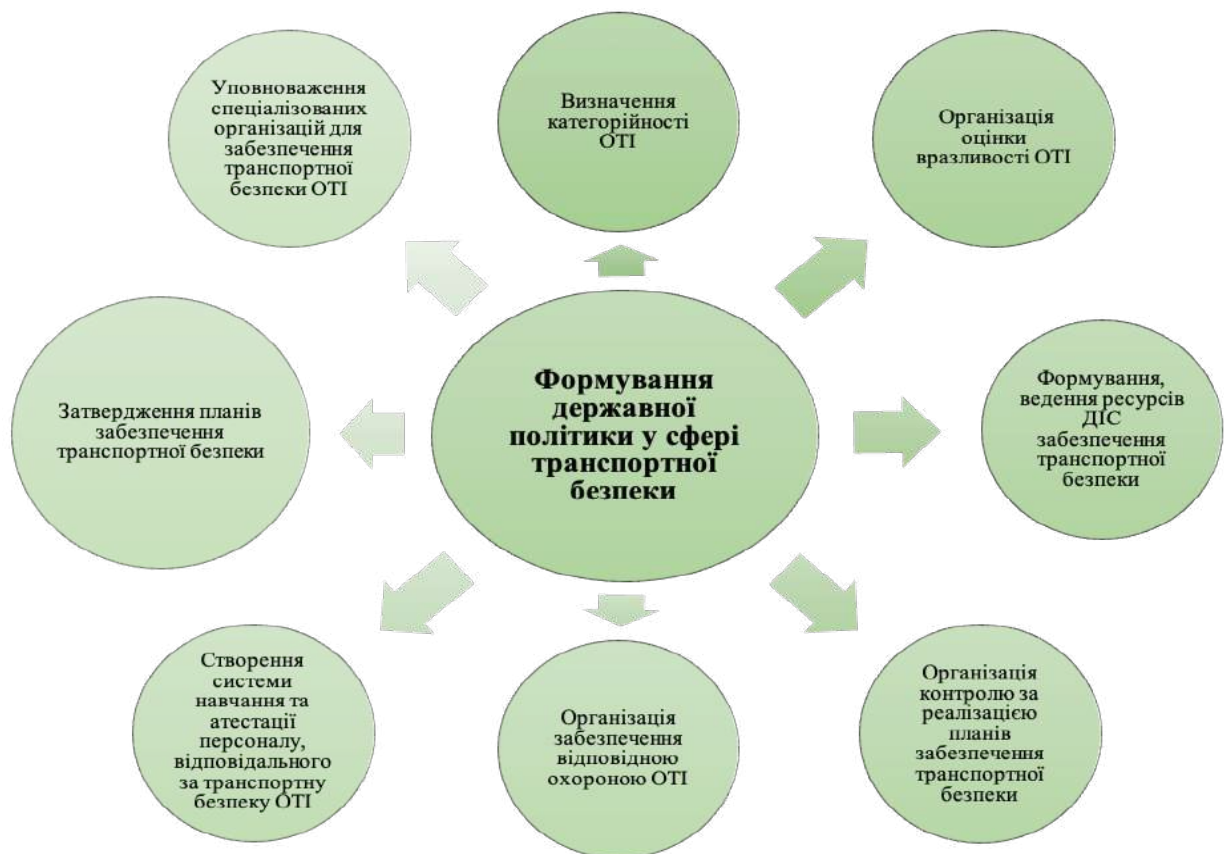


Рис. 1.3.2. Потенційна політика держави у сфері забезпечення транспортної безпеки

Джерело: сформовано автором

З 2002 року Європейська комісія встановила загальні правила цивільної авіації, які були направлені на захист від актів незаконного втручання у цивільну авіацію. Важливим є Регламент Комісії (ЄС) 2016/2096 від 30 листопада 2016 року [77], яким вносяться зміни до Регламенту (ЄС) № 1254/2009 [78] щодо певних критеріїв, що дозволяють країнам-членам відхилятися від загальних базових стандартів з питань безпеки цивільної авіації та приймати альтернативні заходи безпеки.

У зв'язку з ситуацією, що склалася через пандемію, ЄС вживає заходів для розробки спільних правових актів, які, з одного боку, спрямовані на боротьбу з нею, а з іншого — на підтримку учасників транспортного процесу. Таким чином, у цьому контексті варто згадати Регламент Комісії (ЄС) 2020/910 від 30 червня 2020 року [79], яким вносяться зміни до Виконавчих регламентів (ЄС) 2015/1998

[80], (ЄС) 2019/103 і (ЄС) 2019/1583 [81] щодо перепрофілювання авіаліній, операторів і суб'єктів, які здійснюють контроль за безпекою вантажів та пошти, що надходять з третіх країн, а також про відкладення деяких вимог законодавства в галузі кібербезпеки, перевірки фону, стандартів обладнання для виявлення вибухових речовин.

В основі відмінностей алгоритмів забезпечення безпеки об'єктів транспорту в країнах ЄС лежить використання методології управління ризиками як основи для аналізу загроз, класифікації об'єктів та впровадження заходів фізичного та інженерного захисту [81]. Україна, натомість, використовує переважно експертні оцінки, що супроводжуються складним адмініструванням, і мало уваги приділяє заходам інженерного захисту, спрямованим на підвищення живучості об'єктів транспортної інфраструктури.

Згідно з Директивою ЄС 2008/114 [82], значення показників захищеності об'єктів транспорту оцінюються на основі відповідних критеріїв, що враховуються для об'єктів енергетики (електроенергія, нафта, газ) і транспорту, залежно від типу інфраструктурного об'єкта. Вибір об'єктів критичної інфраструктури був проведений кожною країною-учасницею з 2008 року і завершився в 2011 році.

Кожна країна самостійно визначала кількість та оцінювала «критичність» об'єктів європейської критичної інфраструктури (ЄКІ) залежно від різних факторів. Був встановлений чотирикроковий алгоритм дій держав для ідентифікації ЄКІ, а також набір обов'язкових відомостей для їх опису:

- власні критерії для оцінки важливості об'єктів інфраструктури у різних секторах транспорту;
- методику оцінки та встановлювала «потенціал критичності» об'єкта згідно обраних критеріїв;
- для інфраструктури, що має важливе значення, враховувалася наявність альтернатив та тривалість вибуття з експлуатації;

- застосовувала два перших кроки до окремих елементів (частин) потенційних об'єктів ЄКІ та встановлювала ступінь їх критичності, наявність альтернатив та тривалість вибуття з експлуатації;

- критерії сектору розповсюджувалися на інші потенційні об'єкти ЄКІ, при цьому враховувалася серйозність наслідків, а для особливо важливих об'єктів - наявність альтернатив та тривалість вибуття з експлуатації.

Наступним кроком був аналіз та оцінка ризиків вибраних об'єктів ЄКІ, на основі яких для кожного з них має бути розроблений план забезпечення безпеки. У даному випадку основним критерієм є проведення кількісної оцінки ризику виникнення небезпек під час різних сценаріїв надзвичайних ситуацій, що включають вибухи, дорожньо-транспортні пригоди та аварії. Цей показник розраховується як добуток імовірності виникнення події на розмір можливої шкоди для здоров'я, навколишнього середовища та майна. Моделюється характер руйнувань (втрати життя), і на основі аналізу "витрати - користь" розроблюють заходи інженерного захисту для зниження ризику на об'єктах ЄКІ (тунелі, мости) до прийняттого рівня. Кожна держава встановлює рівень прийняттого ризику самостійно. Наразі ця робота не завершена, і законодавчо не визначені тимчасові рамки для її виконання. У Німеччині проводиться розробка методів оцінки важливості об'єктів критичної інфраструктури та впровадження методології управління ризиками для об'єктів транспортної інфраструктури через різноманітні проекти:

- SKRIBT (забезпечення безпеки критичної інфраструктури);
- AISIS (автоматизовані системи для захисту критичної інфраструктури);
- RETISS (захист об'єктів інфраструктури у режимі реального часу реальному часу);
- SeRoN (захист елементів системи транспорту).

Аналіз сучасних наукових публікацій, що визначають питання транспортної безпеки подано у табл. 1.3.2.

Таблиця 1.3.2. Зведена таблиця визначення транспортної безпеки за сучасними науковими публікаціями

Автор	Визначення
Матвєєва А.В. [84]	стан розвитку транспортної системи держави, за якого забезпечується баланс інтересів держави, суспільства та окремих громадян, а також захист їхніх інтересів у випадку виникнення внутрішніх і зовнішніх загроз
Аверічев І.В. [85]	захищеність особистості, суспільства, держави та їх інтересів у транспортній сфері життєдіяльності від внутрішніх і зовнішніх загроз
Клепікова О.В. [86]	сукупність заходів правового, організаційного, соціального, економічного та науково-технічного характеру, спрямованих на захищеність життєво-важливих інтересів людини і громадянина, суб'єктів господарювання, суспільства і держави, а також забезпечення розвитку транспортної системи, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізацію реальних та потенційних загроз національним інтересам у сфері транспорту
Бесчастний В., Собкарь А. [87]	складова національної безпеки, яка полягає в запобіганні аваріям та інцидентам на транспорті
Сукмановська Л.М. [88]	соціально-правове явище, яке повинно розглядатися у єдності функціонального й інституційного підходів як відповідна сукупність механізмів попередження і ефективного реагування на загрози особистості, суспільства, держави, завдяки чому досягається певний стан захищеності соціальних відносин, забезпечується незалежність від негативних впливів детермінант, стимулюється економічний й політичний, культурний розвиток суспільства, визначається як стан захищеності об'єктів транспортної інфраструктури та транспортних засобів від актів незаконного втручання
Фердман Г.П. [89]	це стан захищеності транспортної системи держави від реальних та потенційних загроз, який забезпечує захищеність національних інтересів економіки, стійке функціонування та розвиток транспортної галузі в сучасних умовах та на перспективу.
Zhao P., Zeng L. [90]	захист життя людей та майна шляхом регулювання, управління та технологічного розвитку всіх видів транспорту.

Джерело: сформовано автором на основі [74]

Виходячи з вищенаведеного, автор пропонує розуміти *транспортну безпеку* як стан транспортної системи, за якого ймовірність завдання збитків людям, які

здіянні в транспортному процесі, об'єктам інфраструктури та транспортним засобам знижені до прийняттого рівня у результаті безперервного процесу визначення та керування рівнем внутрішніх та зовнішніх загроз.

Таким чином, поняття «транспортна безпека» в контексті інтегрованої транспортної системи охоплює не лише один, а декілька галузей безпеки на транспорті: безпека авіації, безпека залізничного транспорту, безпека морського і річкового транспорту, безпека автомобільного транспорту, безпека автомобільного транспорту (рис. 1.3.3).

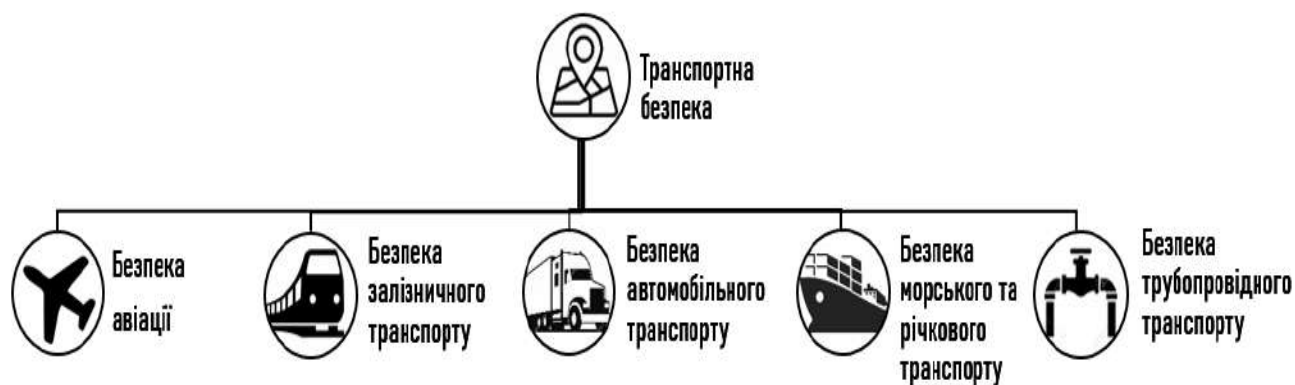


Рис. 1.3.3. Схема співвідношення галузей транспортної безпеки безпеки в інтегрованих транспортних системах

Джерело: сформовано автором

Тоді забезпечення транспортної безпеки передбачає впровадження системи правових, економічних, організаційних та інших заходів у сфері транспортного комплексу, спрямованих на уникнення травматичних наслідків для здоров'я та життя людей, запобігання збиткам майну та навколишньому середовищу, а також мінімізацію економічних втрат у транспортній діяльності.

На рис. 1.3.2 подано перелік інфраструктурних об'єктів та транспортних процесів, які підлягають забезпеченню безпеки в інтегрованих транспортних системах.



Рис. 1.3.4. Перелік інфраструктурних об'єктів та транспортних процесів, які підлягають забезпеченню безпеки в інтегрованих транспортних системах

Джерело: сформовано автором

Все вищевказане свідчить про те, що правильне трактування транспортної безпеки є надзвичайно важливим завданням. Воно забезпечує чітке розуміння цілей і завдань, дозволяє ефективно планувати і реалізовувати заходи, створює правову визначеність, що закріплюється в законодавстві, забезпечує

уніфікований підхід на національному та міжнародному рівнях, допомагає уникати помилок та неузгодженостей, підвищує довіру громадськості до транспорту і дозволяє швидше адаптуватися до нових викликів.

1.4. Сучасні та потенційні наукові підходи до оцінки та забезпечення безпеки на транспорті

У процесі технічного прогресу стає все складніше забезпечувати високий рівень транспортної безпеки через постійне появлення нових факторів, що впливають на це питання. При розв'язанні таких проблем важливо мати чітку відповідь на три ключові питання:

- що ми хочемо оцінити?
- які фактори впливають на це явище?
- як ми будемо оцінювати зв'язок між даним явищем і факторами впливу?

Враховуючи те, що наука починається з вимірювань, не випадково, що міжнародне співтовариство протягом останніх 10-15 років активно розширює та модернізує методи та засоби, необхідні для кількісного оцінювання транспортної безпеки. Зазвичай для оцінки рівня безпеки будь-якого об'єкту використовується комплексна модель, що включає наступне:

- поверхня атаки, що визначається набором "векторів", за якими потенційний порушник може здійснити атаку.
- ризики, які визначаються математичним очікуванням (ймовірністю) реалізації атаки по кожному вектору та можливих збитків від такої атаки.
- моделі порушника, що допомагають у розумінні мотивів та способів діяльності потенційних злочинців.

Більшість проблем, що виникають у сфері даної області, можна вважати завданнями оптимізації в тій чи іншій мірі. Критерії оптимізації мають широкий спектр, але в контексті транспортної галузі, особливу увагу приділяють категоріям, пов'язаним з "людським фактором", які є визначальними. Тут мова йде про оптимізаційні завдання в ергатичних системах.

Методи та процедури розв'язання таких завдань суттєво відрізняються від класичного підходу, що передбачає в основному математичне моделювання. Це через те, що формалізація цієї області ускладнена через високу складність математичного апарату, що використовується. Тут потрібно застосовувати неформальні методи, такі як евристичні та кваліметричні підходи, в поєднанні з теорією прийняття рішень і системною технікою [15].

Евристичні методи - це система принципів і правил, які визначають найбільш ймовірні стратегії і тактики діяльності у вирішенні проблемних ситуацій, що стимулюють інтуїтивне мислення та прийняття рішень. Евристика може бути розглянута як засіб вирішення проблем у ситуаціях невизначеності, що зазвичай використовується у протиставленні формальним методам, що ґрунтуються на точних математичних алгоритмах. До таких методів належать: методи багатовимірних матриць, вільних асоціацій, інверсії та емпатії. Евристичний алгоритм (евристика) - це алгоритм рішення задачі, який не має строгого теоретичного обґрунтування, але в більшості практичних випадків забезпечує прийнятне рішення. Це метод, чия правильність не доведена для всіх можливих сценаріїв, але відомо, що він зазвичай дає задовільні результати.

Ще одним підходом до оцінювання транспортної безпеки є методика, описана у дослідженнях Русак Д. М., Резнікової Н. В., Іващенко О. А. [44], Pan S., Yan H., He J., He Z. [91], Mattsson L., Jenelius E. [92]. За визначеними авторами концепціями, одним з ключових показників стану захищеності об'єкта від перспективи транспортної безпеки є його "вразливість". Цей термін визначає рівень захищеності об'єктів транспортної інфраструктури і оцінюється з урахуванням відповідності характеристик захисту встановленим стандартам.

Слід зазначити, що підхід до оцінювання авіаційної безпеки аеропорту через оцінку фактору «вразливості» також поданий у роботах Gu Y., Ryu S., Xu Y., Chen A, Chan H., Xu X.[93]. У даній концепції ключову роль відіграє поняття «якість». У зв'язку з транспортною сферою, якість можна розглядати як рівень захищеності об'єкта від незаконного втручання в його функціонування. Таким чином, якість засобів захисту інфраструктурного об'єкту визначає його ступінь

захищеності від потенційної загрози актів незаконного втручання. Оцінка рівня якості служить індикатором вразливості, що відповідає прийнятому визначенню. Отже, якість як показник вразливості повинна бути врахована у процесі оцінки вразливості об'єкта. Це перший крок у вирішенні завдання оцінки вразливості. При цьому оцінку вразливості впливають ще два важливі фактори: можливість потенційних збитків у разі реалізації актів незаконного втручання та ймовірність їхнього виникнення у конкретному критичному елементі.

Для розв'язання цих проблем пропонується використовувати поняття "ризик" як ще один критерій оцінки вразливості. Проте для оцінки вразливості аеропорту метод оцінки ризику не має вирішального значення. Тут важливо вирішити проблему використання ризику як критерію оцінки вразливості, що означає включення кількісних оцінок ризику в загальну оцінку вразливості аеропорту, використовуючи кваліметричні методи.

Важливо відзначити, що якість і вразливість - не синоніми. Хоча існує пряма залежність між якістю захисту об'єкта і його вразливістю, недостатня якість захисту призводить до збільшення вразливості.

Однак при використанні кількісних оцінок якості (вразливості) можна говорити про їхню ідентичність тільки у випадку, коли поняття ризику враховано в структурі поняття якості. Тільки у такому випадку можна визначити вразливість об'єкту через оцінку якості його захисту актів від незаконного втручання.

Варто звернути увагу на ще один метод оцінки рівня транспортної безпеки, який розглянуто у [15], і базується на аналізі ризиків виникнення актів незаконного втручання в авіаційній галузі. Автори Смуров М.Ю., Куклев Є.О., Євдокимов В.Г. та Гіпіч Г.М. вважають, що термін "транспортна безпека" слід розглядати через призму "безпеки польотів", тобто за допомогою поняття ризику виникнення певної негативної події (такої як терористичний акт, відмова системи, катастрофа), згідно з рекомендаціями міжнародних стандартів. Так, науковці пропонують прийняти ключовим терміном трактування на основі концепції ризику за ІКАО, згідно з якою:

•ризик - це об'єктивна характеристика або міра кількості небезпеки в прогнозованому стані, за умови, що ще не здійснена небезпечна подія може випадково статися і призвести до шкоди або втрат.

•величина ризику –цілісне значення ризику, що враховує як частоту виникнення подій, так і величину збитків, виміряне експертно за допомогою «матриці аналізу ризиків».

На думку автора вартий уваги ще один потенційний підхід оцінки безпеки на транспорті на основі взаємодії «хижак-жертва», який описаний у [94].

Автори - Євсєєв, С. П., Погасій, С. С., Мілевський, С. В., Мілов, О. В., Меленті, Є. О., Грод, І. М., Берестов, Д. С., Федоренко, Р. М., Курченко, О. А. - відзначають важливий аспект еволюції хижаків та жертв. Розвиток жертв відповідає розвитку хижаків, оскільки відставання жертв у розвитку може призвести до загрози їхнього виживання.

Так само, як у відносинах між хижаками та жертвами, еволюція порушників (розробка нових методів, засобів та способів незаконного втручання) автоматично приводить до еволюції систем безпеки (розробка нових заходів, методів і засобів протидії порушникам).

З цього принципу в даному дослідженні взято за основу математичну модель, яка базується на взаємодії між складовими системи "захисник - порушник". Ця модель ґрунтується на концепції конкуренції "хижак - жертва", і її параметри визначаються кількісними характеристиками якості обох систем.Класичною моделлю конкуренції є модель, яку запропонували Лотка А.Д. та Вольтерра В. у 1925 і 1926 роках відповідно [95].

Ця модель має безліч модифікацій і широке застосування, включаючи опис багатьох конкуруючих процесів, також у сфері боротьби зі злочинністю. Класична модель конкуренції Лотки-Вольтерра в логарифмічному вигляді описується наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{\partial N_1}{\partial t} = aN_1 - bN_1N_2 \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} = -cN_2 + dN_2N_1 \end{cases} \quad (1.4.1)$$

де N_1 – кількість жертв; N_2 – кількість хижаків; a – коефіцієнти народжуваності жертви; b - коефіцієнт «хижацтва», який показує вплив хижака на жертву, c - смертність хижака, d - вплив жертви на хижака.

Система рівнянь ґрунтується на таких ідеалізованих припущеннях:

- відсутність хижаків призводить до експоненціального розмноження жертв;
- відсутність жертв призводить до експоненціального вимирання хижаків.
- елементи, які залежать від множення кількості жертв на кількість хижаків, розглядаються як результат зіткнення хижака з жертвою і призводять до зменшення темпу зростання чисельності жертв, що пропорційно кількості хижаків.

Варто зазначити ще одну сучасну модель для оптимізації забезпечення авіаційної безпеки, сформованою у [96] Валько А.М. Розроблена математична модель «безпека – якість» відображає рух пасажирського потоку через аеропортові процедури і дозволяє визначити оптимальний розподіл ресурсів аеропорту для проведення перевірок як у звичайних, так і в умовах загроз.

У табл. 1.4.1. автором подано зведена інформація для деяких інших концепцій до моделювання оцінки транспортної безпеки.

Таблиця 1.4.1. Концепції до моделювання оцінки транспортної безпеки

Автори	Основна концепція
Таран І., Олжабаєва Р., Оліскевич М., Данчук В. [97]	робота присвячена координації окремих етапів мультимодальних процесів доставки, враховуючи їх дискретний характер; автори дослідження мають на меті створення оптимальних маршрутів багатомодальної доставки вантажів на основі вибору критеріїв, який враховує ризики під час транспортування вантажу.

<p>Torres-Rubira J., Escrig-Tena A., López-Navarro M. [98]</p>	<p>у роботі пропонується система оцінки безпеки та якості для сталого розвитку (SQAS), яка вимірює рівень стійкості, включаючи вимоги безпеки для логістичних компаній.</p>
<p>Duurland E., Ransijn G., Verhoeven M., van Duyne R. [99]</p>	<p>продемонстровано сценарний метод ідентифікації небезпеки в системах залізничного транспорту; автор роботи пов'язує оцінку безпеки безпосередньо з продуктами інженерних робіт систем.</p>
<p>Sitarz M., Chruzik K., Mańka I. [100]</p>	<p>у роботі розкриваються інструменти, розроблені для оцінки безпеки вантажоперевезень залізницею; також подано аналіз показників безпеки дорожнього руху та викидів шкідливих речовин.</p>
<p>Bojar P., Woropay M., Szubartowski M. [101]</p>	<p>проаналізовано типи та характеристики транспортного середовища для оцінки безпеки; автор виявив джерела ризику, оцінив фактори ризику та запропонував заходи контролю для забезпечення безпеки.</p>
<p>Форнальчик Є., Афонін М., Постранський Т. Бойків М. [102]</p>	<p>визначена оцінка ризику, що враховує функціональний стан водія та психофізіологічні показники; автор пропонує кількісні методи для порівняння ризиків при транспортуванні небезпечних вантажів.</p>
<p>Savage I. [103]</p>	<p>розглянуто рівень шкоди та ризику, пов'язані з безпекою транспорту, включаючи смертельні випадки та аварії на різних видах транспорту.</p>
<p>Okoro C., Musonda I., Agumba J. [104]</p>	<p>у роботі перевірена чотири-факторна структура стійкості проєктів транспортної інфраструктури.</p>
<p>Gangi M. D., Luongo A. [105]</p>	<p>у роботі пропонується інтегрована основа для оцінки стійкості транспортної інфраструктури на основі даних наземного та повітряного транспорту.</p>
<p>Vatenmacher M., Svoray T., Tsesarsky M., Isaac S. [106]</p>	<p>авторами подано кількісну оцінку ризику, що включає моделі оцінки вразливості транспортної інфраструктури; також було проведена ідентифікація режимів відмови інфраструктури, схильної до екстремальних явищ.</p>
<p>Krystek R., Sitarz M., Gucma S. [107]</p>	<p>автори проводять дослідження безпеки на інтегрованих транспортних системах на прикладі Польщі.</p>
<p>Zhao Y.-T., Wang Y.- D., Li Y.-F [108]</p>	<p>автори пропонують систему управління безпекою транспортних засобів для великогабаритних дорожніх транспортних засобів; використовується інтелектуальна система збору, аналізу та управління даними про ризики настання надзвичайних ситуацій.</p>

Shedden S. [109]	автор вивчає безпеку залізничного транспорту, яка має вирішальне значення для оцінки, ефективності та якості обслуговування; при цьому у роботі розглянуті основні підходи до оцінки ризиків настання надзвичайних подій.
Achillopoulou D. V. [110]	автором запропоновано новий підхід, який визначає критичні компоненти в ланцюгах постачань для виявлення вразливостей систем забезпечення безпеки.
Eidsvig U. [111]	автор оцінює безпеку транспорту на основі критерію «безпеки людини»; виділені фактори включають робочі, зовнішні та антропо-технічні аспекти.
Zhao P., Zeng L. [90]	автори розглядають особливості безпеки дорожнього транспорту: ДТП, летальні випадки, травми; при цьому автор визначає граничні значення, що задають рівень безпеки для транспортних систем.

Джерело: сформовано автором з [90], [97-111]

Автором встановлено, що більшість сучасних моделей оцінки безпеки у транспортних систем ґрунтуються на теорії ризику.

Поняття "ризик" використовується в багатьох соціальних, технічних та природничих науках. Кожна з них має свій предмет, спрямованість у дослідженнях ризику і свої методи. Це дозволяє виокремити психологічний, соціальний, економічний, правовий, медико-біологічний та інші аспекти ризику. Ефективність же системи управління ризиком залежить від повного та адекватного врахування всіх його аспектів. Психологічні дослідження показують, що люди, як правило, переоцінюють ризик подій, про які більше говориться в засобах масової інформації (ЗМІ) [14]. Водночас відсутність інформації призводить до недооцінки можливих як позитивних, так і негативних наслідків ризикованих рішень.

Сприйняття ризику залежить від методів подачі інформації. Наприклад, сухі статистичні дані про рівень злочинності призводять до його недооцінки, тоді як опис у ЗМІ конкретних випадків злочинів спричиняє надмірну переоцінку

ситуації. Відстрочка можливих результатів рішень також впливає на сприйняття ризику. Наприклад, недооцінюється ризик захворювань, викликаних палінням.

Ризик присутній у всіх сферах людської діяльності та на всіх стадіях функціонування і розвитку об'єктів, їхньої взаємодії як із зовнішнім середовищем, так і між собою. Транспортна галузь також підпадає під ці ризики.

Щоправда, на сьогодні немає однозначного розуміння сутності ризику, що зумовлено його багатоаспектністю. Ризик є складним явищем, яке має безліч різноманітних, іноді навіть протилежних, реальних основ. Це спричиняє існування великої кількості визначень поняття «ризик» з різних поглядів. Найчастіше ризик визначають як поєднання ймовірності збитків і їхньої серйозності. Проте, через різноманітність аспектів ризику, досі немає єдиної думки щодо його визначення. Зведена інформація щодо визначення ризику подано автором у табл. 1.4.2.

Таблиця 1.4.2. Основні визначення концепції ризику на транспорті

Автори	Визначення
Горобець В., Козаченко Д., Вернигора Р. [43]	ймовірність небезпеки, поганих наслідків, втрат, тощо.
Дорош А. [49]	можливість втрат, пошкодження, шкоди або руйнування.
Тарашевський М. [50]	ймовірність людських жертв і матеріальних збитків або травм і пошкоджень.
Russo F., Vitetta A. [56]	подія або група споріднених випадкових подій, які завдають шкоди об'єкту, якому належить цей ризик.
Янчук М. [14]	результат невизначеності завдань, що охоплює події, які можуть статися або не статися, причому ця невизначеність спричинена непевністю чи браком інформації.
Ткаченко І. [120]	двовимірна величина (рис. 1.4.1), що складається з можливості події та обсягу збитків, спричинених подією.

Джерело: сформовано автором за [14], [43], [49], [50], [56], [120]

Очевидно, ризик тісно пов'язаний з ймовірністю та невизначеністю. Для більш повної характеристики ризику необхідно враховувати поняття ситуації

ризик — сукупності різних обставин і умов, що сприяють його виникненню. Важливо зазначити, що невизначеність є необхідною умовою для виникнення ризику. Таким чином, автор дисертаційного дослідження у роботі використовує визначення транспортного ризику як ймовірнісну величину настання надзвичайної події.

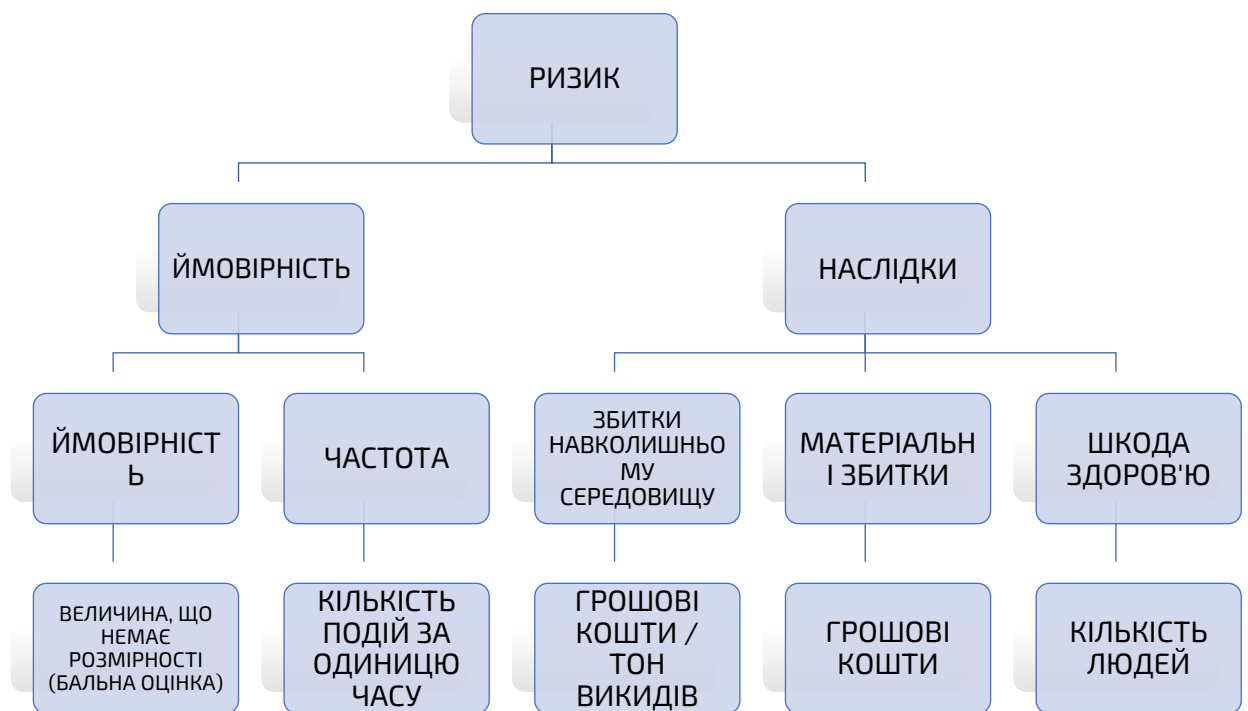


Рис. 1.4.1. Компоненти ризику як двовимірної величини, що складається з можливості події та обсягу збитків, спричинених подією.

Джерело: [120].

В інтегрованих транспортних системах ризик пов'язаний із основною діяльністю (рис. 1.4.2) – перевезенням вантажів, а також із виконанням вантажних робіт, зберіганням вантажів, технічним обслуговуванням і ремонтом транспортних засобів, постачанням експлуатаційних матеріалів та іншими процесами.

Ризик виникнення небажаних подій під час перевезень значною мірою залежить від технічного стану транспортних засобів. Виробничий ризик також включає можливість форс-мажорних обставин, коли транспортному засобу або людям у ньому загрожує небезпека, транспортний засіб пошкоджений чи зруйнований, або здійснив вимушену зупинку (посадку) без досягнення пункту призначення (поза автотранспортним терміналом).

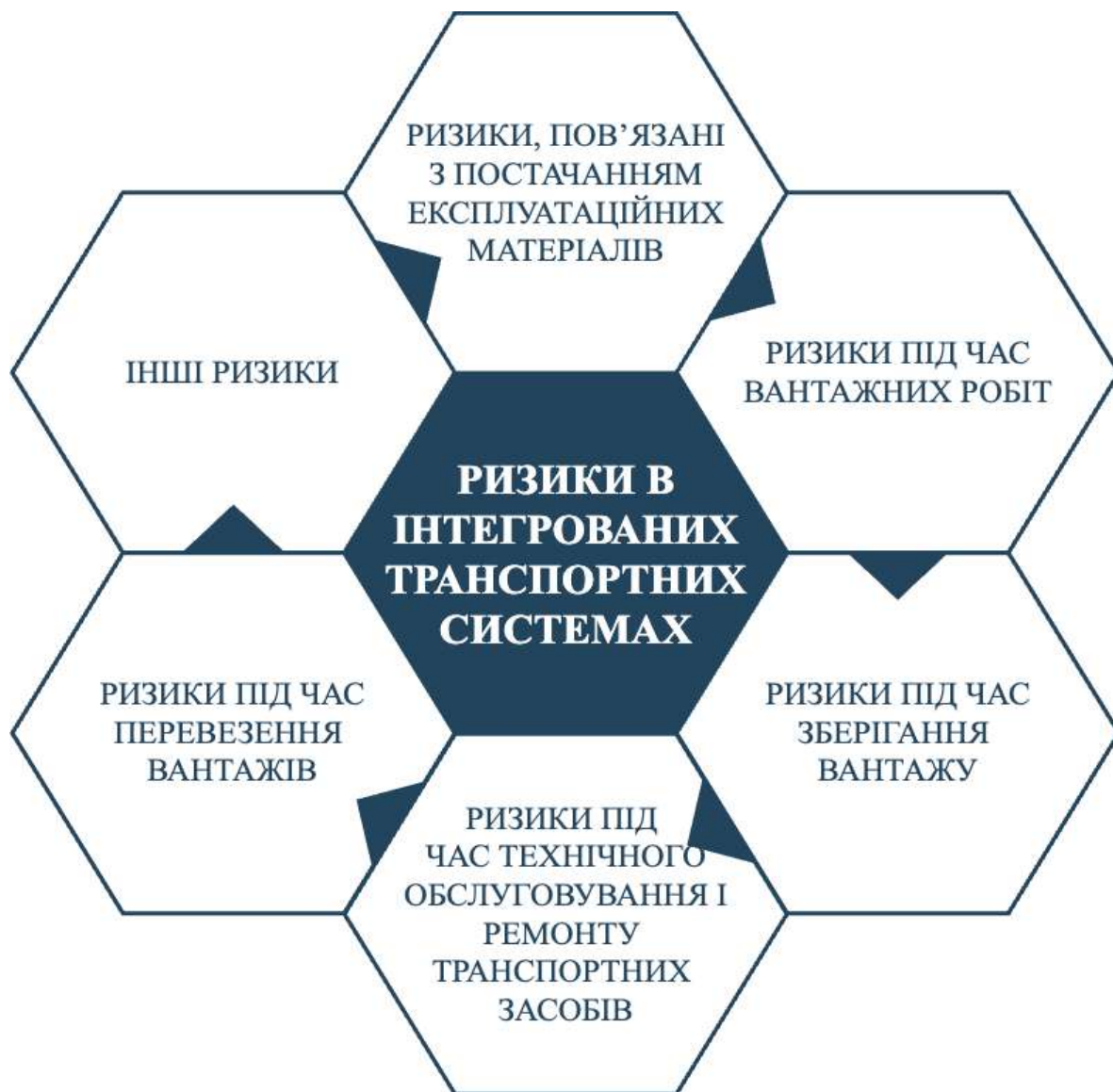


Рис. 1.4.2. Компоненти ризику в інтегрованих транспортних системах.

Джерело: складено автором.

На рис. 1.4.3 зображено процедури ідентифікації та аналізу транспортного ризику з точки зору його управління.

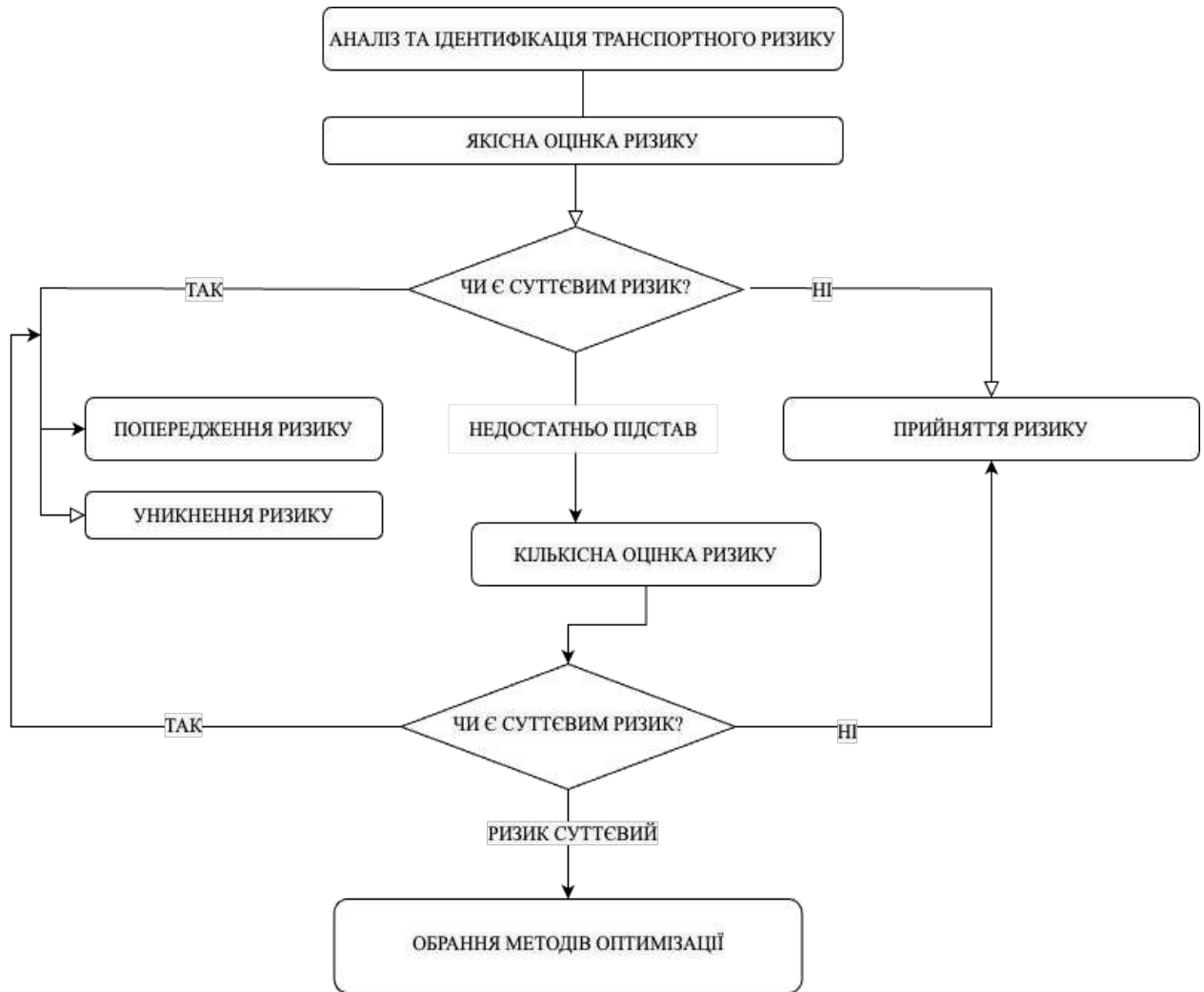


Рис. 1.4.3. Блок-схема процесу управління ризиками під час перевізного процесу в інтегрованих транспортних системах.

Джерело: складено автором.

Проведений в дисертаційній роботі аналіз аварійності встановив, що основними причинами аварій зазвичай є відмови технічних засобів, несприятливі погодні умови, форс-мажорні обставини, помилки операторів тощо. Таким чином, з усього спектру ризикових подій, характерних для перевезень в інтегрованих транспортних системах, було виділено три групи ризиків:

- ризики аварій та катастроф, що спричинили втрату транспортних засобів і вантажу;
- ризики аварій та катастроф, що спричинили смерть людей;

- ризики втрати або руйнування транспортного засобу та вантажу;
- ризики виходу з ладу технічних засобів, що забезпечують перевезення та безпеку вантажам.

При аналізі ризиків враховують причинно-наслідкові зв'язки аварій, що дозволяє на підставі статистичних даних або експертної оцінки розрахувати ймовірність аварій на маршруті перевезення.

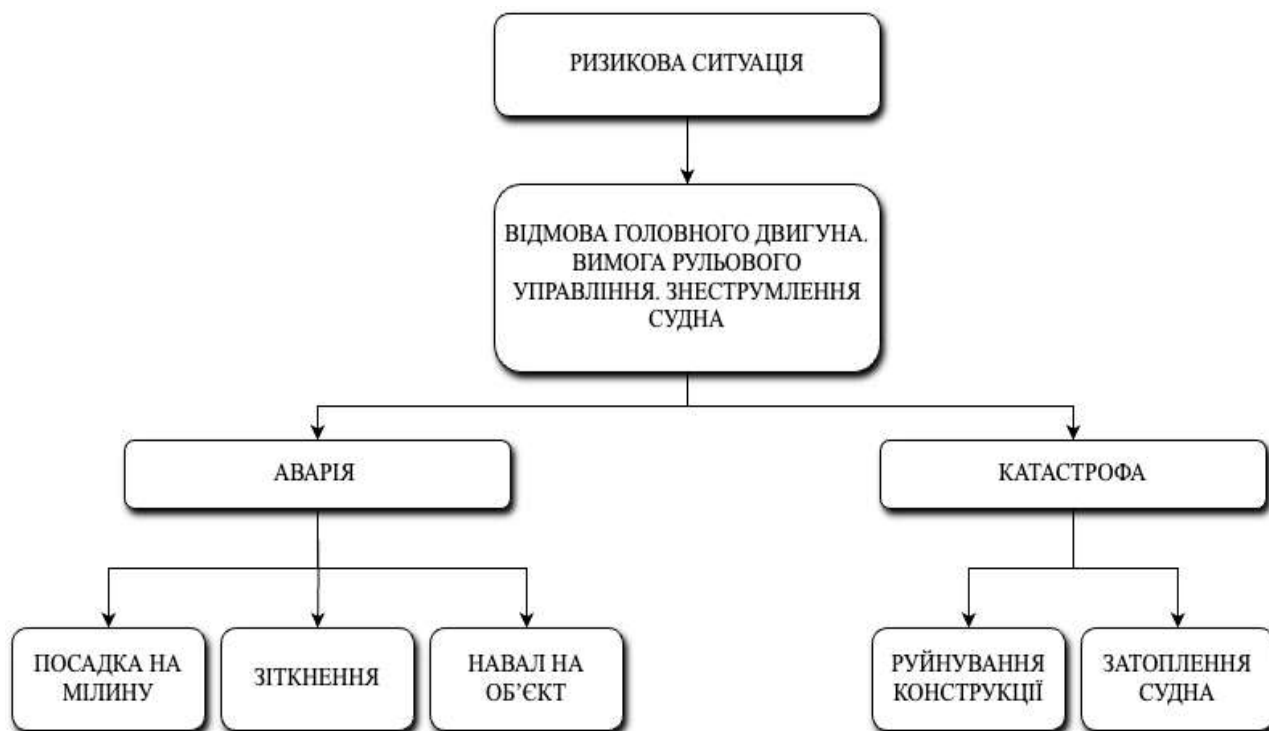


Рис. 1.4.4. Гіпотетична схема розвитку настання ризикової ситуації на прикладі морського транспорту.

Джерело: складено автором на базі [56].

Класичним прикладом градації значущості факторів, що впливають на настання ризикової події під час перевізного процесу є Матриця Хеддона (рис. 1.4.5). У ній виділяються три фази ризикової події (в даному конкретному випадку – дорожньо-транспортної пригоди на автомобільного транспорті) та три групи факторів: індивідуальні риси учасника руху, характеристики транспортного засобу та особливості оточуючого середовища.



Рис. 1.4.5. Матриця Хеддона на прикладі перевізного процесу при використанні автомобільного транспорту.

Джерело: [121].

Моделі порушника безпеки в інтегрованих транспортних системах

Порушників транспортної безпеки можна розбити три такі групи (рис. 1.4.6): «інсайдери» (наприклад, колишні працівники, які шукають помсту або співробітники, які вчиняють порушення в рамках своїх обов'язків); «випадкові» порушники (наприклад, грабіжники); терористи.



Рис. 1.4.6. Три групи порушників транспортної безпеки.

Джерело: сформовано автором на основі [9].

Тут необхідно відзначити, що остання група, хоч і має найменшу кількість інцидентів, є найбільш небезпечною. Однак термін «тероризм» має дуже вузьке поле тлумачення, тому сьогодні серед науковців, які вивчають контртерористичну діяльність, часто використовується термін "насильницький екстремізм", який включає в себе «тероризм» [112].

Насильницький екстремізм (VE) - це явище, коли недержавні суб'єкти, окремі особи або організації вчиняють насильство або сприяють йому з метою

досягнення соціальної або політичної мети, або поширюють ідеї, які раціоналізують, виправдовують і підтримують мобілізацію цього насильства [113].

Це визначення, хоч і менш конкретне, але дуже схоже на визначення тероризму: «...загроза або фактичне застосування незаконної сили та насильства недержавним суб'єктом з метою досягнення політичної, економічної, релігійної чи соціальної мети шляхом виклику страху, примусу або ультиматумів» [114].

Різниця між насильницьким екстремізмом і тероризмом полягає також у включенні ідеологічно мотивованих злочинів у насильницький екстремізм. Наприклад, якщо медична клініка, яка проводить аборти, стає об'єктом нападу з метою залякування, це може бути класифіковано як і тероризм, і насильницький екстремізм. У цьому випадку насильство вчинено з метою просування соціальної мети через створення страху та залякування. У випадку нападу на безхатнього афроамериканця з боку супримаціста під час алкогольного сп'яніння може бути класифіковано як насильницький екстремізм та злочин на ґрунті ненависті. Однак це не обов'язково буде вважатися тероризмом, оскільки немає вказівок на те, що цей напад мав на меті залякати або викликати страх серед ширшої групи афроамериканців.

Насильницький екстремізм і тероризм мають глибокі зв'язки, але термін «тероризм» зазвичай використовується для опису більш конкретних видів ідеологічно мотивованих злочинів, в той час як «насильницький екстремізм» є загальнішим поняттям.

Сьогодні відомі 4 моделі насильницької радикалізації (рис. 1.4.7) [9]:

1. *Моделі соціальної ідентичності*. Автори моделей – Yates J., Yates M., Yates E., Kane S. - стверджують, що включення особи до певних екстремістських груп впливає на її сприйняття світу, мислення і самовизначення [115]. Такі ідентичності мають важливе значення, оскільки роблять соціальний світ більш зрозумілим для людини і визначають її місце в ньому, що може призвести до розмиття відповідальності за власні дії.

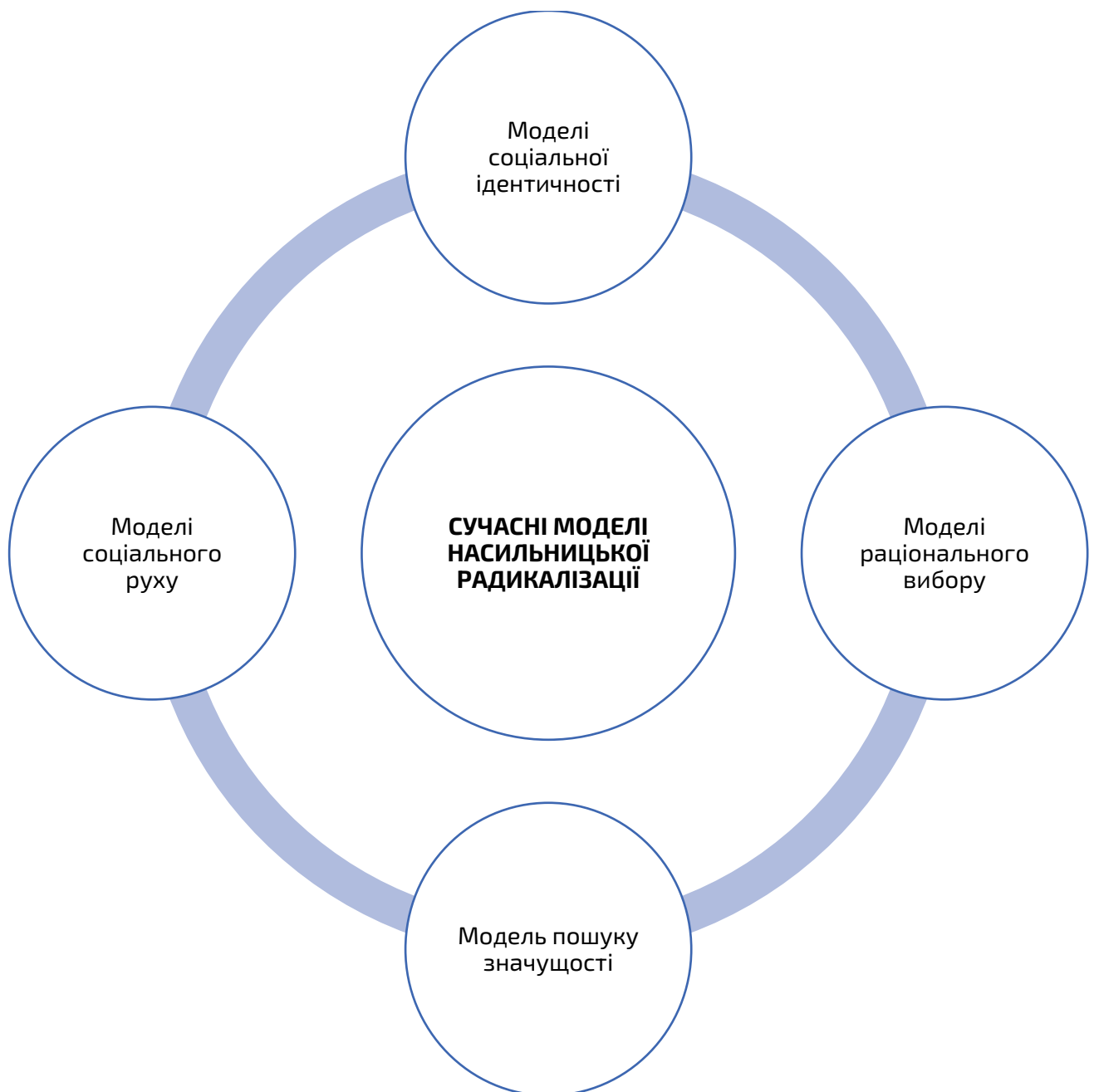


Рис. 1.4.7. Моделі насильницької радикалізації.

Джерело: сформовано автором на основі [115-118].

2. *Модель пошуку значущості.* Авторки моделі – Szumowska E., Czernatowicz-Kukuczka A., Kossowska M., Król S., Kruglanski A. - стверджують, що екстремісти мотивовані базовим бажанням мати "значення", бути «кимось» [116]. Ці прагнення до значимості можуть виявлятися у трьох формах: відновлення значимості після її втрати, зростання значимості і запобігання можливій втраті у майбутньому.

3. *Моделі соціального руху*. Автор роботи - Wiktorowicz Q. - провів дослідження ісламської радикалізації та встановив зв'язок між теорією соціального руху та радикалізацією [117]. Також робота розрізняє кілька етапів: когнітивне відкриття, релігійне прагнення, вирівнювання та індоктринація. Вирівнювання вказує на співвідношення між сприйняттям реальності та інтерпретацією її радикальною організацією.

4. *Моделі раціонального вибору* ґрунтуються на припущенні, що соціально-демографічні характеристики та процеси прийняття рішень не відрізняють екстремістів від неекстремістів [118]. З цієї перспективи, індивідуальна радикалізація розглядається як результат раціонального процесу прийняття рішень. Автором - Karagiannis E – зазначено, що у цьому процесі перед вжиттям заходів оцінюються відповідні стратегії, і якщо вигоди від екстремістської діяльності переважають витрати, то особа схильна до радикалізації.

При розробці комплексної моделі загроз безпеки інтегрованої транспортної системи, важливо розглядати термін «насильницький екстремізм» як більш детальний і комплексний, ніж «тероризм», для пояснення більших явищ та подій. Аналіз поверхні атак на насильницький екстремізм може бути проведений за допомогою оцінки криміногенності зовнішнього середовища, в якому розташований об'єкт інфраструктури.

Важливо уникати фундаментальної помилки атрибуції, яка полягає в твердженні, що об'єкти транспортної інфраструктури з вищими показниками потоків та низькими показниками безпеки є «безпечнішими» за об'єкти з нижчим рівнем безпеки, навіть при вищих показниках виконаних операцій. Тому в комплексну модель рекомендується включати такі показники, як пасажирські чи вантажні перевезення.

Ці індикатори також можна використовувати для оцінки «привабливості» інфраструктурного об'єкту для нападу.

Також залишаються недостатньо вивченими економічні аспекти, зокрема витрати на відповідні служби та їх вплив на рівень безпеки.

Модель SHELL для системного виявлення помилкових рішень і небезпек в транспортних системах

Розглянемо найбільш загальну модель виявлення погроз і небезпек у транспортній системі, зокрема модель SHELL, яку запропонувала Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) для системного розуміння проблем, пов'язаних з людським фактором (рис. 1.4.8):

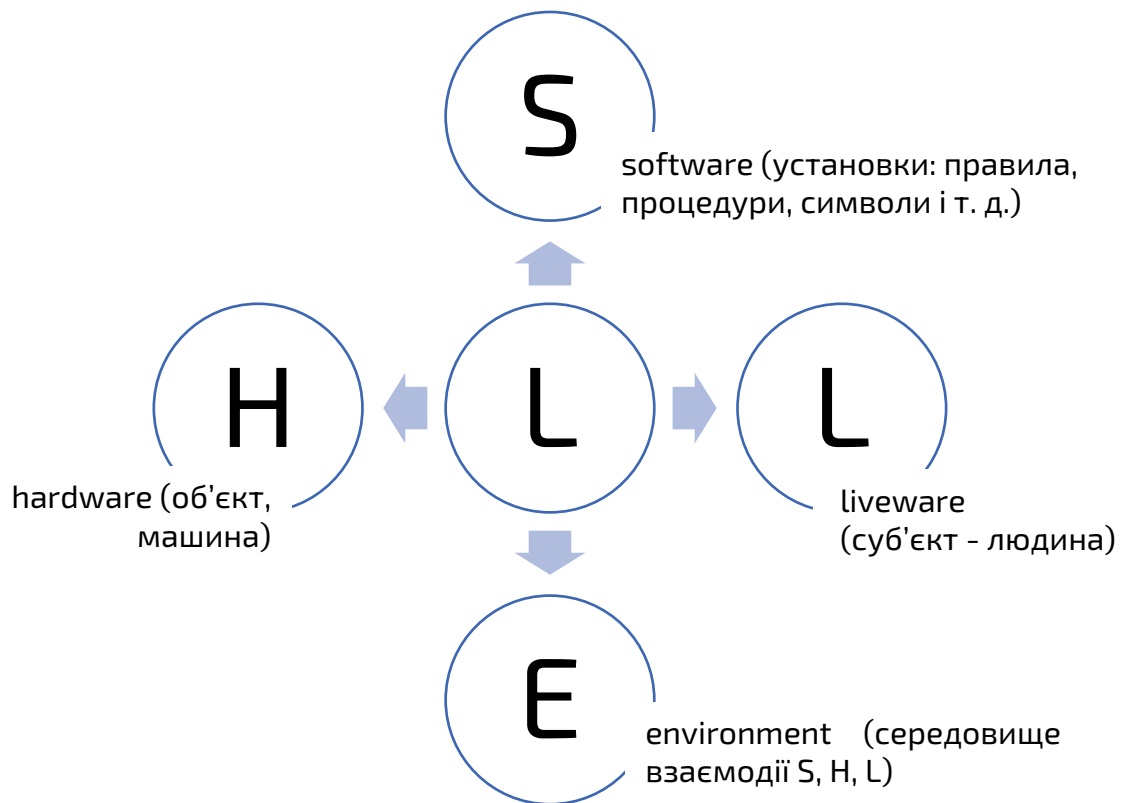


Рис. 1.4.8. Модель SHELL для системного виявлення помилкових рішень і небезпек в транспортних системах.

Джерело: [119].

Кожен компонент, який представлений у моделі SHELL зазвичай розглядається як один з фундаментальних принципів дослідження людського чинника. Ця модель може бути побудована шляхом послідовного додавання по одному блоку, що дозволяє наочно уявити необхідність взаємодії елементів людського чинника.

Зокрема, у моделі SHELL основний компонент - «людина» - є найбільш значущим і гнучким. Вона має як позитивні риси, так і недоліки, які в більшості випадків не можуть бути передбачені наперед. Тому відбір, формування моралі та контроль над льотними екіпажами забезпечують найбільший внесок у безпеку польотів.

Блок (інтерфейс) "суб'єкт" (L) є ключовим у моделі. Він відрізняється тим, що професійна діяльність авіаційного персоналу визначається фізичними, фізіологічними і психологічними факторами. Незважаючи на велику кількість наукових досліджень у цьому напрямку, ці аспекти потребують постійного моніторингу та подальшого вдосконалення.

Взаємодія між людьми в робочому середовищі розглядається через *інтерфейс "суб'єкт - суб'єкт" (L-L)*.

Взаємодія між блоками *"суб'єкт - машина" (L-H)* відображає процеси взаємодії між членами екіпажу та бортовим персоналом, що стосуються дія.

Взаємодія між блоками *"суб'єкт - процедури, (правила, установки)" (L-S)* відображає нефізичні аспекти, такі як структура повітряного простору, правила польотів і технології роботи, процедури дій тощо. Їх вплив може бути менш очевидним, тому складнішим для вирішення. Аналізуючи ці складові, можна зазначити, що вони всі, в певній мірі, зосереджуються на людському чиннику.

Математичні моделі ризиків виникнення надзвичайних ситуацій

Результати аналізу сучасних математичних моделей ризику був виконаний та апробований автором роботи у [15]. Нижче подано результати.

Ризикова подія (R) розглядається як математична категорія з характеристиками випадковості і збитків. Оцінка ризику (R), як кількість загроз у системі з ризиковою подією (R), які є прогрозованими, спочатку визначається за допомогою різноманітних показників, а потім представляється у формі інтегральних величин, наприклад, у вигляді балів або індикаторів за допомогою матриць аналізу ризиків [122].

Таблиця 1.4.3. Матриця ризиків актів незаконного втручання у авіакомпанії «Boeing»

Степінь небезпеки прояву АНВ	Категорії небезпеки об'єктів транспорту (збиток)		
	Висока	Середня	Низька
Висока	1	2	3
Середня	4	5	6
Низька	7	8	9

Джерело: [15]

Таблиця 1.4.4. Матриця ризиків виникнення АНВ у авіакомпанії «Міжнародні авіалінії України»

Можливість здійснення акту незаконного втручання	Загрози	Захищеність				
		А клас	В клас	С клас	Д клас	Е клас
1 клас		1А	1В	1С	1Д	1Е
2 клас		2А	2В	2С	2Д	2Е
3 клас		3А	3В	3С	3Д	3Е
4 клас		4А	4В	4С	4Д	4Е
5 клас		5А	5В	5С	5Д	5Е

Джерело: [15]

Характеристика, яка демонструє сутність ризику виходить з розділення простору Ω -результатів на події ω_0, ω_1 :

Математична характеристика, що відображає фізичну сутність ризику, впливає з поняття розбиття простору Ω -результатів на події ω_0 та ω_1 :

$$\Omega = \omega_0 \cup \omega_1 \cup \emptyset \quad (1.4.2)$$

$$\omega_0 = A \quad (1.4.3)$$

$$\omega_1 = \bar{A} \equiv R \quad (1.4.4)$$

де ω_0 – множина безпечних подій; \bar{A} – протилежні до ω_0 події, тобто небезпечна, наприклад ризикова R така, що $\equiv R_{\Sigma j} = \cup R_j$ – клас подій у групі $R_{\Sigma j}$, складеної з подій R_j .

Формули (1.4.2) – (1.4.4) обґрунтовують практичне застосування матриць ризиків за методикою ІСАО [123]. Тобто, матриця визначає значення випадковості (та збитків) події як результату $\bar{A} \equiv R = R_{\Sigma j}$ без детальної побудови генеральної сукупності подій. Враховуючи рідкість подій ω_1 , у формулах (1.4.3) – (1.4.4) для оцінки випадковості такої події потрібно провести експертний аналіз, наприклад, спробувати передбачити її значення без наявності повної кількості подій. У цьому випадку матриця залишається одною, а результати оцінки ризиків можуть відрізнятись.

В якості демонстрації, розглянемо матриці ризиків авіакомпаній «Boeing» і «МАУ» (табл. 1.4.3 і табл. 1.4.4). Запропоновано визначати індикатор ризику без використання ймовірності у вигляді:

$$\hat{R} = f(K, U); K = 1, \dots, 5; U = A, \dots, E. \quad (1.4.5)$$

Однак, інтегральний ризик R не збігається з найпростішим поняттям середнього ризику, оскільки ймовірність ризикової події є «майже нульовою».

Перший наслідок. Ризик R формально визначається через дво- або тривимірну сукупність показників у вигляді:

$$R = \{ \mu_1, H_R | \sum o \} \quad (1.4.6)$$

або

$$R = \{ \mu_1, \mu_2, \tilde{H}_R | \sum o \} \quad (1.4.7)$$

де μ_1 - прогнозована ступінь ризику першого типу у формі індикатора непередбачуваності або невизначеності виникнення ризикової події, яку можна експертно оцінити (рідко, часто і т. д.) без вказівки на ймовірнісну категорію; \tilde{H}_R - міра наслідків або збитку; μ_2 - міра ризику другого роду в системі через системні помилки; Σo - умови, пов'язані з досвідом або ситуаціями під час експлуатації системи (рівень небезпеки або модель системи), включають в себе сценарії подій під час аварій або катастроф, які можуть виникнути.

Знак та умови для Σo у формулах (1.4.6) - (1.4.7) необхідно обов'язково враховувати, особливо під час аналізу подій з можливими проявами ознак тероризму, оскільки вони містять припущення щодо моделей загроз і вражаючих факторів.

Другий наслідок. У ситуаціях з майже нульовою ймовірністю результатів у небезпеці рекомендується оцінювати ризик відповідно до величини можливих збитків за відносними або умовними показниками, так як це використовується, наприклад, у страхуванні або оцінці наслідків землетрусів. У відповідності до міжнародних стандартів, безпека системи при наявності загрози оцінюється за допомогою поняття ризику, яке визначає стан системи з відповідним прийнятним (допустимим) рівнем оцінки ризику (\tilde{R}_*) при можливій ризиковій події R , тобто за умовою $\tilde{R} \leq \tilde{R}_*$. На основі інтегрального (узагальненого) показника \hat{R} з критичним значенням \hat{R}_* по формулам (1.4.6) та (1.4.7), умова безпеки буде:

$$\tilde{R} \rightarrow \tilde{R}_* \Rightarrow \hat{R}_* = \{\tilde{R}_{*j}\} \quad (1.4.8)$$

$$\hat{R}_* = f_R(\tilde{R}_* | \Sigma o) \equiv f_R(\mu_{1*}, \mu_{2*}, \tilde{H}_* | \Sigma o) \quad (1.4.9)$$

де f_R - функціонал від множини елементів (1.4.8), який може представляти собою значення у балах або індикаторах.

Інтегральне значення \hat{R} (рівень) оцінки ризику в формулі (1.4.9) також може бути знайдено шляхом призначення переваг $\tilde{R} \rightarrow \hat{R}(\tilde{R})$ для об'єктів: злітно-посадкових смуг, терміналів, технічних служб та сховищ пального тощо.

Математичні моделі інтегральної безпеки системи забезпечення безпеки у транспортних вузлах

Результати аналізу математичної моделі інтегральної безпеки був виконаний та апробований автором роботи у [15]. Нижче подано результати.

У сфері транспорту використовуються різні галузі безпеки, які відрізняються за концептуальним підходом, функціональною спрямованістю, предметною областю застосування, методиками та засобами дослідження. Ці галузі включають безпеку автомобільного транспорту, авіаційну безпеку, безпеку залізничного транспорту та безпеку морського транспорту. Кожна з цих галузей прямо пов'язана з безпекою особистості. Однак парадокс полягає в тому, що досягнення прийнятного рівня безпеки в одній галузі, наприклад, в автомобільному транспорті, не гарантує належного рівня безпеки особистості в інших галузях, таких як авіація.

Це твердження стосується будь-якого типу безпеки і підкреслює актуальність концепції "єдиної і неподільної безпеки". Інтегральна безпека транспорту визначається як стан транспортної системи, яка забезпечує прийнятний рівень безпеки особистості у виконанні різноманітних транспортних послуг та робіт [15]. Продовження розвитку цієї концепції та її вдосконалення передбачає вирішення декількох ключових питань.

1. Поняття «інтегральна безпека» базується на комплексі об'єктів транспортної інфраструктури, загроз і суб'єктів, що їх втілюють, а також засобах, методах і формах забезпечення безпеки. Це створює проблему ідентифікації через різні стани середовища. Автори рекомендують розглядати безпеку особистості як певне поле безпеки, де існують гіпотетичні поля загроз і захисту, а їх взаємодія формує інтегральну безпеку.

2. Для оцінки рівня безпеки і визначення його прийнятності в контексті інтегральної безпеки необхідно розробити методологію оціночних процедур. Це вимагає вирішення проблем формалізації та моделювання (рис. 1.4.9).

3. З методів, запропонованих теорією поля, автори концепції - Duurland E., Ransijn G., Verhoeven M., van Duynе R. [99] - вважають найбільш адекватним метод, що ґрунтується на теорії крайових задач, що описуються системою диференціальних рівнянь в часткових похідних.

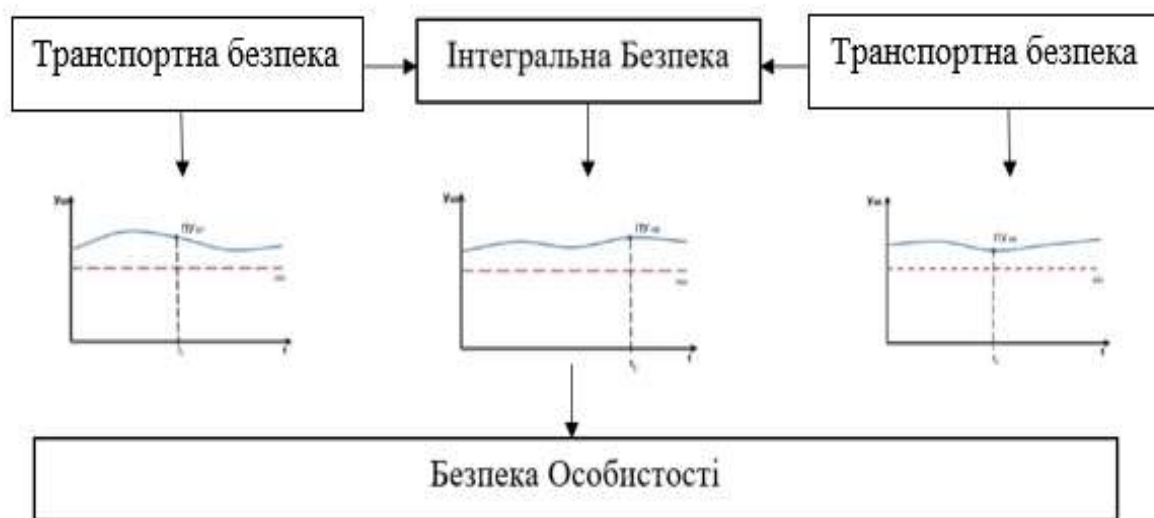


Рис. 1.4.9. Схема взаємодії сфер інтегрованої транспортної безпеки.

Джерело: [15].

Умова крайової задачі для лінійного диференціального рівняння n -го порядку має вигляд:

$$L(y) = f(x); U_{\mu}(y) = \gamma_{\mu}; \mu = 1, 2, \dots, m \quad (1.4.9)$$

$$(y) = \sum_{v=0}^n f(x)y^v, \quad (1.4.10)$$

$$U_{\mu}(y) = \sum_{k=0}^{n-1} [\alpha_{\mu}^k y^k(a) + \beta_{\mu}^k y^k(b)] \quad (1.4.11)$$

де $L(y)$ – диференціальний оператор, що діє в певній області. Q_∞ ; $U_\mu(y)$ – крайові умови, виражені у вигляді лінійних форм.; $f(x)$ – рандомна функція C^2 , яка є неперервною на $a \leq x \leq b$; γ_μ – матриця заданих чисел; α_μ та β_μ – коефіцієнти значень матриці; m – ранг матриці.

1. Для рівняння гіперболічного типу потрібно вирішити змішану (крайову) задачу, що полягає у визначенні $u(x, t) \in C^2(Q_T) \cap C^1(\bar{Q}_T)$, яка задовольняє:

$$\frac{du}{dt} = \operatorname{div}(p \operatorname{grad}(u)) - qu + F(x, t), (x, t) \in Q_T \quad (1.4.12)$$

де $u(x, t)$ – рівняння, яке описує відхилення від положення рівноваги у певний момент часу t ; ρ та q – відомі коефіцієнти функцій невідомих змінних; $F(x, t)$ – величина, що входить до рівняння і відображає інтенсивність зовнішнього збурення; div – дивергентність (оператор); grad – градієнт (оператор); Q_T – область задання рівняння з \bar{G}_0, \bar{G}_T та бічними поверхнями $\bar{S}_{[0, T]}$ (рис 1.4.4).

$$\operatorname{div}(p \operatorname{grad}(u)) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(p \frac{\partial u}{\partial x_i} \right) \quad (1.4.13)$$

Отже:

$$\rho \frac{du}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(p \frac{\partial u}{\partial x_i} \right) - qu + F(x, t), (x, t) \in Q_T \quad (1.4.14)$$

2) Нижня умова:

$$u_{t=0} = u_0(x), \frac{\partial u}{\partial t_{t=0}} = u_1(x), x \in \bar{G} \quad (1.4.15)$$

3) Гранична умова умові:

$$\alpha u + \beta \frac{\partial u}{\partial n} |S = 0 \quad (1.4.16)$$

2. Для рівняння параболічного типу потрібно вирішити змішану (крайову) задачу, що полягає у визначенні $u(x, t) \in C^2(Q_\infty) \cap C^1(\bar{Q}_\infty)$, $grad_x u \in C(\bar{Q}_T)$, що задовольняє:

$$\frac{du}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(p \frac{\partial u}{\partial x_i} \right) - qu + F(x, t), (x, t) \in Q_T \quad (1.4.17)$$

1) Нижня умова:

$$u_{t=0} = u_0(x), x \in \bar{G} \quad (1.4.18)$$

2) Гранична умова:

$$u_0 + \beta \frac{du}{dn} = v(x, t), (x, t) \in S \cdot [0, T] \quad (1.4.19)$$

3. Відомі такі крайові задачі для рівнянь еліптичного типу:

1) Рівняння (тривимірне) Лапласа $\Delta_u = 0$, в якій область $G \in R^3$ така, що $G_1 \in R^3/G$.

2) Зовнішня задача Діріхле: знайти в області G_1 гармонійну функцію $u \in C(\bar{G}_1)$, що приймає на S задані (безперервні) значення u_0^+ та перетворюється в нуль на нескінченності;

3) Внутрішня задача Неймана: знайти в області G гармонійну функцію $u \in C(\bar{G})$, що має на S задану правильну нормальну похідну u_1^- ;

- 4) Внутрішня задача Діріхле: знайти в області G гармонійну функцію $u \in C(\bar{G})$, що приймає на кордоні S задані (безперервні) значення u_0^- ;
- 5) нормальну похідну u_1^+ та перетворюється в нуль на нескінченності.
- 6) Аналогічні крайові задачі ставляться для рівняння Пуассона [15]:
 $\Delta u = -f$.
- 7) Зовнішня задача Неймана, яка полягає в тому, аби знайти гармонійну в G_1 функції $u \in C(\bar{G}_1)$, що має на S задану правильну.

Таким чином, математичний апарат теорії крайових задач включає повний набір математичних моделей, які дозволяють формально представляти різні фізичні процеси, зокрема в теорії поля.

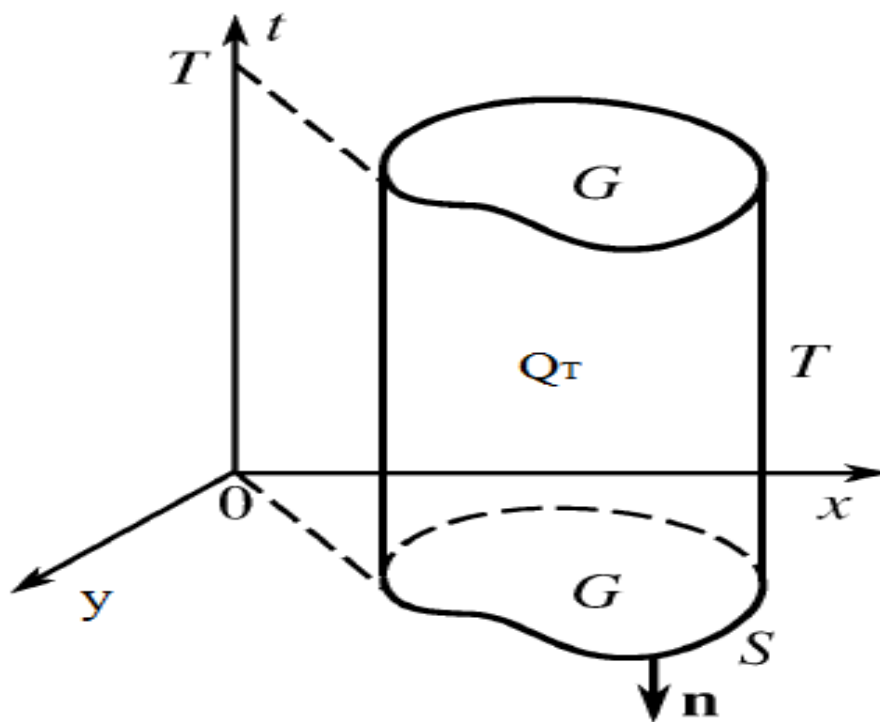


Рис. 1.4.10. Область заданої умови крайової задачі для оцінки інтегральної безпеки

Джерело: [15]

У більшості випадків аналітичні методи розв'язання крайових задач мають обмежене застосування. У таких випадках використовуються чисельні методи.

На сучасному етапі найбільш ефективним методом розв'язання крайових задач вважається мережеве та нейромережеве моделювання.

Математичні моделі вразливості систем забезпечення безпеки у транспортних вузлах

Результати аналізу сучасних математичних моделей надійності був виконаний та апробований автором роботи у [15]. Нижче подано результати.

Концепції моделі «вразливості», описані у роботах, базуються на кваліметричних моделях оцінки і використовують аналогію між поняттями «якість» і «вразливість». Обидва поняття визначають ступінь відповідності між вимогами і реальними характеристиками [15].



Рис. 1.4.11. Структурна логіка моделі вразливості систем забезпечення безпеки у транспортних вузлах.

Джерело: [15].

Ієрархічна структура показників якості захисту критичних елементів транспортної інфраструктури набуває вигляду (рис. 1.4.12):

При переході до кількісних оцінок вразливості можна стверджувати про тотожність понять «якість» і «вразливість» лише у випадку, коли поняття «ризик» враховане в структурі поняття «якість» [105]. На сьогоднішній день існує безліч підходів до оцінки ризику, таких як:

$$R = P_i \sum_{i=1}^n Q_i S_i \quad (1.4.21)$$

де P_i – ймовірність настання небезпечної події; R – кількісна оцінка ризику; Q_i – ймовірність i -го наслідку у результаті розвитку небезпечної події; S_i – показник серйозності i -тих наслідків.

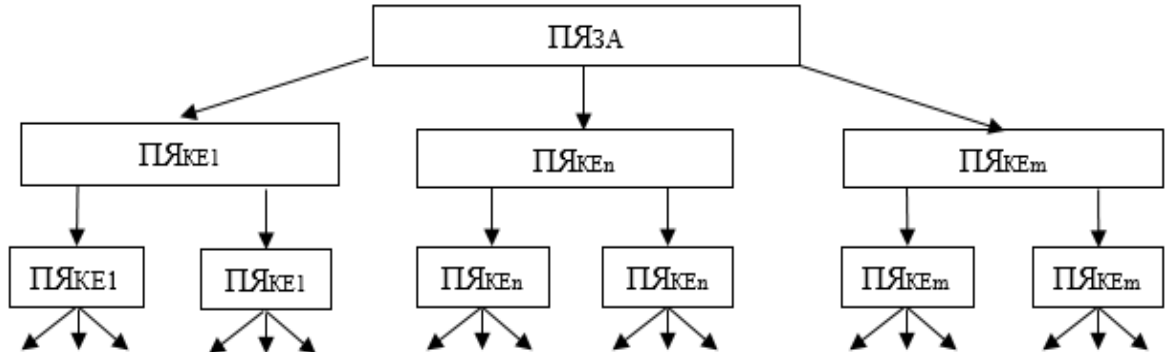


Рис. 1.4.12. Ієрархічна структура показників якості захисту критичних елементів транспортної інфраструктури.

Джерело: [15].

Інший підхід до аналізу ризиків у роботі системи системи полягає у математичному визначенні V як умовної ймовірності виходу стану системи безпеки за межі заданої області ϵ_0 у просторі станів Ω_m у випадку настання події H .

$$V = P[(|KC_n - KC_0|) > \varepsilon_0 | H] \quad (1.4.22)$$

У цьому випадку метод оцінки ризиків не має принципового значення і повинен вибиратися з урахуванням виробничих умов конкретного аеропорту. Проблема полягає в тому, щоб врахувати ризик як один із критеріїв оцінки вразливості, і це вимагає вирішення завдання інтеграції кількісних ризиків у структуру кваліметричних оцінок вразливості. Пропонується вирішувати це завдання за допомогою вагових коефіцієнтів у схемі згортки показників:

$$\mu_j = \frac{\prod_{i=j}^p \beta_i}{\sum_{j=1}^p \prod_{i=j}^p \beta_i} \quad (1.4.23)$$

де $B = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$ - оцінка ризику; $M = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)$ - вагові коефіцієнти. Умова нормування має бути дотримана.

Отже, проведений аналіз наукових досліджень, проведених вітчизняними та зарубіжними авторами у галузі транспортної безпеки [37-66], [90-123] показав різноманітність підходів до її оцінки. Загалом, існують два основних підходи до визначення рівня безпеки транспортних систем.

Перший підхід спрямований на розгляд безпеки з "позитивного" ракурсу, де вивчається "надійність" або "стійкість". Поняття надійності описує здатність системи зберігати необхідні властивості для досягнення визначеної мети та функціонувати протягом певного часу за певних умов. Стійкість визначається як здатність системи зберігати свій поточний стан та виконувати свої функції навіть під впливом зовнішніх факторів та перешкод.

Інший підхід передбачає оцінку транспортної безпеки з "негативного" боку, де "безпеку" порівнюють із поняттями неповної або часткової безпеки, що описуються як "вразливість" або "ризик". У таких методах ключову роль відіграє концепція "якості", яка розглядається як ступінь захисту інфраструктурного

об'єкта від загроз. Отже, існує прямий зв'язок між якістю захисту об'єкта і його вразливістю, що означає, що недостатня якість захисту призводить до збільшення вразливості об'єкта.

Важливо також зазначити, що існують методи, які активно використовують концепцію "людського фактору", оскільки він має значний вплив у сфері транспорту. Деякі з таких методів використовують неформальні підходи, такі як евристичні та якісні методи, у поєднанні з теорією прийняття рішень та системною інженерією.

1.5. Висновки до розділу 1

Загальний світовий досвід управління транспортними потоками на всіх рівнях вказує на те, що розвиток інтегрованих систем перевезень є одним з ефективних методів зниження витрат та співпраці між учасниками доставки. Ці системи дозволяють поєднувати різні види транспорту в одну гармонійну систему, що взаємодіє між собою. Це означає, що проблема створення інтегрованих транспортних систем є дійсно актуальною і потребує уважного вивчення.

Виходячи з проведеного аналізу, автор пропонує розуміти *транспортну безпеку* як стан транспортної системи, за якого ризики завдання збитків людям, які задіяні в транспортному процесі, об'єктам інфраструктури та транспортним засобам знижені до прийняттого рівня у результаті безперервного процесу визначення та керування рівнем внутрішніх та зовнішніх загроз.

У контексті сучасних підходів до оцінки транспортної безпеки в інтегрованих системах перевезення можна виділити наступні недоліки:

1. Проблема *однобічності оцінки безпеки процесу перевезення вантажів*: більшість методів оцінки безпеки спрямовані або на транспортні вузли, або на ризикові події на транспортних маршрутах. Однак, оскільки інтегровані системи перевезення включають транспортні вузли, що обслуговують кілька видів

транспорту, потрібно проводити комплексну (інтегровану) оцінку безпеки на кожній ланці транспортного процесу.

2. Проблематика *управління транспортною безпекою*: більшість аналізованих методів застосовні лише до транспортних компаній, які контролюють транспортну інфраструктуру або транспортні засоби. Для інших компаній, які лише користуються послугами перевізників, стає важливим питання проектування оптимальних з точки зору безпеки перевезень.

Таким чином, аналіз проблеми вказує на необхідність розв'язання різноманітних методичних та методологічних питань, які стосуються визначення принципів, критеріїв та правил оцінки безпеки в інтегрованих системах перевезення вантажів. У цьому відношенні важливо застосовувати інтегральний підхід:

- по-перше, для подолання проблеми однобічності потрібно оцінювати безпеку на кожному етапі перевезення, включаючи оцінку безпеки транспортних вузлів та маршрутів перевезення.

- по-друге, процедури оцінки мають бути комплексними, охоплюючи: а) оцінку зовнішніх (та внутрішніх) чинників, що впливають на роботу транспортного вузла (наприклад, зіставляючи з поняттями неповної або часткової безпеки, такими як, «небезпека», «ризик» і «загрози»); б) оцінка безпосередньо системи забезпечення безпеки транспортного вузла; це допоможе сформувати деяке поле захисту інфраструктурного об'єкта;

- по-третє, такі моделі має включати в себе фактор війни, що був спричинений повномасштабним вторгненням російської федерації на в Україну та масовими обстрілами її інфраструктурних об'єктів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИКА ВПЛИВУ ВІЙНИ В УКРАЇНІ ТА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТУ

2.1. Аналітика впливу війни в Україні на глобальні потоки вантажних перевезень

Автор дослідження аналізує вплив війни в Україні на вантажні перевезення, розглядаючи основні зміни в транспортних маршрутах, обсягах перевезень та логістичних витратах. Таке дослідження базується на статистичних даних та аналітичних оглядах експертів галузі [124-150]. Розглянуто основні напрями впливу, включаючи морські, залізничні, автомобільні та авіаційні перевезення.

Вплив війни в Україні на обсяги авіаційних вантажних перевезень

Світова авіаційна індустрія, яка поступово відновлювалася після кризи, спричиненої пандемією COVID-19, зіткнулася з новими викликами після вторгнення Росії в Україну 22 лютого 2022 року. Війна спричинила уповільнення темпів зростання ключових показників ефективності як окремих авіакомпаній, так і індустрії в цілому, особливо в європейському регіоні. Незважаючи на відносно невелику частку Росії та України в глобальному авіаційному трафіку, військовий конфлікт та пов'язані з ним санкції мали негативні наслідки для діяльності авіакомпаній, особливо тих, що спеціалізуються на пасажирських і вантажних маршрутах з Європи до Азії, Північної Америки до Азії та Північної Америки до Близького Сходу [126]. Вантажні перевезення між Азіатсько-Тихоокеанським регіоном і Європою зазнали значних порушень на початку березня 2022 року, коли кількість вантажних рейсів знизилася на 19% порівняно з попереднім роком. У 2022 році авіаційні ринки країн Східної Європи (за винятком Росії та України) зазнали скорочення кількості рейсів порівняно з 2019 роком: Республіка Молдова - 69%, Словенія - 42%, Латвія - 38% та Фінляндія - 36% [127-128].

Закриття повітряного простору над Росією та Україною мало значний вплив на європейські авіакомпанії, особливо ті, що займаються перевезеннями до Азії.

Ці авіакомпанії були змушені змінювати траєкторії польотів, обходячи геополітично небезпечні території (рис. 2.1.1). В результаті вони зазнали збільшення операційних витрат, вищих викидів вуглекислого газу (CO₂) та зменшення попиту на певних авіаційних маршрутах.

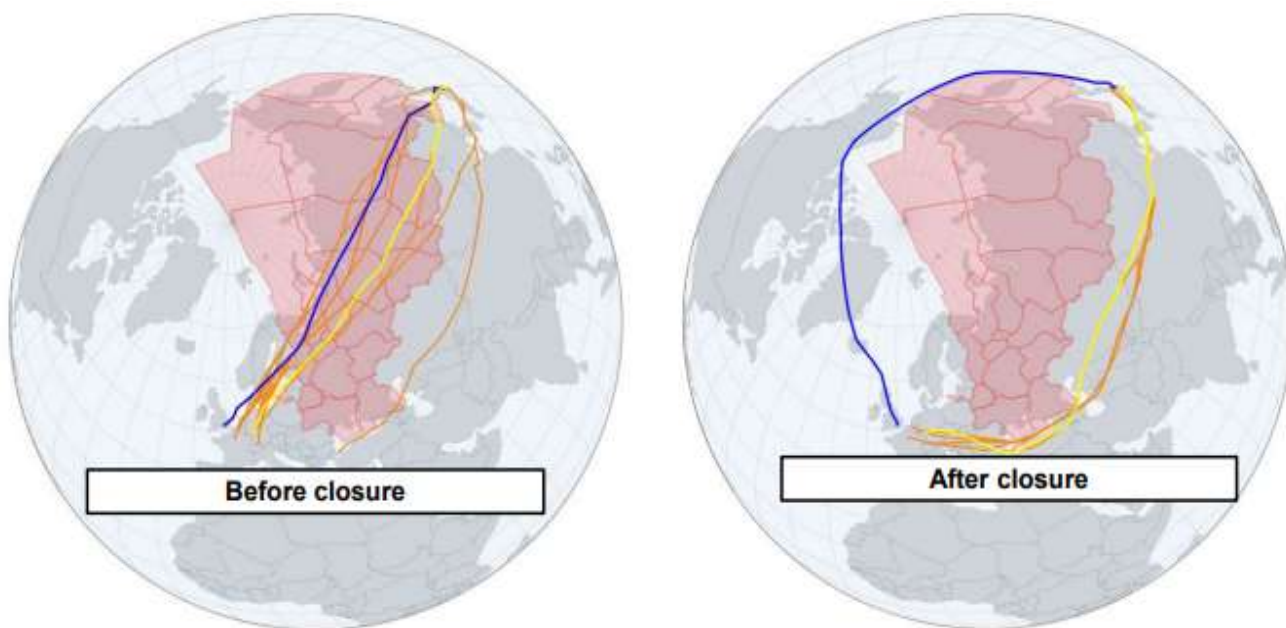


Рис. 2.1.1. Порівняння маршрутизації на далекомагістральний авіаперевезень у напрямку Європа-Азія.

Джерело: [128].

Крім того, європейські авіакомпанії зіткнулися зі значною конкуренцією з боку китайських перевізників, які уникали прямих обмежень на перетин російської території, отримуючи переваги в часі, відстані та вартості перевезень.

Lufthansa Cargo повідомила, що примусові об'їзди повітряного простору над росією обійшлися авіакомпанії приблизно у 10% її оперативної потужності у 2022 році. Схожа ситуація трапилася з більшістю європейських конкурентів Lufthansa [129].

Обсяг прямих вантажних рейсів між Європою та Північним Сходом Азії впав на 20% безпосередньо після вторгнення Росії, що еквівалентно понад 1100

тонн на день або дев'ять вантажних літаків Boeing [130]. Це частково пов'язано з тим, що українська авіакомпанія "Antonov Airlines", яка обробляла практично 35% від усіх важких та габаритних вантажів по всьому світу, зараз переважно працює для гуманітарних цілей. Важливо відзначити, що вантажний літак АН-225 «Мрія» був повністю знищений під час бойових дій в Україні [131].

Також спостерігається значний зростання тарифів на вантажну авіацію через скорочення потужності літаків та зменшення частоти рейсів. Однак, наприклад, Finnair продовжує здійснювати пасажирські рейси з вищими цінами на доставку вантажів на ключові азійські ринки, незважаючи на подовження тривалості перельоту [132]. Постійне зростання тарифів на вантажні перевезення на тлі невизначеності, пов'язаної з військовим конфліктом, може призвести до зменшення попиту та ускладнити розвиток не лише на маршрутах між Європою та Азією, а й на світовому рівні у галузі авіації.

Глобальний авіаційний ринок характеризується повільним, але стійким темпом зростання протягом останніх 20 років. Під час пандемії COVID-2019 у 2020 році, коли глобальний пасажирський трафік зменшився на 60%, обсяги перевезеного вантажу скоротилися на 9,9% у порівнянні з 2019 роком. Більше того, загальний обсяг вантажного трафіку для авіації досяг 65,6 мільйона метричних тон до 2021 року, що відзначає зростання на 18,23% у порівнянні з 2020 роком і на 6,5% у порівнянні з 2019 роком. (рис. 2.1.2).

З повномасштабним вторгненням росії до України було введено заборону на польоти російських авіакомпаній до ЄС, США, Канади та інших країн. Через ці обмеження основні перевізники з агресорської країни припинили польоти до країн, які підтримують суверенітет України та засуджують військовий тероризм. У відповідь на введені санкції російським урядом повітряний простір був закритий для авіакомпаній з країн, які активно підтримували Україну. Внаслідок цього європейські авіакомпанії були змушені перебудувати свої маршрутні мережі між Європою та Азією, коригуючи траєкторії польотів для збільшення їхньої довжини та уникнення українських та російських територій. Усі ці події

негативно вплинули не лише на операції окремих перевізників, а й на глобальні показники.



Рис. 2.1.2. Глобальний вантажний авіаційний трафік з 2004 по 2021 рік, з оцінкою на 2022 та 2023 роки.

Джерело: [136].

У 2022 році глобальний обсяг перевезення вантажів зменшився на -8,08% порівняно з 2021 роком. У 2023 році досліджений показник подальше скоротився на 4,31% порівняно з 2022 роком. Незважаючи на кризові ситуації та розлади, експерти IATA все ще передбачають оживлення глобального ринку вантажної авіації у 2024 році та прогнозують зростання обсягу вантажних перевезень до 61 мільйонів тон (IATA, 2023). Оцінка місячних даних про перевезення вантажних тонно-кілометрів з січня 2019 року по вересень 2023 року показує найбільше зниження (крім березня 2020 року) у березні 2022 року, коли були введені санкції та закрито повітряний простір (рис. 2.1.3).

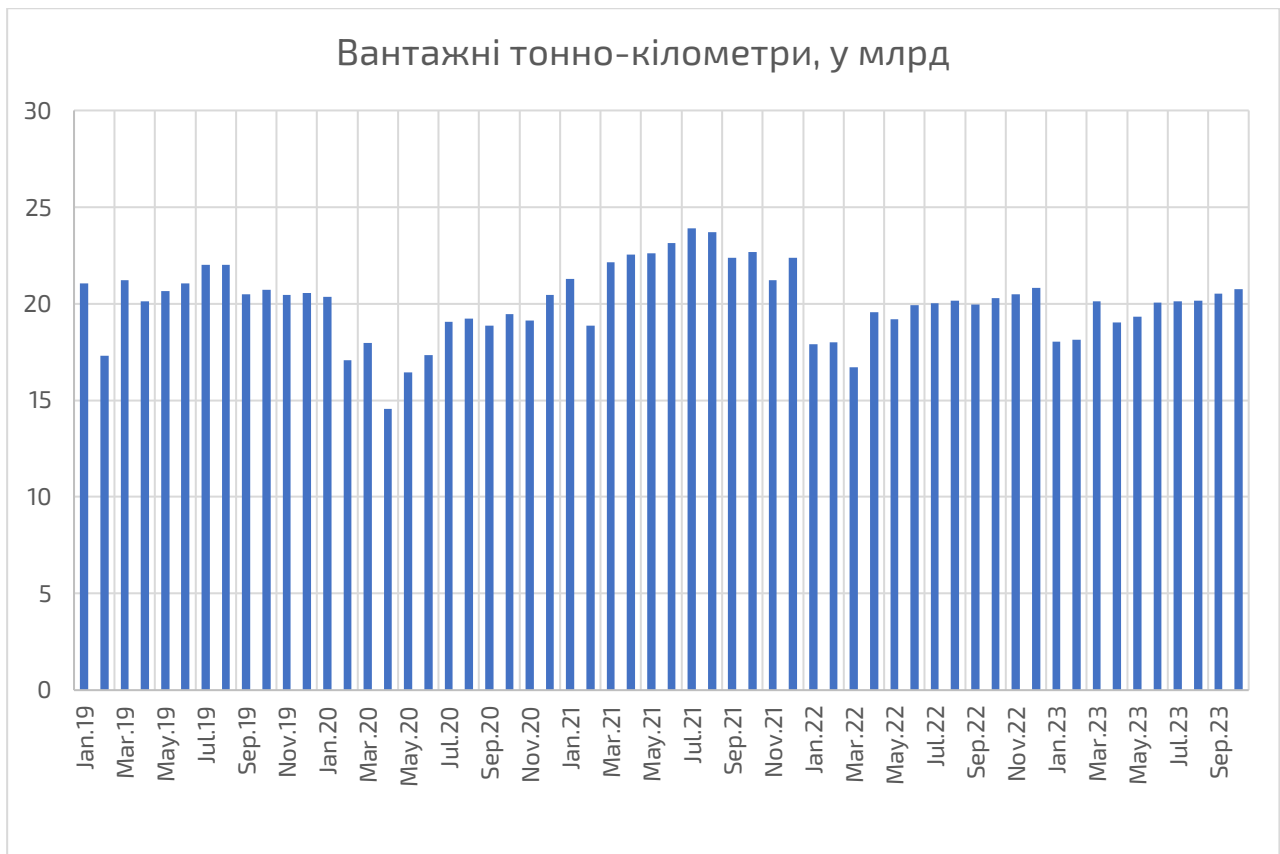


Рис. 2.1.3. Статистика щомісячних тонно-кілометрів вантажів з 2019 по 2023 рік.

Джерело: [134].

Незважаючи на зниження попиту на авіаційні вантажі, що відобразилося у 1,9% зменшенні тонно-кілометрів вантажів (СТКs) у 2022 році, дані залишилися на рівні перед пандемією, відстаючи лише на 3,6% від показників 2019 року. Доступні тонно-кілометри вантажів (АСТКs) значно зросли у 2023 році, показавши збільшення на 11,3% порівняно з 2022 роком і на 2,5% у порівнянні з 2019 роком [1, 2].

Статистичні дані показують, що міжнародні вантажні перевезення становлять 86,9% від загального обсягу вантажного потоку, з найбільшим обсягом, спрямованим на регіон Азійсько-Тихоокеанського регіону (32,4%) та Північну Америку (28,1%). Європа посідає друге місце (21,5%) після регіону Азійсько-Тихоокеанського регіону (табл. 2.1.1).

Таблиця 2.1.1. Регіональний рейтинг глобального ринку вантажних перевезень за ключовими показниками результативності

Регіон	Світова частка у галузі за 2022 рік	Річний приріст			Річний приріст проти 2019			CLF (рівень)
		СТК	АСТК	CLF	СТК	АСТК	CLF	
<i>ЗАГАЛЬНИЙ РИНОК</i>	100.0%	-1.9%	11.3%	-5.9%	-3.6%	2.5%	-2.7%	44.0%
Африка	2.0%	-1.8%	5.6%	-3.3%	6.7%	-10.7%	7.1%	43.3%
Азія	32.4%	0.9%	28.5%	-12.5%	-6.9%	6.7%	-6.7%	45.7%
Європа	21.8%	-3.9%	4.5%	-4.5%	-12.6%	-12.9%	0.2%	52.0%
Пд Америка	2.7%	2.0%	13.2%	-3.7%	-1.7%	1.8%	-1.2%	33.9%
Ближній Схід	13.0%	1.6%	13.5%	-5.1%	-0.1%	6.4%	-2.8%	43.8%
Пн Америка	28.1%	-5.7%	0.3%	-2.5%	7.1%	8.7%	-0.6%	39.0%
<i>МІЖНАРОДНІ</i>	86.9%	-2.2%	9.6%	-6.0%	-3.8%	0.0%	0.8%	49.9%
Африка	2.0%	-2.0%	5.0%	-3.2%	7.7%	-10.0%	0.5%	44.3%
Азія	29.7%	-1.4%	16.6%	-9.9%	-5.3%	2.4%	2.2%	54.5%
Європа	21.5%	-4.1%	4.5%	-4.9%	-13.1%	-13.8%	-1.8%	54.1%
Пд Америка	2.3%	1.9%	16.9%	-5.7%	0.2%	11.7%	1.9%	38.7%
Ближній Схід	13.0%	1.6%	13.6%	-5.2%	-0.1%	6.7%	3.8%	44.1%
Пн Америка	18.4%	-4.3%	2.7%	-3.4%	7.8%	8.1%	0.6%	46.5%

Джерело: [137]

Європейські авіакомпанії відчули зниження попиту на 3,9% у 2023 році порівняно з попереднім роком (-4,1% для міжнародних операцій). Однак обсяг перевезень зріс на 4,5% як для глобальних, так і для міжнародних операцій. У грудні 2023 року авіакомпанії зафіксували зростання попиту на 8,6% (+8,7% для міжнародних операцій) порівняно з 2022 роком, при зростанні обсягу на 7,4%

(+7,5% для міжнародних операцій). Постійний конфлікт в Україні продовжує впливати на авіаційну індустрію в Європі [85].

Найбільше постраждали європейські авіакомпанії на маршрутах між ЄС та Азією.

З липня 2022 по червень 2023 року найбільше зниження потоків вантажів з Європи на ринок Азіатсько-Тихоокеанського регіону відбулося у грудні 2022 року (табл. 2.1.2). Дані показують, що незважаючи на постійні коливання у потоках вантажів між двома ринками, спостерігається поступове відновлення зі стабільною тенденцією зростання показника як і з Європи до регіону Азія-Тихоокеанський, так і з країн Азії та Тихоокеанського регіону до Європи.

Таблиця 2.1.2. Обсяги вантажних перевезень між Європою та Тихоокеанським регіоном

Період	Азія та Тихоокеанський регіон – Європа, у 100 тис тон	Зміна, %	Європа - Азія та Тихоокеанський регіон, у 100 тис тон	Зміна, %
Липень 2022	201,05	+6,90%	245,59	+8,10%
Серпень 2022	184,17	-8,40%	230,51	-6,14%
Вересень 2022	195,1	+5,93%	252,9	+9,71%
Жовтень 2022	187,9	-3,69%	226,7	-10,36%
Листопад 2022	209,4	+11,44%	269,77	+19,00%
Грудень 2022	159,3	-23,93%	201,5	-25,31%
Січень 2023	222,6	+39,74%	284,6	+41,24%
Лютий 2023	202	-9,25%	252,2	-11,38%
Березень 2023	218,9	+8,37%	288,6	+14,43%
Квітень 2023	244,5	+11,69%	314,6	+9,01%
Травень 2023	248,3	+1,55%	317,7	+0,99%
Червень 2023	278,1	+12,00%	333,2	+4,88%

Джерело: [11]

Автором було прийнято рішення спрогнозувати глобальний потік авіаційного вантажу за трьома сценаріями розвитку війни в Україні: оптимістичний (закінчення війни, відновлення повітряного простору та авіаційного руху може зайняти до 1 року), реалістичний (закінчення війни, відновлення повітряного простору та авіаційного руху може зайняти до 3 років), і песимістичний (закінчення війни, відновлення повітряного простору та авіаційного руху може зайняти до 5 років).

Вихідні дані складаються з місячних статистичних даних про перевезення вантажів в тонно-кілометрах (СТК) за 2019-2023 роки (рис. 2.1.3).

```
> # autocorrelation testing by Ljung-Box Test  
> Box.test(ctk_ts, lag = log(length(ctk_ts)))
```

Box-Pierce test

```
data: ctk_ts  
X-squared = 58.422, df = 4.0604, p-value = 6.809e-12
```

Рис. 2.1.4. Перевірка вихідних даних щомісячних перевезень вантажів у тонно-кілометрах (СТК) за 2019-2023 за тестом Лjung-Бокса.

Джерело: розроблено автором за допомогою RStudio.

Для перевірки даних на автокореляцію був проведений тест Лjung-Бокса за допомогою програмного забезпечення RStudio. Статистика тесту становить $Q = 58,422$, а значення p -рівня дорівнює $6,809 \cdot 10^{-12}$, що набагато менше за прохідне 0,05.

Таким чином, нульову гіпотезу тесту не вдалося відхилити, тому можна зробити висновок про присутність автокореляції у часовому ряді на рис. 2.1.4. Перевірка автокореляційної функції (ACF) та часткової автокореляційної функції (PACF) вантажних тонно-кілометрів була виконана з метою відображення кореляції часового ряду з самим собою при різних лагах (рис. 2.1.5).

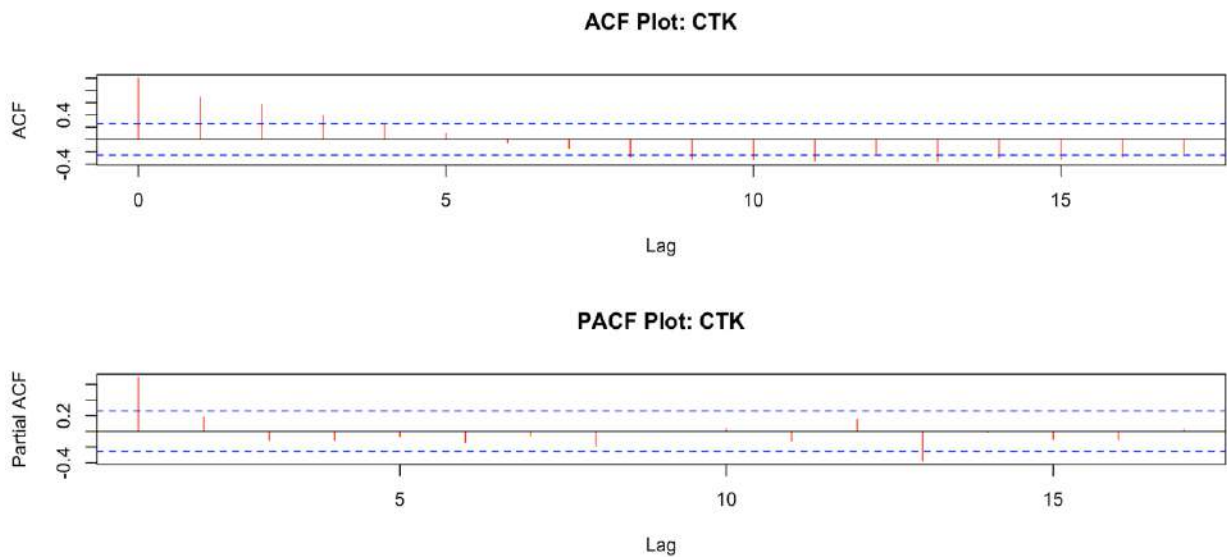


Рис. 2.1.5. ACF та PACF даних щодо вантажних тонно-кілометрів (СТК) за 2019-2023.

Джерело: розроблено автором за допомогою RStudio.

Розроблений графік на рис. 2.1.5 показує, що значення даних не є незалежними, тому часовий ряд слід трансформувати (рис. 2.1.6).

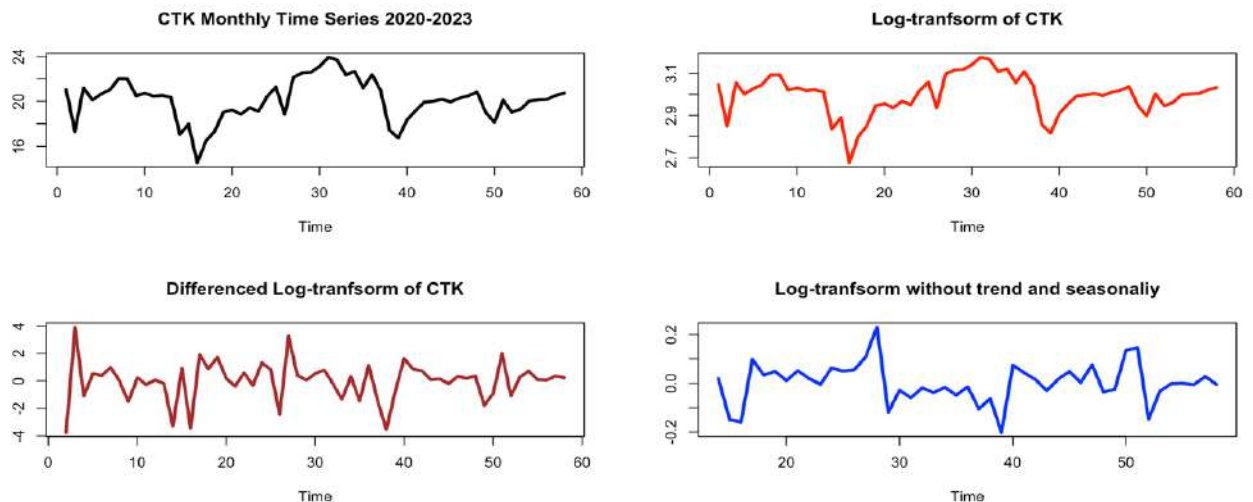


Рис. 2.1.6. Часовий ряд СТК, логарифмований часовий ряд СТК, диференційований логарифмований часовий ряд СТК, логарифмований часовий ряд без тренду та сезонності.

Джерело: розроблено автором за допомогою RStudio .

Другий тест Лjungга-Бокса для автокореляції даних був також проведений у програмному середовищі RStudio. Статистика тесту дорівнює $Q = 0,89$, а р-значення - $0,9109$, що значно вище за $0,05$. Отже, вдалося відхилити нульову гіпотезу, отже, значення даних є незалежними (рис. 2.1.7).

```
> Box.test(data, lag = log(length(data)))
```

Box-Pierce test

```
data: data
```

```
X-squared = 0.89809, df = 3.8067, p-value = 0.9109
```

Рис. 2.1.7. Проведення перевірки трансформованих статистичних даних за допомогою тесту Лjungга-Бокса.

Джерело: розроблено автором за допомогою RStudio.

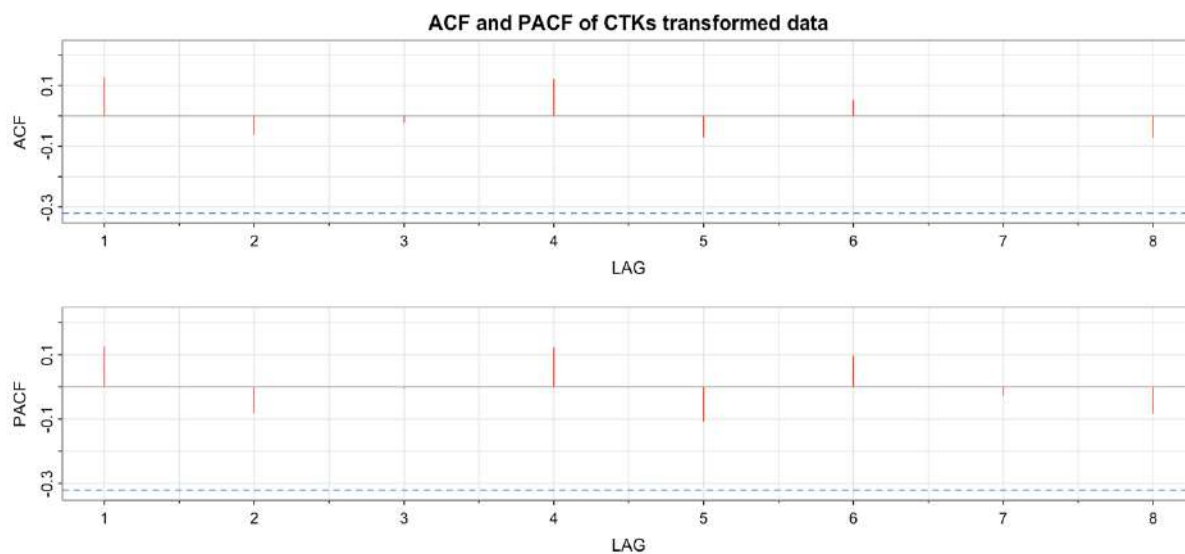


Рис. 2.1.8. ACF та PACF трансформованих статистичних даних .

Джерело: розроблено автором за допомогою RStudio.

Розроблені графіки ACF та PACF (рис. 2.1.8) показали, що дані не потребують трансформації і готові для використання в прогностичному моделюванні.

Трансформовані дані (рис. 2.1.6) були використані для побудови моделі SARIMA для глобального потоку авіаційних вантажів у трьох сценаріях розвитку війни: оптимістичний (закінчення війни, відновлення повітряного простору та авіаційного руху може зайняти до 1 року), реалістичний (закінчення війни, відновлення повітряного простору та авіаційного руху може зайняти до 3 років), і песимістичний (закінчення війни, відновлення повітряного простору та авіаційного руху може зайняти до 5 років).

Математична репрезентація моделі SARIMA може бути подана наступним чином:

$$(1 - \phi_1 B)(1 - \Phi_1 B^S)(1 - B)(1 - B^S)y_t = (1 + \theta_1 B)(1 + \Theta_1 B^S)e_t \quad (2.1.1)$$

де $(1 - \phi_1 B)$ - несезонна авторегресійна функція (AR); $(1 - \Phi_1 B^S)$ - сезонна авторегресійна функція (AR); $(1 - B)$ - несезонна диференціація; $(1 - B^S)$ - сезонна диференціація; $(1 + \theta_1 B)$ - несезонне ковзане середнє (MA); $(1 + \Theta_1 B^S)$ - несезонне ковзане середнє (MA).

Поданий на рис. 2.1.9 код був створений для розробки моделі SARIMA (сезонної авторегресійно-інтегрованої моделі з рухомим середнім).

Графіки, подані на рис. 2.1.10 відображають наступні діагностичні графіки: стандартизовані залишки, побудовані для 35 лагів (затримок); автокореляційна функція (ACF) залишків; квантиль-квантиль (Q-Q) графік стандартизованих залишків; значення p - статистики Лjungа-Бокса.

Аналіз показує, що графік ACF залишків відображає автокореляцію в межах довірчого інтервалу для всіх лагів (за винятком однієї, що свідчить про її незначущість) і співпадає з результатами тесту Лjungа-Бокса.

Більше того, значення p - статистики Лjungа-Бокса на різних лагах послідовно перевищують поріг довіри. Ці висновки свідчать про те, що модель ефективно утримує структуру часового ряду.

Аналогічні результати спостерігалися для всіх розроблених моделей.

```

34 # FORECAST MODEL FITTING
35 d=1
36 DD=1
37 per=12
38 for(p in 1:2){
39   for(q in 1:2){
40     for(i in 1:2){
41       for(j in 1:4){
42         if(p+d+q+i+DD+j<=10){
43           model<-arima(x=log(ctk_ts), order = c((p-1),d,(q-1)), seasonal = list(order=c((i-1),DD,(j-1)), period=per))
44           pval<-Box.test(model$residuals, lag=log(length(model$residuals)))
45           sse<-sum(model$residuals^2)
46           cat(p-1,d,q-1,i-1,DD,j-1,per, 'AIC=', model$aic, ' SSE=',sse,' p-VALUE=', pval$p.value,'\n')
47         }
48       }
49     }
50   }
51 }
52
53 # MODEL ARIMA
54 par(mfrow = c(1,1))
55 model<- arima(x=log(ftk_ts), order = c(1,1,1), seasonal = list(order=c(0,1,1), period=12))
56 plot(forecast(model))
57 forecast(model)
58
59 # MODEL SARIMA
60 a<-sarima.for(log(ctk_ts),70,1,1,1,0,1,1,12)
61 plot.ts(c(ftk_ts,exp(a$pred)), main='Monthly CTK + Forecast', ylab='', col='black', lwd=3)
62 exp(a$pred)

```

Рис. 2.1.9. Програмний код моделі SARIMA для розробки прогнозу глобального потоку авіаційних вантажів у трьох сценаріях розвитку війни.

Джерело: розроблено автором за допомогою RStudio.

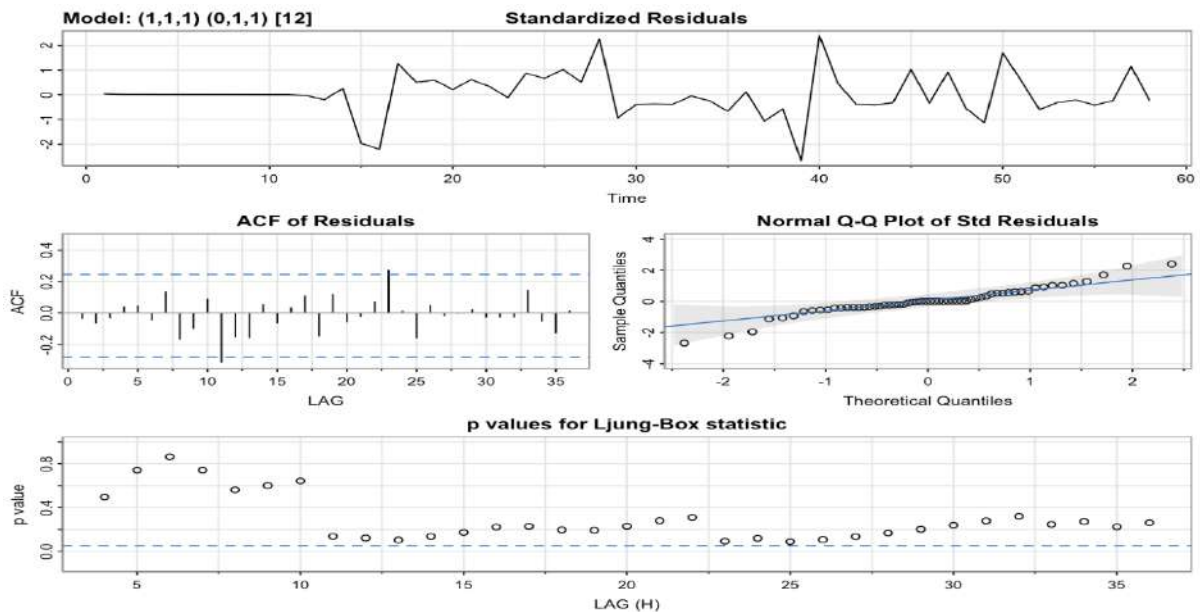


Рис. 2.1.10. Аналіз моделі SARIMA: стандартизовані залишки, ACF залишків, нормальний Q-Q графік стандартизованих залишків та значення р-статистики Льюнга-Бокса.

Джерело: розроблено автором за допомогою RStudio.

Прогнози для альтернативних сценаріїв були розраховані за подібним підходом з урахуванням того, що показники СТК зазнали зниження на 5,6% через повномасштабне вторгнення росії в Україну (рис. 2.1.11)

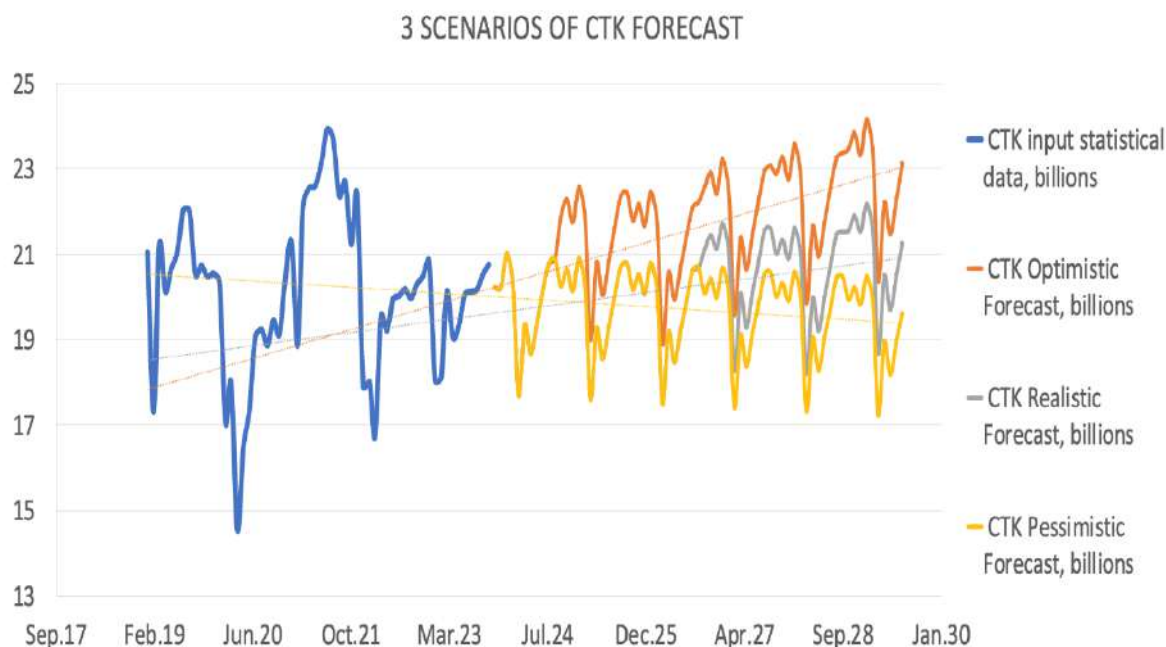


Рис. 2.1.11. Прогноз світового потоку авіаційних вантажів за трьох сценаріїв розвитку війни: оптимістичний, реалістичний та песимістичний.

Джерело: розроблено автором за допомогою Excel.

Отримані з рис. 2.1.10 дані можна пояснити наступним чином:

- р-значення моделей складають: р-значення для песимістичного прогнозу становить 0.98 (≥ 0.85); р-значення для реалістичного прогнозу - 0.99 (≥ 0.85); р-значення для оптимістичного прогнозу - 0.99 (≥ 0.85); що підтверджує достатню точність розрахунків;
- до кінця 2030 року: СТК за реалістичним сценарієм досягає $\approx 21,25$ мільярда на місяць, СТК за оптимістичним прогнозом $\approx 23,11$ мільярда на місяць; різниця складає +8,09%;
- до кінця 2030 року: СТК за песимістичним сценарієм досягає $\approx 19,61$ мільярда на місяць, СТК за оптимістичним прогнозом $\approx 23,11$ мільярда на місяць; різниця складає $\approx +15,17\%$.

Отже, до кінця 2030 року річний показник СТК порівняно з 2021 роком за трьома сценаріями становить: за оптимістичним сценарієм - 1,35%; за реалістичним сценарієм - 6,67%; за песимістичним сценарієм - 11,98%.

Вплив війни в Україні на обсяги морських вантажних перевезень

Вплив війни в Україні на загальносвітові обсяги морських вантажних перевезень виявився значним і мав широкі наслідки для міжнародної торгівлі та логістичних ланцюгів. Зокрема, після початку військових дій на території України було запроваджено ряд санкцій та обмежень, які стосувалися перевезень товарів через морські шляхи [139]. Це призвело до змін у торговельних потоках, перерозподілу вантажів і зміни маршрутів доставки.

Один із ключових аспектів впливу війни в Україні на морські вантажні перевезення - це зміна географії торгівлі. Закриття певних портів або морських маршрутів через регіон, де триває конфлікт, призводить до зміни шляхів та вибору альтернативних маршрутів.

Це може викликати збільшення чи зменшення обсягів транспортування через інші регіони та порти [140].

Додатково, війна в Україні спричинила зміну у вартості перевезень та умовах доставки. Західні санкції та обмеження, а також загальна нестабільність у регіоні, призвели до збільшення ризиків для морських перевізників та зростання їхніх витрат на забезпечення безпеки та виконання нових вимог.

Варто зазначити, що війна в Україні є однією з кількох великих проблем, які наразі впливають на міжнародний морський транспорт, ускладнюючи інші виклики, такі як пандемія COVID-19, перевантаження портів, необхідність переходу на низьковуглецеві палива та інші.

Проте, зрозуміло, що порушення та підвищений попит на тонно-милі, спричинені війною в Україні, значно сприяють збільшенню вартості перевезень (рис. 2.1.12).

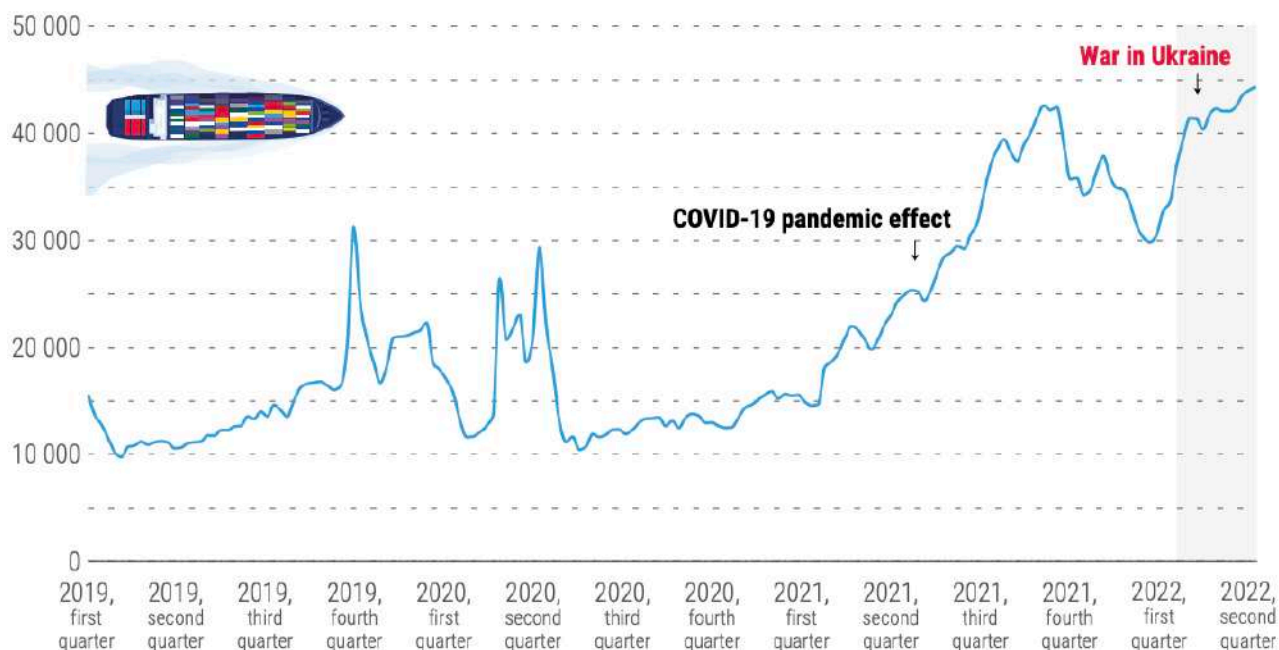


Рис. 2.1.12. Динаміка зміни цін на морські перевезення починаючи з 2019 року (індекс ClarkSea у доларах/день).

Джерело: [140].

Вищі ціни на енергоносії ускладнюють виклики, з якими стикаються перевізники. Російська федерація є провідним експортером нафти та газу. Однак торгові обмеження та зміни в торгових схемах, спричинені війною, призвели до різкого зростання попиту на тонно-милі, а ставки за добу для менших танкерів, які відіграють ключову роль у регіональній торгівлі нафтою в Чорному, Балтійському та Середземному морях, раптово підвищилися [141].

Вищі енергетичні витрати також призвели до зростання цін на морське бункерне паливо, підвищуючи вартість судноплавства для всіх морських транспортних секторів. Станом на кінець травня 2022 року середня світова ціна на паливо з дуже низьким вмістом сірки (VLSFO) перевищила 1000 доларів за тонну, що на 64% більше порівняно з початком 2022 року – і середні надбавки на паливо, які стягуються контейнерними судноплавними компаніями, зросли майже на 50% з початку війни.

Україна та росія є важливими гравцями на агропродовольчих ринках, включаючи корми для тварин. Разом вони становлять 27% торгівлі пшеницею та

53% торгівлі насінням та соняшниковою олією від загальносвітової [89]. Всього 36 країн імпортують понад 50% своєї пшениці з територій країн. У 2021 році Україна експортувала близько 50 мільйонів тон зерна. До війни прогнози передбачали зростання світового морського експорту зерна на 3%. Однак тепер прогнозується скорочення на 3,8% у 2022 році. Глобальні поставки добрив та їхніх компонентів, у 2022 році прогноуються зі зменшенням на 7%.

Зменшений обсяг експорту зерна з України в певній мірі компенсується збільшенням частки поставки від інших постачальників. Наприклад, очікується, що Бразилія збільшить свої експортні обсяги пшениці та грубих зернових на вражаючі 37% у 2022 році [143]. Велика Британія та Європейський Союз разом мають збільшити експорт на 8 відсотків протягом того ж року. Також варто очікувати збільшення експорту сої зі Сполучених Штатів Америки, Аргентини та Бразилії. У середньостроковій перспективі Австралія, Бразилія та Сполучені Штати можуть компенсувати скорочення експорту зерна до Північної Африки та Близького Сходу.

Незважаючи на загальне скорочення обсягів для судноплавства, попит на транспортну роботу – тобто тонно-милі – для країн-імпортерів продовольства, ймовірно, зросте, оскільки альтернативні вантажі доставлятимуться з найвіддаленіших регіонів.

Зміна у торгівлі зерном відображається у кількості заходів суховантажних суден до портів Чорного моря. Порти Чорного моря зазвичай обслуговували понад 90% українських закордонних відправлень зерна. З припиненням роботи портів закордонні відправлення зерна були обмежені до поставок через західні кордони, залізницею, а також через невеликі порти Рені та Ізмаїл на річці Дунай. Ці альтернативи не є достатніми для компенсації втраченої потужності, яку зазвичай забезпечували українські порти Чорного моря.

З початку війни кількість щотижневих заходів до портів в Україні знизилася з 60 до майже нуля, і дещо зменшилася в Туреччині. Тим часом, кількість заходів суховантажних суден зросла у портах Болгарії та Румунії, що відображає перенаправлення частини торгівлі з України (рис. 2.1.13).

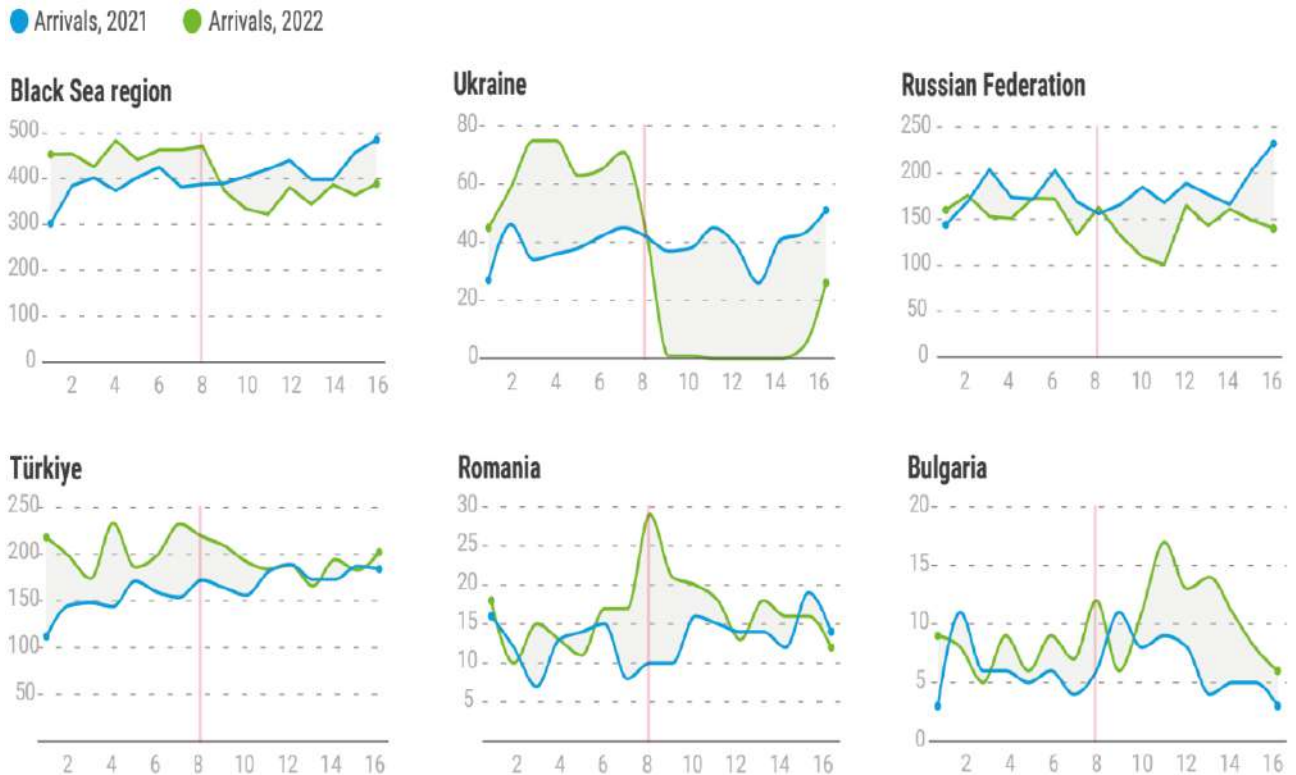


Рис. 2.1.13. Динаміка заходів суховантажних суден у регіоні Чорного моря.
Джерело: [140].

Деякі українські зернові культури відтепер транспортуються залізницею і перевантажуються в портах Болгарії та Румунії.

Проте наявні потужності для зберігання зерна вже зайняті минулорічним урожаєм, що викликає занепокоєння щодо можливості зберігання нового врожаю і, відповідно, його псування.

Хоча Україна не є глибоко інтегрована в глобальні мережі контейнерних перевезень і ланцюжків створення вартості, конфлікт і торговельні обмеження також вплинули на цей сегмент перевезень.

Контейнерні перевізники скоротили обсяг потужностей суден і призупинили операції в українських морських портах (рис. 2.1.14). Кілька сусідніх країн зазнали незначного збільшення потужностей суден, розміщених у їхніх портах.

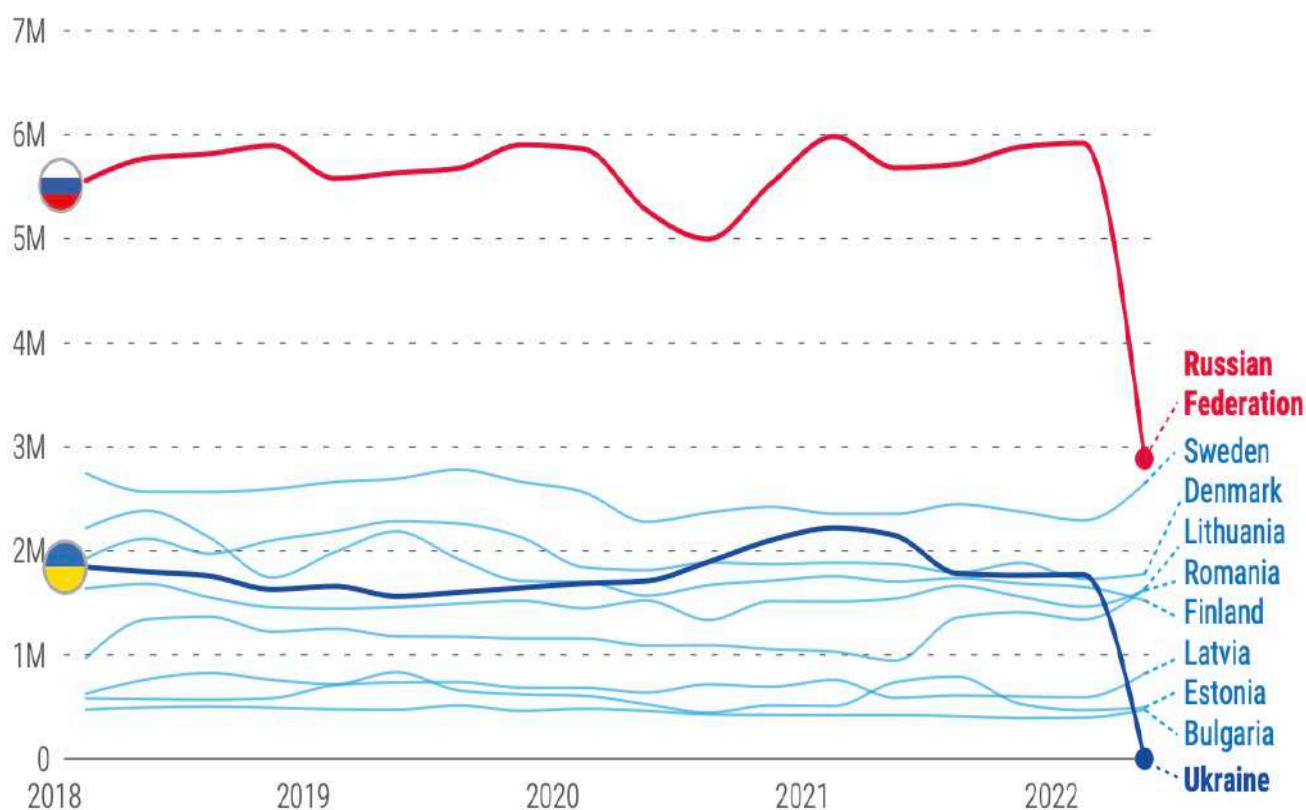


Рис. 2.1.14. Порівняння динаміки контейнерних перевезень України за 2018-2023 роки.

Джерело: [140].

Оскільки порти закрилися, а перевізники припинили судноплавні послуги до України, судна та контейнери були змушені змінювати маршрути. Вантажі, призначені для України, тепер накопичуються в портах, включаючи Гамбург (Німеччина), Роттердам (Нідерланди), Констанцу (Румунія) та Стамбул (Туреччина). Відправники стикаються із затримками та можуть очікувати збільшення зборів за затримку і простій у портах [154].

Дослідження UNCTAD [140] вказує на те, що високі витрати на морські контейнерні перевезення у 2021-2023 роках призведуть до додаткового збільшення цін на 1,6% в глобальному масштабі. Також вона показує, що середній рівень цін на імпорт зросте в середньому на 11,9% внаслідок сталого зростання тарифів на перевезення.

Найбільше постраждають невеликі острівні країни (SIDS), які зазнають збільшення цін на 8,1%. Такі країни можуть стикатися з накопиченим зростанням цін на імпорт у розмірі 26,7%.

Вплив війни в Україні на обсяги залізничних вантажних перевезень

Бойові дії з початку війни проходили в 10 областях, де розташовані підприємства, що складають більше половини ВВП України.

Втрати людей, руйнування критично важливої інфраструктури та руйнування виробничого потенціалу України призвели до значного зменшення ВВП та, відповідно, обсягів вантажних перевезень залізницею.

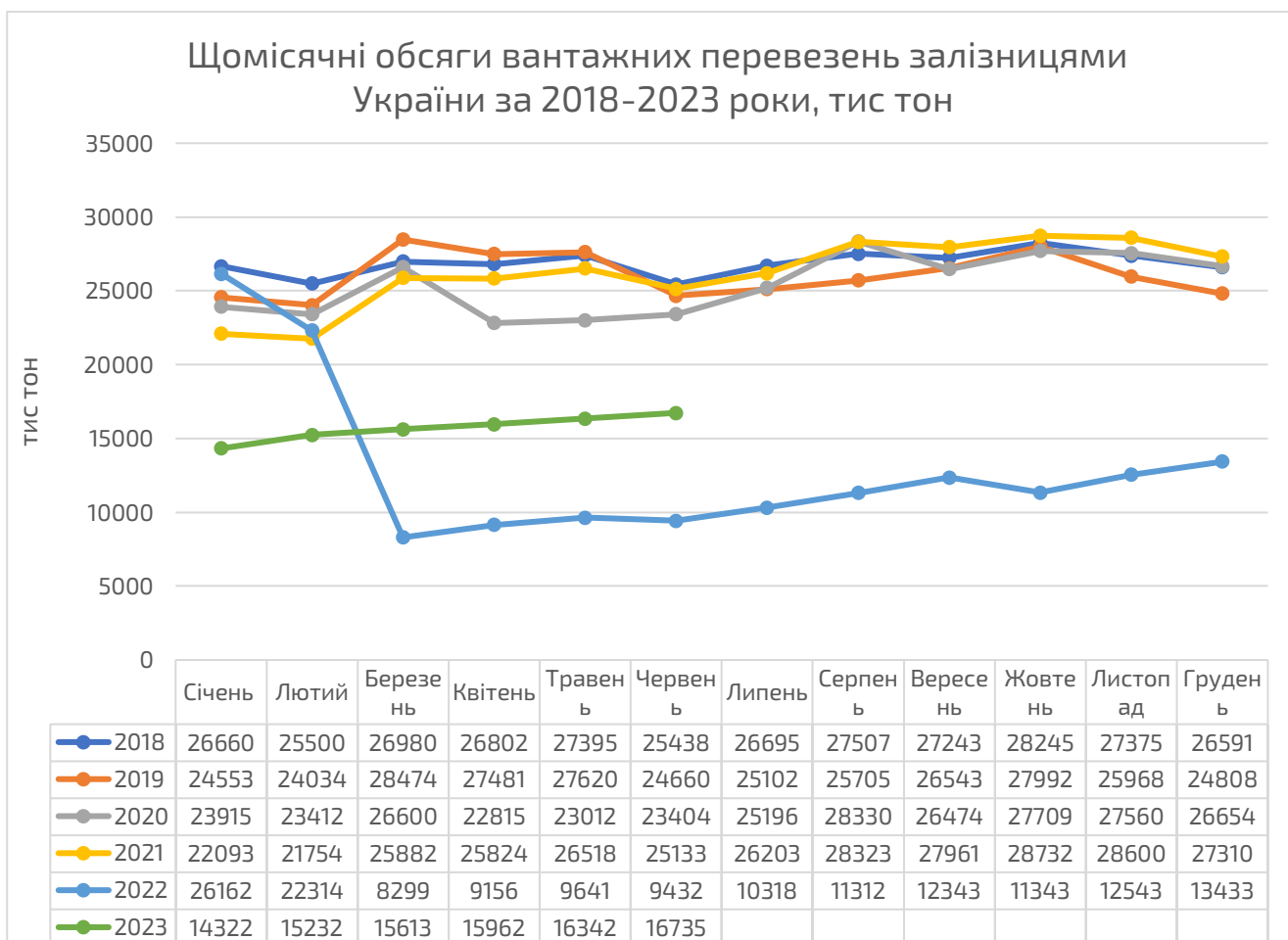


Рис. 2.1.15. Динаміка щомісячних обсягів вантажних перевезень залізницями України за 2018-2023 роки, тис тон.

Джерело: складено автором на базі [92].

Протягом перших 7 місяців 2022 року залізничним транспортом України було перевезено 95,3 мільйонів тон вантажів, що на 45,0 мільйона тон менше, ніж за аналогічний період 2021 року [145].

Лише у липні 2022 року було перевезено 10,32 мільйона тон вантажів (-15,9 мільйона тон або -60,6% порівняно з аналогічним періодом минулого року та +0,89 мільйона тон або +9,4% порівняно з червнем 2022 року).

Структура перевезень зазнала змін за напрямками: частка імпорتنих вантажів зменшилася до 6% замість 14% до початку вторгнення, транзиту - 1% замість 5%. Частка експорту знизилася з 40% до 37%, а внутрішні перевезення збільшили свою частку з 42% до 56%.

Структура перевезень за видами вантажів майже не змінилася [145]. Найбільший обсяг перевезень залишається на руді залізній і марганцевій, кам'яному вугіллі, зерні, мінеральних будівельних матеріалах. Структура перевезень вантажів значно не зазнала змін.

Зокрема, у липні 2022 року обсяги перевезень руди становили 1 572 тис. тон (+28,9 тис. тон) [145]. У липні 2022 року обсяги перевезень склали 88 тис. тон, що на 19 тис. тон більше, або +27,5% порівняно з липнем 2021 року.

У 2021 році операторами у всіх морських портах України було оброблено приблизно 153 млн тон вантажів, з яких майже 60% було перевезено за допомогою залізниці.

Зокрема, у 2021 році в портах було оброблено 49,5 млн тон зернових вантажів, найбільший показник обробки зернових був зафіксований у 2019 році - 53,9 млн тон.

У цьому ж 2021 році залізницями України було експортовано 112,4 млн тон, з яких через морські порти вивезено 79,5 млн тон, що становить 71% від усіх експортних перевезень, у тому числі експорт зернових вантажів склав 29,3 млн тон, з яких через порти - 28,7 млн тон.

У 2023 році на експорт було перевезено 36,9 млн тон вантажів (38,7%), що на 22,8 млн тон, або на 38,2% менше, ніж за аналогічний період 2021 року.

Структура експортних перевезень показує, що перше місце посідає руда залізна і марганцева - 17,3 млн тон (47%), друге - зернові вантажі - 10 млн тонн (27%), третє місце - чорні метали - 4 млн тонн (11%) (рис. 2.1.16).



Рис. 2.1.16. Структура експортних перевезень вантажів залізничним транспортом України за країнами призначень, %.

Джерело: складено автором на базі [145].

За останній час спостерігається збільшення перевезень зернових вантажів (рис. 2.1.17), але це обмежене пропускною здатністю залізничних прикордонних переходів.

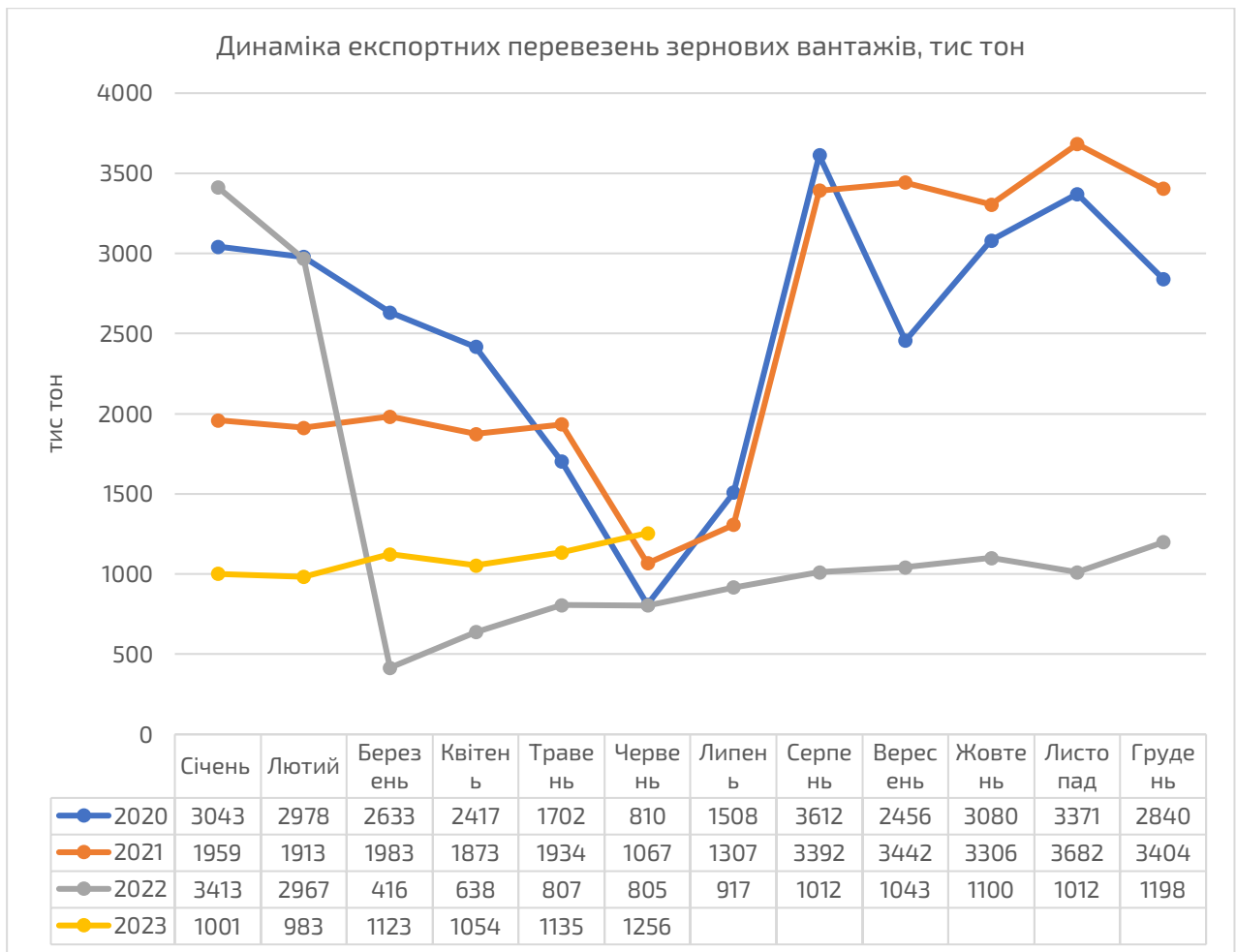


Рис. 2.1.17. Динаміка експортних перевезень зернових вантажів, тис тон.
Джерело: складено автором на базі [145].

Однією з основних причин цього є невідповідність європейських залізниць до перевезення додаткових обсягів вантажів (не вистачає портових потужностей в ЄС, вагонів, візків для колії 1435 мм). Крім того, розпочато збирання врожаю європейського зерна, що може призвести до заміщення українського.

Вплив війни в Україні на обсяги автомобільних вантажних перевезень

Альтернативне морському шляху транспортне сполучення з Європейським союзом через наземний транспорт, так само як і логістичні хаби, не витримало різкого зростання навантаження на транспортну інфраструктуру. У мирний час,

щомісячний обсяг вантажів, що доставлялися морським шляхом, становив 6–7 мільйонів тон [146].

У зв'язку з недоступністю традиційних транспортних маршрутів та крайньою необхідністю забезпечення ланцюгів постачання та продовольчої безпеки, угода, що стосувалася альтернативних маршрутів доставки, зокрема для перевезення зерна, палива, продуктів харчування та інших вантажів з України до Євросоюзу, вже розпочала переговори у 2020 році і була підписана за спрощеною процедурою [146].

Потоки вантажів, що раніше доставлялись морським шляхом, тепер переважно направляються автомобільним транспортом. Це відбувається також через те, що ширина залізничних колій в Україні не відповідає стандартам Європи, що робить автомобільний транспорт більш привабливим для перевезень [146].

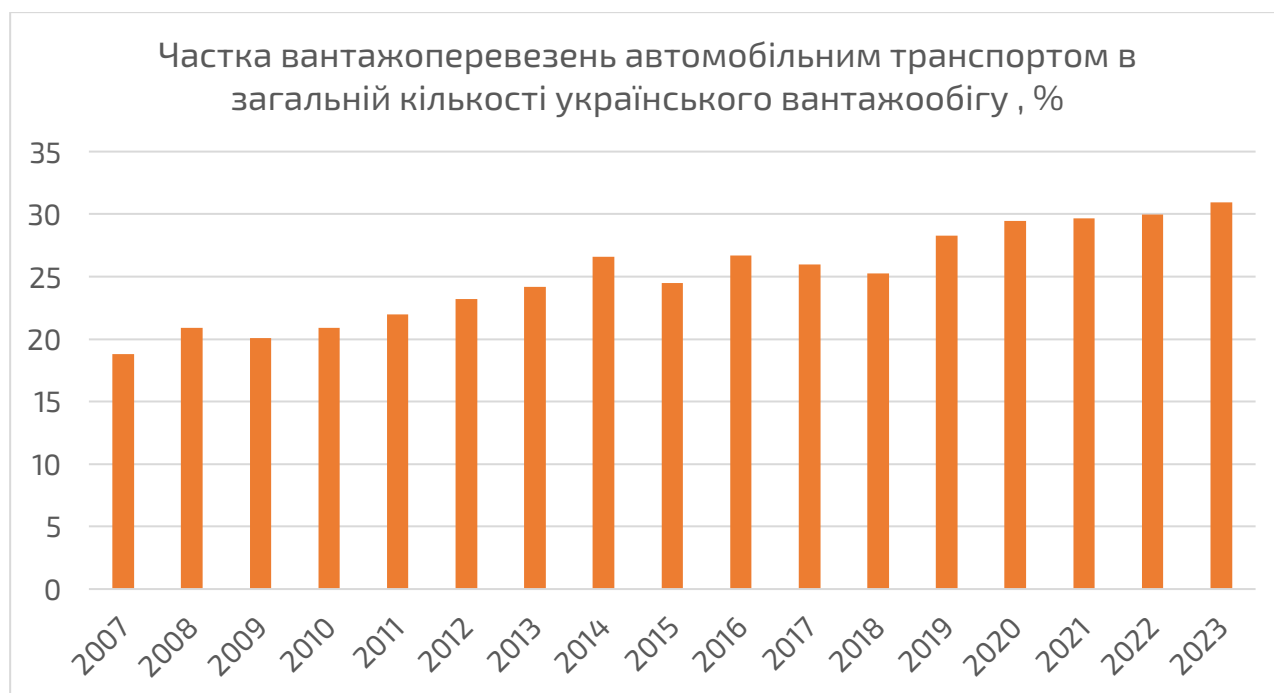


Рис. 2.1.18. Частка вантажоперевезень автомобільним транспортом в загальній кількості українського вантажообігу, %.

Джерело: [146].

В умовах війни складні умови функціонування на ринку вантажних перевезень призвели до зменшення кількості компаній, які надають такі послуги. Невеликі автоперевізники змушені були закритися через суттєве зростання собівартості перевезень та зниження попиту на їхні послуги. Водночас великі автоперевізники розширили свою діяльність, заповнюючи вивільнені ніші.

За результатами опитування маркетингової компанії Dive&Discovery Research [147], станом на кінець липня 2022 року транспортна потужність більшості автотранспортних підприємств використовувалася на рівні 72%, причому лише 9% з них працювали на повну потужність. Це призводить до пошуку нових клієнтів і ринків збуту. Складні умови актуалізували проблему скорочення витрат: 28% керівників скоротили персонал, а 19% - рівень оплати праці. Негативний вплив на ринок вантажних перевезень мали пошкодження інфраструктури, зокрема станом на кінець 2022 року було зруйновано 25 тис. км доріг і 315 мостів.

Значна мобільність автотранспорту та його незалежність від електропостачання і залізничних колій сприяли активному використанню в умовах війни. Проте загальні обсяги вантажних перевезень значно скоротилися: з березня по серпень 2022 року залізничні перевезення зменшилися майже вдвічі, а автомобільні – в 1,2 рази у порівнянні з аналогічним періодом 2021 року [148].

2.2. Аналітика зовнішніх загроз транспортної системи України, що зумовлені воєнними діями російської федерації

Транспортна інфраструктура стала однією з основних сфер, що постраждали від нападів проти України, під час розгортання повномасштабної війни. По-перше, у перших днях конфлікту, російські війська здійснювали масовані обстріли авіаційної інфраструктури, в тому числі аеродромів, призначених як для військового, так і для цивільного використання [149].

Пізніше об'єктами активних нападів стали залізничні споруди, зокрема, електричні підстанції.

Проте, найбільший вплив на інфраструктуру, як з точки зору кількості руйнувань, так і за оцінками вартості, спостерігався в області дорожньої інфраструктури. Це сталося з різних причин: по-перше, дороги природньо стали об'єктами обстрілу під час артилерійських атак, а по-друге, через активні переміщення російських танків по українських дорогах протягом всього періоду військової агресії.

Автомобільні шляхи відігравали ключову роль у забезпеченні зв'язку між російськими військами в Україні та їхнім забезпеченням на території росії та білорусі. З початком воєнних дій в Україні було пошкоджено 19 аеропортів та цивільних аеродромів, а також принаймні 126 залізничних вокзалів та станцій. За передбаченнями, загальний розмір прямих збитків у транспортній інфраструктурі України склав 36,8 млрд доларів [149, 150].

Збитки автомобільного транспорту України через російську агресію

Аналіз стану доріг, які пошкоджені в результаті обстрілів та проїзду танків, можливий лише шляхом спеціалізованого технічного огляду. Однак у ситуації, коли на значній частині території України тривають активні бойові дії, а деякі дороги та мости перебувають на тимчасово окупованій території після 24 лютого 2022 року, такий аналіз неможливий.

Проте, порівняння карти бойових дій (рис. 2.2.1) з мережею автомобільних доріг (рис. 2.2.2) дозволяє здійснити попередні розрахунки стосовно того, яка орієнтовна довжина доріг зазнала пошкоджень через військові дії, включаючи ракетні обстріли та рух важкої військової техніки.

Дослідження [149] показує, що руйнівний вплив від важкої військової техніки (наприклад, танка) може бути у 2,36 рази вищим, ніж від стандартного навантаження на вісь від цивільного транспорту.

У цьому дослідженні використовувалися дані про танки Т-72, які є досить доброю апроксимацією для умов війни в Україні, оскільки багато танків мають схожі фізичні характеристики або навіть є важчими.

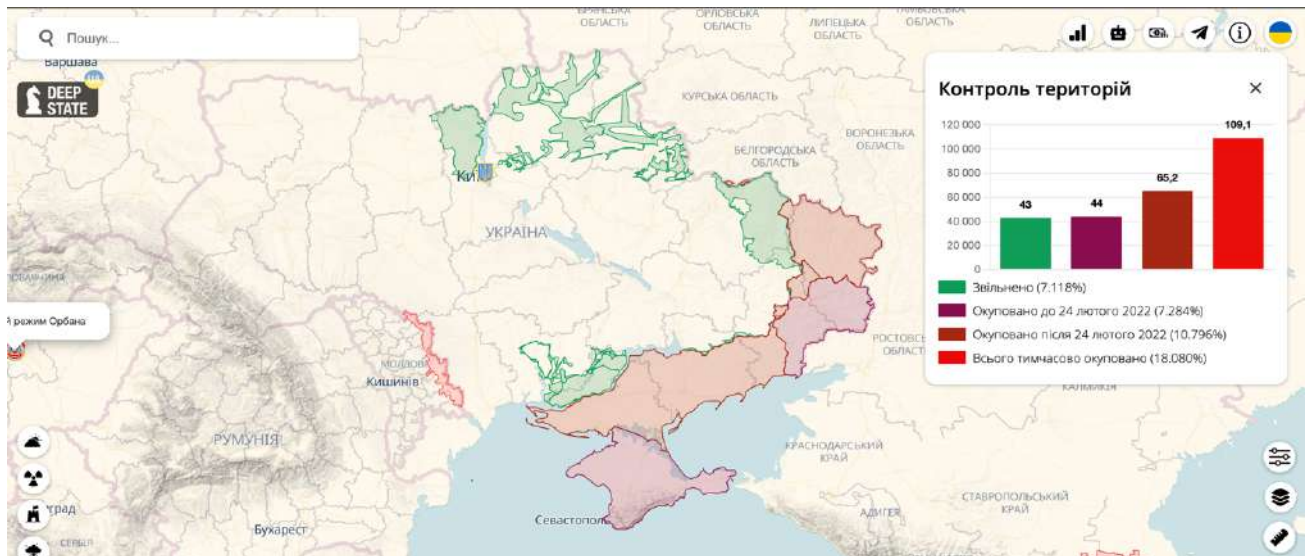


Рис. 2.2.1. Карта бойових дій на території України за аналітичним ресурсом DeepStateMap станом на травень 2024 року.

Джерело: [151].



Рис. 2.2.2. Карта автомобільних доріг державного значення та загального користування.

Джерело: [152].

Поверхневий шар доріг серйозно пошкоджується внаслідок проходження металевих гусениць танків. Крім того, руйнівний вплив від гальмування танка перевищує ефект від маси танка на розтягнення дороги в 2,38 рази.

Не менш важливою є дія вертикальної напруги від танку, яка, згідно з дослідженнями, максимальна на глибині до 3 метрів. Це впливає на руйнування не лише поверхневого шару доріг, а й їхньої структури на більшій глибині.

Оцінка пошкоджень доріг також враховує те, що вартість відновлення одного кілометра дороги в місті зазвичай значно вища, порівняно з дорогами за містом.

Це пояснюється тим, що будівництво доріг у містах передбачає не лише прокладання дорожнього покриття, але й влаштування комунікаційних мереж, тротуарів, освітлення та інших важливих елементів. За попередніми оцінками, загалом внаслідок воєнних дій пошкоджено 25,4 тисячі кілометрів доріг та 344 мости і мостові переходи державного, місцевого або комунального значення (за даними Міністерства Інфраструктури).

Аналіз стану доріг у регіонах, які були окуповані військами РФ або де тривали бойові дії, свідчить про значні руйнування структури доріг внаслідок руху танків та іншої важкої військової техніки, що потребуватиме значної реконструкції пошкоджених доріг.



Рис. 2.2.2. Приклади руйнування інфраструктури автомобільного транспорту за причини російської агресії.

Джерело: [153] та [154].

Попередні оцінки показують [153], що рівень пошкоджень доріг (державного, місцевого та муніципального значення) варіюється від 0% до 95%, і в середньому становив приблизно 10% від загальної кількості доріг у регіонах, де відбувались бойові дії.

За даними Укравтодору [148], середньозважена вартість реконструкції доріг у 2021 році становила приблизно 29 мільйонів гривень за 1 кілометр дороги, враховуючи різні категорії доріг і без урахування вартості відновлення мостових переходів. З урахуванням цієї інформації, попередня оцінка загальних втрат внаслідок прямого руйнування доріг може становити близько 26,7 мільярдів доларів у еквіваленті, на момент кінця 2021 року. Крім того, проведене нами дослідження показало, що внаслідок руйнування Каховської гідроелектростанції затоплено 290,3 кілометри доріг, що збільшує загальну оцінку втрат на 0,3 мільярда доларів. Таким чином, сумарні втрати становлять 27,0 мільярда доларів.



Рис. 2.2.3. Розподіл часток витрат на відновлення доріг України по областях.

Джерело: [149] та [150].

Пошкодження та руйнування мостів і мостових переходів ще призвели до збитків у розмірі 2,6 мільярда доларів по інфраструктурі. Після виникнення війни були проведені окремі роботи з відновлення доріг та мостів. Наприклад, у 2022

році відновлено проїзд по 78 штучних спорудах на дорогах державного значення, з основними обсягами робіт у Київській (20), Чернігівській (20) та Харківській (17) областях. З початку 2023 року було відновлено ще 2 споруди (3 моста перебувають у процесі відновлення).



Рис. 2.2.4. Розподіл часток витрат на відновлення мостів та переправ України по областях, %.

Джерело: [149] та [150].

У 2022 році також було проведено прибирання на 2,2 тисячі кілометрів державних та комунальних доріг, зокрема близько 612 кілометрів у Харківській області, 588 кілометрів у Миколаївській області та 516 кілометрів у Київській області.

Збитки залізничного транспорту України через російську агресію

Під час початку війни українська залізниця виявила свою важливу роль як критична інфраструктура, перебираючи головний удар у безкоштовній евакуації мільйонів українських громадян та численних бізнесів, що опинилися в зоні конфлікту, а також у доставці критично важливих матеріалів та обладнання у ці регіони. У відповідь на це, українська залізниця стала активним об'єктом для російських обстрілів та нападів.



а) знищення рухомого складу Укрзалізниці на Харківщині

б) знищення інфраструктури залізниці на Харківщині

Рис. 2.2.5. Приклади руйнування інфраструктури залізничного транспорту України через російську агресію.

Джерело: [155] та [156].



Рис. 2.2.6. Розподіл часток збитків залізничної інфраструктури України по областях, %.

Джерело: [150].

За даними [150], загальна довжина пошкодженого залізничного полотна оцінюється до 507 кілометрів. Крім того, 126 залізничних вокзалів і станцій зазнали руйнувань, з яких більше половини пошкоджено або знищено на території, що знаходиться під контролем агресора, і решта — на неконтрольованих територіях.

Загалом, у [159] оцінено, що було пошкоджено близько 5,5 тисяч будівель та приблизно 4 тисячі інших споруд, які належать Укрзалізниці. Вважається, що весь рухомий склад Укрзалізниці, який не було вивезено з цих територій вчасно, вважається повністю втраченим через руйнування або захоплення агресором.

Таким чином, загальні збитки у цьому секторі оцінюються на 4,3 мільярда доларів. Додатково, понад 700 кілометрів залізничних колій знаходяться на тимчасово окупованій (після 24 лютого) території.

Збитки авіаційного транспорту України через російську агресію

До початку фактичної війни авіаційна галузь уже почала відчувати втрати через військову агресію. На 12 лютого світові страхові компанії повідомили українських авіаперевізників про те, що вони припиняють страхування літаків через високий ризик вторгнення з боку Росії.



а) знищення інфраструктури аеропорту м. Кривий Ріг



б) знищення повітряного судна АН-225 «Мрія» на Київщині

Рис. 2.2.7. Приклади руйнування інфраструктури авіаційного транспорту України через російську агресію.

Джерело: [158] та [159].

Це створило загрозу для міжнародних авіаперевізників, які могли скасувати свої рейси до України. У зв'язку з цим на робочій нараді з керівництвом Офісу Президента України, Державної авіаційної служби України, Державного підприємства "Украерорух", Державного підприємства "Міжнародного аеропорту "Бориспіль" та українських авіакомпаній було вирішено, що держава надасть додаткові фінансові гарантії для підтримки авіаринку. Після початку бойових дій авіаційний простір над Україною було закрито.

У той самий час російські війська розпочали активні ракетні обстріли всіх важливих аеродромів України з метою знищення її здатності до проведення протиповітряної оборони. Внаслідок цього з 35 аеродромів було пошкоджено 19, з яких 12 були цивільними, а 7 - аеродромами подвійного призначення (не враховуючи військові аеродроми) [162].

Деякі аеродроми були повторно обстріляні. Аналогічно до ситуації з дорогами, детальна інформація про пошкодження та можливості ремонту аеродромів може бути встановлена лише після проведення докладних технічних обстежень.

Щоправда, такі обстеження можуть бути проведені лише після завершення активних бойових дій на або біля аеропортів, зокрема тих, що розташовані в центральній, південній, східній та північній частинах України. За попередніми оцінками, загальний обсяг пошкоджень у сфері авіації (включаючи аеропорти, аеродроми, авіаційну техніку та аеронавігаційне обладнання) становить приблизно 2,04 мільярда доларів. [150].

Збитки морського транспорту України через російську агресію

Загальні збитки у портовій інфраструктурі та суміжних підприємств оцінюються на 0,85 мільярда доларів. Ця оцінка включає в себе інфраструктуру морських портів, а також об'єкти внутрішньо-водного транспорту, які постраждали внаслідок конфлікту.

До загальних збитків також входять втрати, завдані портовій інфраструктурі в результаті аварії на Каховській ГЕС. Загалом, принаймні чотири порти зазнали руйнувань або пошкоджень упродовж війни.

Наприклад, зерновий термінал у порту Миколаєва "Ніка-Тера" був зруйнований, а також термінали "Нібулону" були пошкоджені [159].



Рис. 2.2.8. Статус портів України станом на початок 2024 року.

Джерело: [159].

Помірні пошкодження портів мають два основних обґрунтування.

По-перше, порти є складними та об'ємними структурами, розташованими на великій площі.

Це робить їх непридатними для повного знищення декількома точними ракетними ударами.



Рис. 2.2.9. Руйнування інфраструктури морського транспорту (зернового терміналу) України на Миколаївщині.

Джерело: [160].

По-друге, агресор здійснював захоплення або використання власних та союзних вантажних суден для евакуації запасів зерна, чорних металів та інших товарів. Для цього йому потрібні були функціональні порти. Наприклад, група "Метінвест" повідомляла про плани окупантів вивезти з заводів у Маріуполі 200 тисяч тонн продукції на суму \$170 мільйонів.

Збитки поштових операторів та логістичних компаній України через російську агресію

Загальні прямі втрати поштових операторів оцінюються приблизно в \$13 мільйонів. Ця сума розрахована на основі даних, наданих Укрпоштою та Новою Поштою, які формують значну частку ринку.



а) знищення відділення

Нової Пошти на Харківщині



б) знищення відділення

Укрпошти на Харківщині

Рис. 2.2.10. Приклади руйнування інфраструктури поштових операторів Нова Пошта та Укрпошта через російську агресію.

Джерело: [161] та [162].

Загалом, з початку війни було зруйновано або пошкоджено майно кількох сотень поштових відділень, десятків терміналів та депо, а також транспортних засобів. Більше того, значна кількість посилок також постраждала, і оператори несуть матеріальну відповідальність за ці збитки. Загальна кількісна оцінка збитків транспортній системі України від російської агресії сформована автором на рис. 2.2.1.

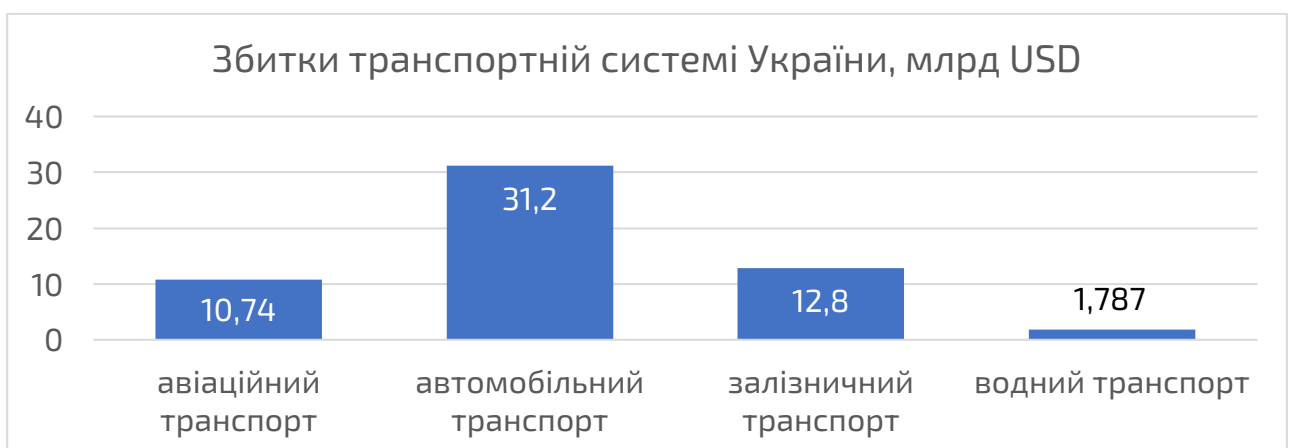


Рис. 2.2.11. Кількісна оцінка збитків, що була завдана транспортній системі України повномасштабним російським вторгненням.

Джерело: сформовано автором за [149-162].

Аналітика даних щодо повітряних тривог на території України

Сигнали тривоги є важливою частиною системи захисту населення від потенційних небезпек, і вони можуть активуватися внаслідок різних подій, таких як природні катастрофи, техногенні аварії або воєнні конфлікти.

Автором було проведено аналіз статистичних даних щодо повітряних тривог на території України, використовуючи відкриту інформацію із засобів масової інформації [163] та інших джерел [164-169]. Як показують дані, найпоширенішими є тривоги, які тривають 30-60 хвилин. Найрідше сирени лунають у неділю, а найчастіше — у четвер [164] (рис. 2.2.12).



Рис. 2.2.12. Найпоширеніший час повітряної тривоги на території України.
Джерело: [165].

Загальну характеристику розподілу тривалості повітряних тривог на території України можна подати на рис. 2.2.13. Загалом, розподіл кількості повітряних тривог на території України подана на рис. 2.2.14.



Рис. 2.2.13. Карта тривалості повітряної тривоги починаючи з 24.02.2022 року за областями України на ресурсі alerts.in.ua.

Джерело: [165].



Рис. 2.2.14. Розподіл кількості повітряних тривог на території України за областями.

Джерело: сформоване автором на базі [164-167].

З аналізу видно, що найчастіше тривоги лунають у Донецькій області (4128), на другому – Харківська (3884), на третьому – Запорізька (3759) [164]. Тоді розподіл кількості повідомлень про вибухи із засобів масової інформації можна подати наступним чином (рис. 2.2.15):

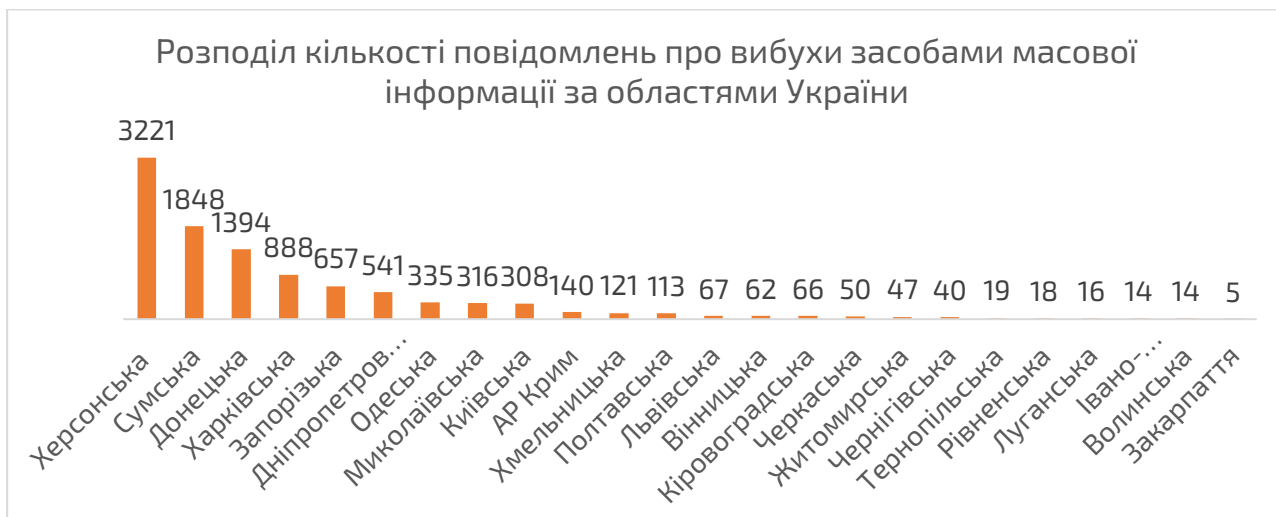


Рис. 2.2.15. Розподіл кількості повідомлень про вибухи на території України за областями із засобів масової інформації.

Джерело: сформоване автором на базі [164-167].

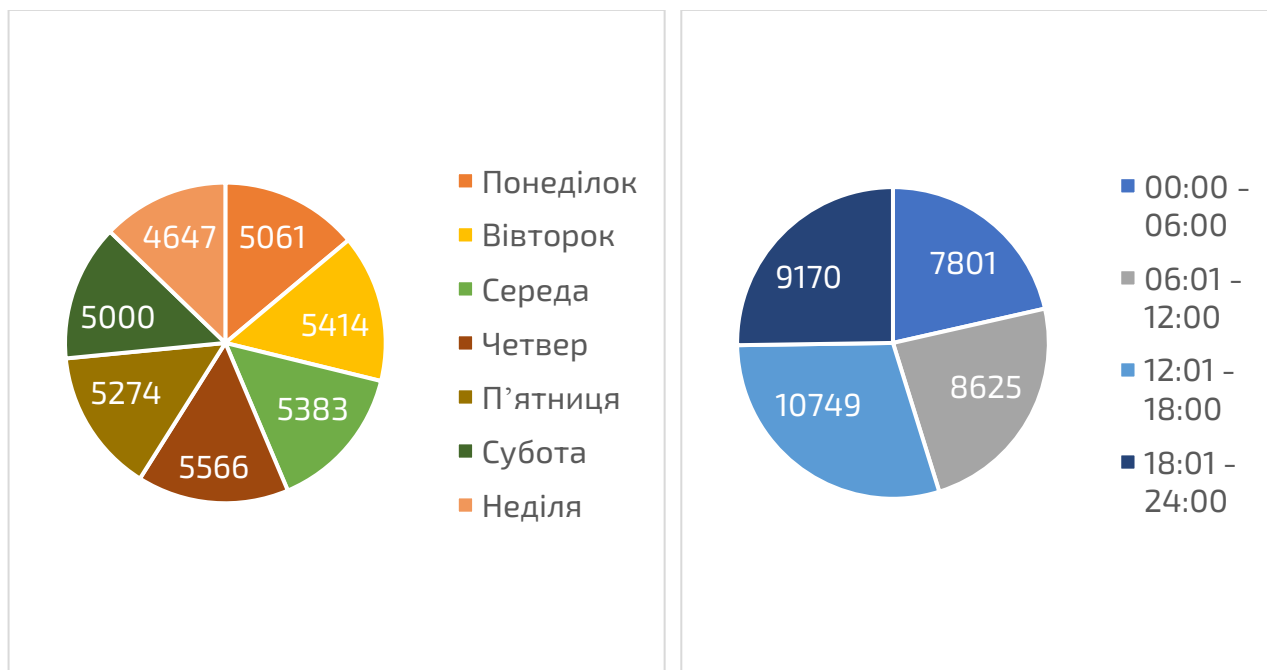
Розподіл кількості загроз артилерійських обстрілів із засобів масової інформації подано на рис. 2.2.16:



Рис. 2.2.16. Розподіл кількості загроз артилерійських обстрілів за областями України із засобів масової інформації.

Джерело: сформоване автором на базі [164-167].

На рис. 2.2.17 можна побачити розподіл кількості повітряних тривог за днями тижня (а) та часом дня (б):



а) розподіл за днями

б) розподіл за годинами

Рис. 2.2.17. Розподіл кількості повітряних тривог на території України за днями тижня (а) та часом дня (б)

Джерело: сформоване автором на базі [167].

Проаналізувавши статистичні дані щодо кількості повітряних тривог (рис. 2.2.14), кількості повідомлень про вибухи у засобах масової інформації (рис. 2.2.15) та кількості можливості артобстрілів, було розроблено ранжування території України на території чотирьох класів (рис. 2.2.18):

- території класу 1 – умовно-безпечна (УБ);
- території класу 2 – небезпечна (Н);
- території класу 3 – середньо-небезпечна (СН);
- території класу 4 – високо-небезпечна (ВН).

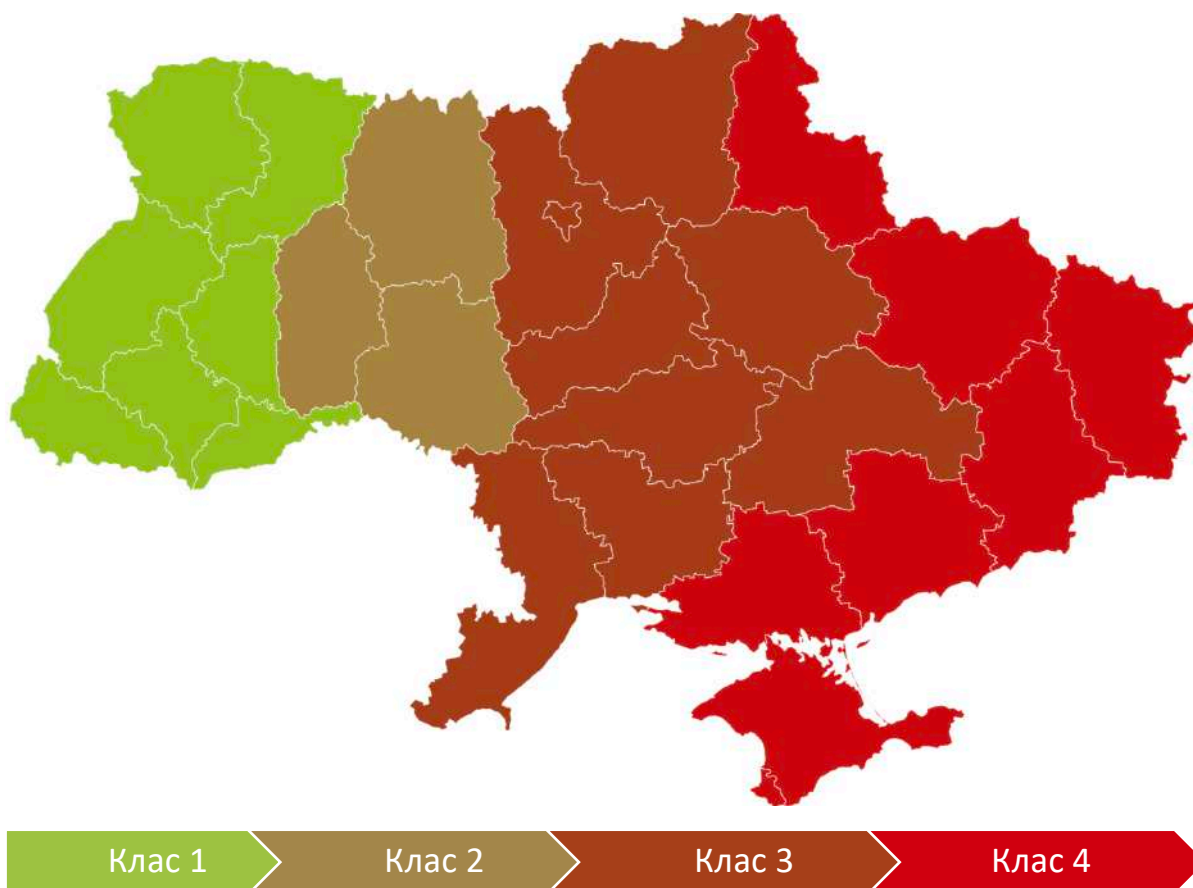


Рис. 2.2.18. Розподіл території України за рівнем загроз

Джерело: сформоване автором на базі [164-167].

Варто зазначити, що при цьому були враховані припущення про недостачу даних оцінки загроз, наприклад, показники Запорізької області досить низькі, бо більша частина її території є окупованою, як, власне, і Луганська.

Також необхідно зазначити, що недоліком такого ранжування є обласний масштаб оцінки загроз. Потенційно, такі недоліки можуть бути виправлені за рахунок розробки ГІС-карти обстрілів території України з більш ґрунтовним аналізом статистики загроз, спричинених війною.

2.3. Дослідження впливу криміногенності зовнішнього середовища на безпеку інфраструктурних об'єктів та концепція «театру безпеки» в транспортних системах

Аналіз описаних у п. 1.4 дисертаційного дослідження підходів до оцінки безпеки в транспортних системах показує, що для типової оцінки рівня безпеки інфраструктурного об'єкту використовується модель, що включає наступне: поверхня атаки, за якими потенційний порушник може здійснити атаку; ризики, які визначаються математичним очікуванням (ймовірністю) реалізації атаки та можливих збитків від неї; моделі порушника. Моделі ж порушників безпеки на транспорті (див. п. 1.4) стверджують про важливість середовища (а саме – його криміногенності), в якому перебуває потенційний злочинець: від кількості насильницьких злочинів до наявності терористичних груп на території. Тут варто зазначити, що концепція тероризму має дуже вузьке поле інтерпретації, тому сьогодні у дослідженнях боротьби з тероризмом вчені використовують термін «насильницький екстремізм», крайньою формою якого є «тероризм» [9]. Термінологія насильницького екстремізму вже була розкрита автором у п.1.4.

З вищевказаного можна зробити висновок про необхідність, по-перше, розглядати термін «насильницький екстремізм» у комплексній моделі транспортної; по-друге, аналізувати потенційних зловмисників (порушників) шляхом оцінки криміногенності району, в якому розташований той чи інший інфраструктурний об'єкт.

Таким чином, автором взято за мету дослідити вплив криміногенності зовнішнього середовища на безпеку інфраструктурних об'єктів, зокрема, на прикладі аеропортів. Результати дослідження були опубліковані у [7].

Спершу, варто зазначити, що під криміногенністю зовнішнього середовища розуміється - це сукупність факторів та умов у навколишньому середовищі інфраструктурного об'єкта, які сприяють виникненню та розвитку злочинної діяльності. Ці фактори можуть включати рівень соціально-економічного розвитку регіону, ефективність правоохоронних органів, наявність соціальних конфліктів, рівень освіченості та зайнятості населення, а також доступність об'єкта для здійснення злочинних дій [169].

Такі показники можуть також використовуватися для оцінки «привабливості» аеропорту для атаки. Крім того, економічні аспекти

залишаються недостатньо дослідженими, наприклад, витрати на служби безпеки аеропорту та їхній вплив на безпеку.

Амстердамський аеропорт Схіпгол (Нідерланди) був використаний для розробки математичної моделі авіаційної безпеки аеропорту, а статистичні дані були отримані з огляду щорічних звітів «Traffic Review» компанії, що володіє аеропортом - Royal Schiphol Group [116-127] (рис. 2.3.1 - 2.3.3).



Рис. 2.3.1. Динаміка кількості оброблених вантажів у Міжнародному аеропорту Схіпгол (Амстердам, Нідерланди), у млн тон.

Джерело: сформоване автором на базі [169-180].



Рис. 2.3.2. Динаміка кількості пасажирів у Міжнародному аеропорту Схіпгол (Амстердам, Нідерланди), у млн.

Джерело: сформоване автором на базі [169-180].

Також у щорічних загальних звітах («Annual Report») Royal Schiphol Group [169-180] були визначені витрати на забезпечення безпеки та кількість актів незаконного втручання (АНВ) у роботу аеропорту, зокрема – незаконне проникнення на злітно-посадкову смугу (рис. 2.3.4 – 2.3.5).



Рис. 2.3.3. Динаміка кількості зльотів та посадок у Міжнародному аеропорту Схіпгол (Амстердам, Нідерланди), у тис.

Джерело: сформоване автором на базі [169-180].

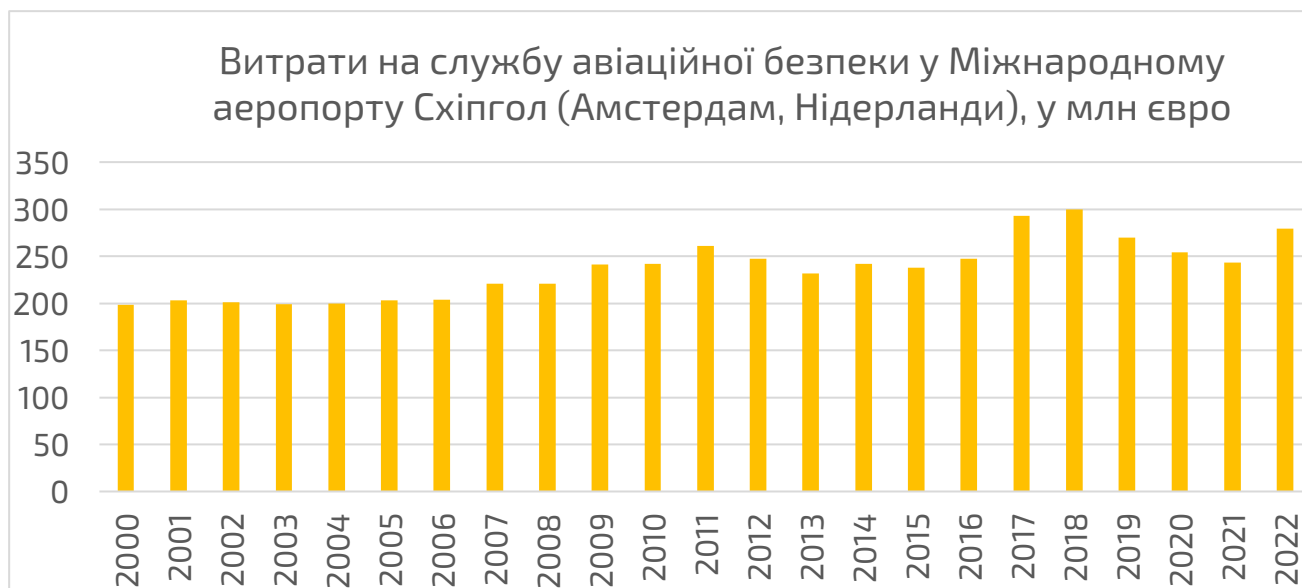


Рис. 2.3.4. Динаміка витрат на службу авіаційної безпеки у Міжнародному аеропорту Схіпгол (Амстердам, Нідерланди), у млн євро.

Джерело: сформоване автором на базі [169-180].



Рис. 2.3.5. Динаміка кількості актів незаконного втручання (проникнення на злітно-посадкову смугу) у Міжнародному аеропорту Схіпгол (Амстердам, Нідерланди).

Джерело: сформоване автором на базі [169-180]

Також було визначено кількість насильницьких злочинів у м. Амстердам, як оцінку криміногенності зовнішнього середовища [128] (рис. 2.3.6).

На основі зібраних даних (рис. 2.3.1 – 2.3.6) була розроблена модель множинної регресії за допомогою програмного забезпечення RStudio.

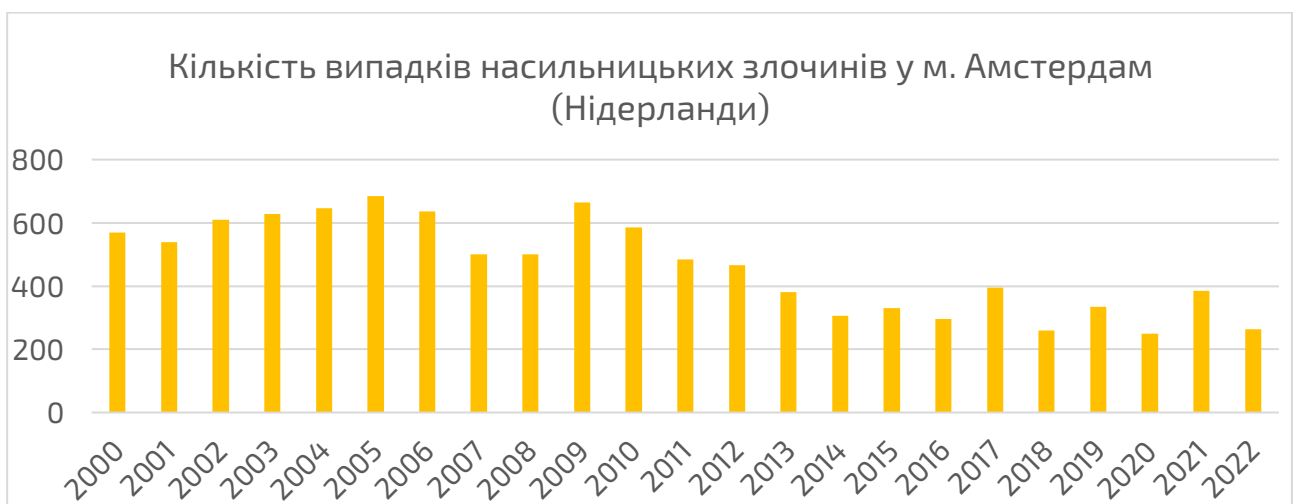
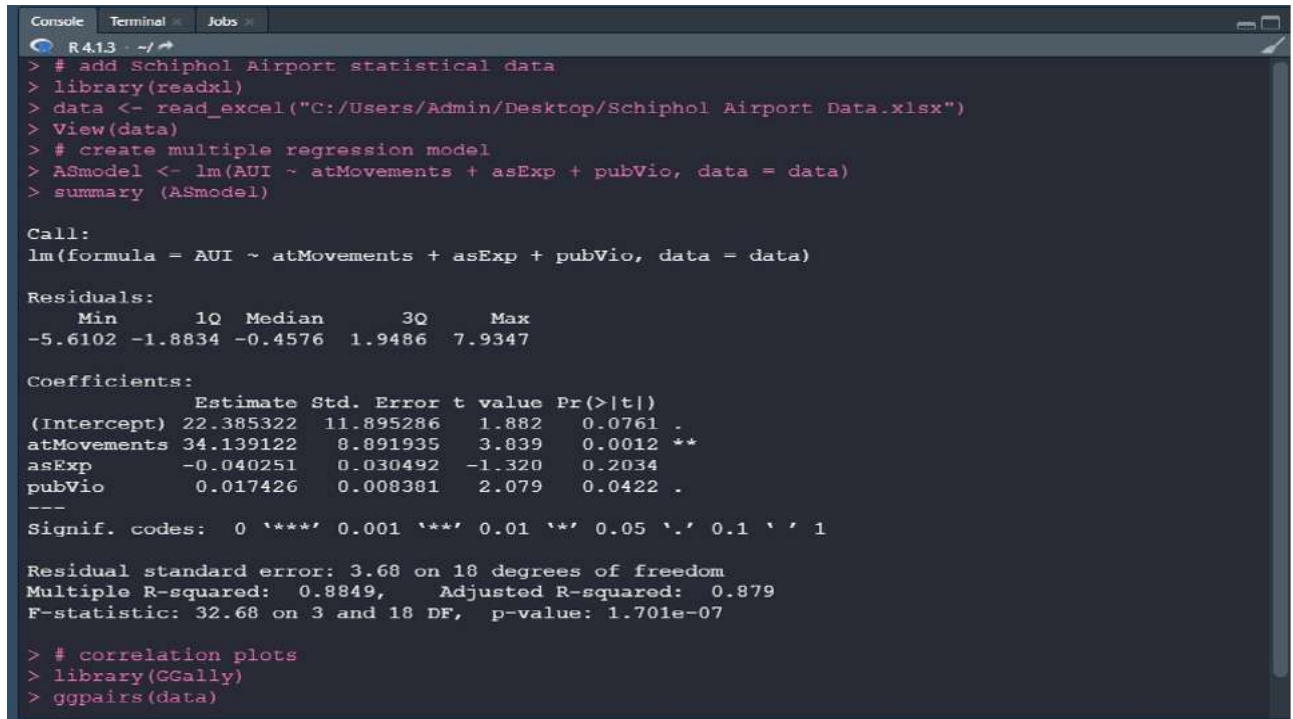


Рис. 2.3.6. Динаміка кількості насильницьких злочинів у м. Амстердам як оцінка криміногенності зовнішнього середовища.

Джерело: сформоване автором на базі [128].

Програмний код та результати моделювання подано на рис. 2.3.7. Варто зазначити, що для вирішення проблеми мультиколінеарності, у модель не були включені пасажиро- та вантажопотоки, лише кількість зльотів та посадок.



```
R 4.1.3 ~ /
> # add Schiphol Airport statistical data
> library(readxl)
> data <- read_excel("C:/Users/Admin/Desktop/Schiphol Airport Data.xlsx")
> View(data)
> # create multiple regression model
> ASmodel <- lm(AUI ~ atMovements + asExp + pubVio, data = data)
> summary (ASmodel)

Call:
lm(formula = AUI ~ atMovements + asExp + pubVio, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.6102 -1.8834 -0.4576  1.9486  7.9347

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  22.385322   11.895286   1.882  0.0761 .
atMovements  34.139122    8.891935   3.839  0.0012 **
asExp        -0.040251    0.030492  -1.320  0.2034 .
pubVio        0.017426    0.008381   2.079  0.0422 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.68 on 18 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8849,    Adjusted R-squared:  0.879
F-statistic: 32.68 on 3 and 18 DF,  p-value: 1.701e-07

> # correlation plots
> library(GGally)
> ggpairs(data)
```

Рис. 2.3.7. Програмний код та результати розробки моделі множинної лінійної регресії у програмному середовищі RStudio.

Джерело: сформоване автором у програмному продукті RStudio.

Результати можна інтерпретувати наступним чином:

- скоригований коефіцієнт детермінації R^2 , який характеризує точність моделі, становить 0,879 ($> 0,85$), що є помірним, але допустимим значенням;
- існує позитивна кореляція між кількістю актів незаконного втручання (АНВ) та кількістю зльотів та посадок; значущість є високою (p – значення = $0,0012 < 0,05$); це означає, що кожні 100 000 операцій призводять до збільшення кількості АНВ на +3,4;
- негативна кореляція між кількістю АНВ та витратами на авіаційну безпеку; значущість досить низька (p – значення = $0,2034$); це означає, що кожні

1 000 000 євро, витрачені на безпеку, призводять до зменшення кількості АНВ на $-0,04$; низька значущість може бути пояснена в контексті «театру безпеки»;

- позитивна кореляція між кількістю АНВ та кількістю випадків насильницьких злочинів; значущість є досить високою (p – значення = $0,0422$); це означає, що зі збільшенням рівня криміногенності кількість АНВ зростає на $+0,017$.

Графіки кореляцій подано на рис. 2.3.8:

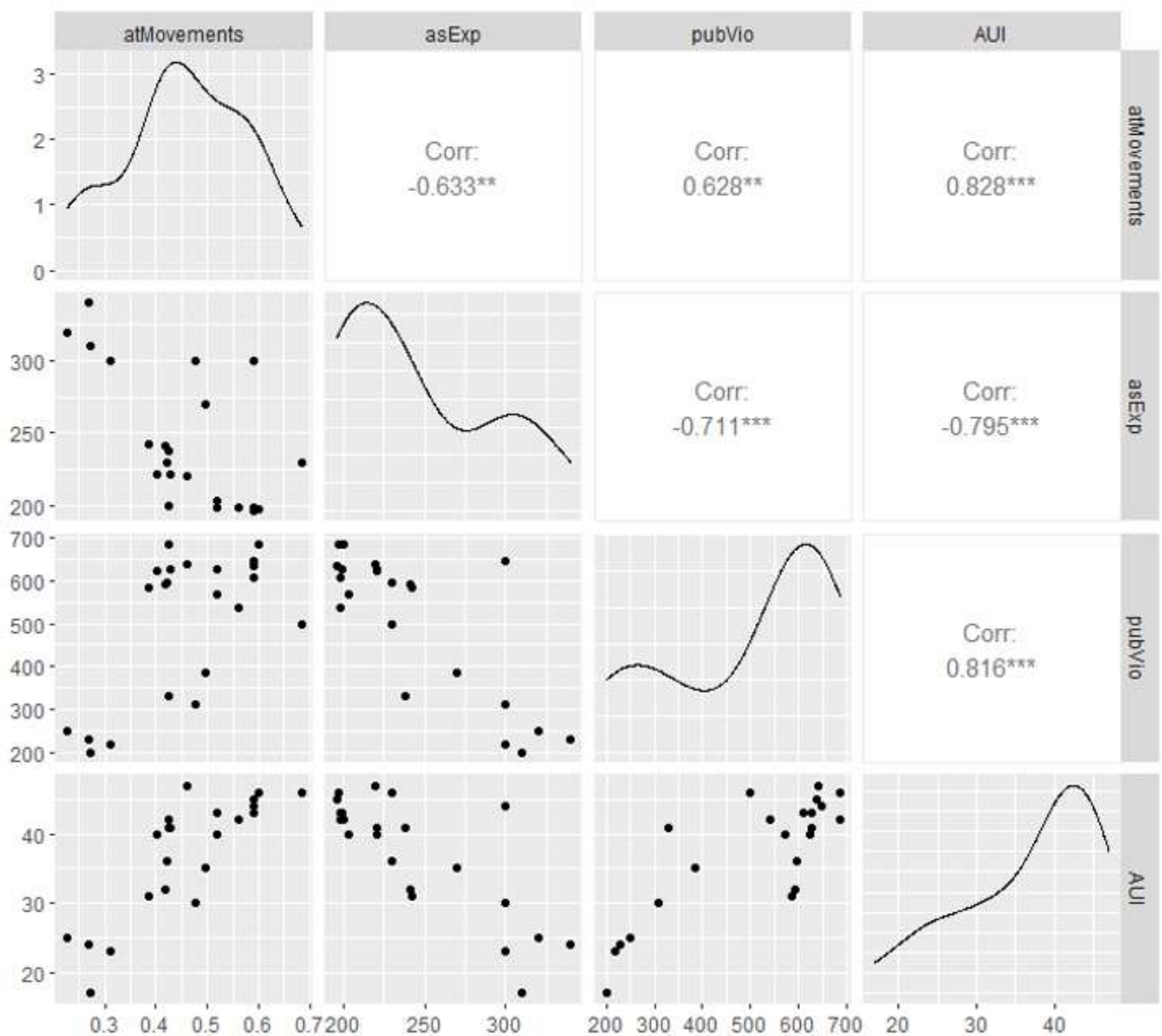


Рис. 2.3.8. Кореляція факторів множинної моделі лінійної регресії у програмному середовищі RStudio.

Джерело: сформоване автором у програмному продукті RStudio.

Розроблену модель можна подати у математичному вигляді:

$$AS_{Schiphol} = 22,3853 + 34,1391 \cdot \alpha - 0,0402 \cdot \beta + 0,0174 \cdot \gamma \quad (2.3.1)$$

де $AS_{Schiphol}$ – кількість АНВ у Міжнародному аеропорту Схіпгол (Амстердам, Нідерланди); α – кількість зльотів та посадок у аеропорті, у млн; β – витрати на службу авіаційної безпеки, у млн євро; γ – криміногенність м. Амстердам;

Аналогічно було проведено дослідження впливу криміногенності зовнішнього середовища у інших транспортних вузлах (див. табл. 2.3.1). Варто зазначити, що в контексті даної роботи основний фокус робиться не на фактичну модель, а на доказовість припущення про істотний вплив показника криміногенності на безпеку інфраструктурних транспортних об'єктів.

Таблиця 2.3.1. Визначення впливу фактору криміногенності зовнішнього середовища на авіаційну безпеку аеропорту на базі результатів створення простої лінійної регресії

№	Аеропорт	Показник криміногенності	Точність моделі
1	Міжнародний аеропорт Схіпгол (м. Амстердам, Нідерланди)	$p = 0,0422 < 0,05$	$R^2 = 0,879$
2	Міжнародний аеропорт Ліма ім. Хорхе Чавеса (м. Ліма, Перу)	$p = 0,0501 \approx 0,05$	$R^2 = 0,836$
3	Міжнародний аеропорт Афіні ім. Елефтеріуса Венізелоса	$p = 0,0623 > 0,05$	$R^2 = 0,883$
4	Міжнародний морський порт Нью-Йорку та Нью-Джерсі	$p = 0,0491 < 0,05$	$R^2 = 0,863$
5	Міжнародний морський порт Роттердам	$p = 0,0382 < 0,05$	$R^2 = 0,92$

Джерело: складено автором на основі [169-180], [182]

Результати показують, що кількість АНВ у 3 з 5 транспортних вузлів точно має кореляцію із фактором криміногенності зовнішнього середовища. Коефіцієнт значущості фактору криміногенності для Міжнародного аеропорту Ліма ім. Хорхе Чавеса (м. Ліма, Перу) має перехідне значення.

Очевидно, що такі моделі мають певні недоліки, а саме:

- проблема локального оптимуму, яка може бути виправлена у подальших дослідженнях шляхом розробки багаторівневої моделі, що включає показники всіх аеропортів (і більшої кількості);

- точність моделі можна підвищити шляхом збільшення вибірки статистичних даних, зокрема, щодо актів незаконного втручання;

- потенційно, такі показники, як ризик, людські та матеріальні ресурси, призначені для захисту інфраструктури цивільної авіації, можуть бути додані до моделі для покращення точності.

Концепція театру «театру безпеки» в системах забезпечення транспортної безпеки

Брюс Шнайер - американський криптограф і фахівець з комп'ютерної безпеки – писав [183]: «Якщо ми ставимо перед собою завдання захищати транспорт від минулих атак, то можна сказати, що ми успішно досягли цієї мети».

Під *театром безпеки* розуміється явище в суспільстві, коли метою заходів, що проводяться, є підвищення безпеки, але за фактом не робиться нічого для її досягнення [184]. Театр безпеки зазвичай запроваджує обмеження або змушує користувачів транспортних послуг проходити процедури, які можуть бути розглянуті як втручання у особисту свободу та приватне життя. Оскільки заходи безпеки часто є вузькими та специфічними (наприклад, зосереджуються лише на огляді ручної поклажі або забороняють провезення певних предметів), вони дозволяють потенційним зловмисникам знайти інші методи атаки (наприклад, заховати заборонений пристрій під одягом, куди не проводиться огляд).

Концепція «театру безпеки» піднімає три основні безпекові проблеми на інфраструктурних об'єктах [4]:

1. *Проблема 1:* театр безпеки часто суперечить реальним вимогам безпеки, таким як пожежна чи епідеміологічна безпека. Багато інфраструктурних об'єктів (наприклад, залізничні вокзали чи аеропорти) не були спроектовані з урахуванням побудови «лабіринтів» із загороджень та контрольних пунктів. Наприклад, візьмемо арочні металодетектори, їх головною метою є уникнення проникнення терористів у місця, де збирається багато людей, та запобігання атак на об'єкти інфраструктури. Однак у реальності це часто призводить до зниження пропускної здатності громадських місць, затримує людей і змушує їх стояти в тісних чергах, що може бути особливо небезпечно в період епідемій. Натовп, що збирається перед арочними металодетекторами, може сам стати мішенню для терористичних атак. За соціологом Гарві Молотчем [186]: «Металошукачі, охоронці та огляди на вході — це показові заходи, спрямовані на створення відчуття спокою і ілюзії безпеки. Створення видимості боротьби з тероризмом в аеропортах, вокзалах та інших об'єктах інфраструктури є легшим, ніж у будь-яких інших місцях».

2. *Проблема 2:* проблема локального оптимума. Два дослідження, проведені групою дослідників Корнельського університету [4], показали, що посилення заходів безпеки в аеропортах США після терактів 11 вересня 2001 року призвело до збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод. Багато потенційних пасажирів відмовилися від авіаперельотів на користь наземного транспорту, частіше обираючи автомобілі, що підвищило їхній ризик загибелі в автокатастрофах. У 2005 році дослідники виявили, що зміна способів пересування призвела до 242 додаткових смертельних випадків на місяць через автокатастрофи, що еквівалентно «катастрофі чотирьох повністю завантажених Boeing 737 щороку» [4].

3. *Проблема 3:* оцінка користі та ефективності безпеки потребує реальних фінансових витрат, але важливо оцінити, наскільки ці заходи ефективні. Логічно припустити, що ефективність може бути оцінена за

наступними показниками: зменшення кількості інцидентів (наприклад, незаконного втручання, терористичних актів, перевезення заборонених товарів, таких як зброя або наркотики) та збільшення кількості порушників, затриманих «на місці злочину». Однак, варто зазначити, що це може бути фундаментальною помилкою атрибуції, коли не враховуються зовнішні чинники, такі як «привабливість» аеропорту чи вокзалу, наявність терористичних груп у країні, дані розвідки, СБУ та МВС, а також підвищена пильність населення.

Протягом 2010-2020 років були проведені дослідження щодо роботи аеропортів США, що показали наступні результати:

- немає жодних свідчень того, що САБ (Служба авіаційної безпеки) змогла зупинити хоча б одного терориста [187];
- служба національної безпеки США провела перевірку в аеропорту; у 95% випадків САБ не змогла виявити вибухові речовини, зброю та інше [185];
- потреба в огляді багатьох пасажирів, постійне зростання кількості процедур та уважність до всіх деталей призводить до розсіювання уваги співробітників служб безпеки [188].

Театр безпеки підкреслює важливість балансу між видимими та ефективними заходами безпеки. Хоча психологічний аспект безпеки є важливим для громадського спокою, справжня безпека повинна базуватися на науково обґрунтованих та перевірених заходах, які адекватно реагують на реальні загрози. У транспортній сфері це означає, що стратегії повинні включати як інженерні рішення, так і ефективний менеджмент ризиків, щоб забезпечити дійсно надійний захист інфраструктури, пасажирів та довкілля.

2.4. Висновки до розділу 2

Повномасштабне вторгнення росії в Україну, яке розпочалося в лютому 2022 року, суттєво вплинуло на світові вантажні перевезення. Україна, розташована на важливому транзитному шляху між Європою та Азією, зазнала значних економічних і логістичних змін через цей конфлікт. Порушення

транспортних коридорів, санкції проти росії, перебої в роботі українських портів, авіаційних і залізничних перевезень створили нові виклики та ризики для міжнародної логістики.

У цьому розділі автор дослідив вплив війни в Україні на вантажні перевезення, зосереджуючись на ключових змінах у транспортних маршрутах, обсягах перевезень та логістичних витратах. Розглянуто основні напрямки впливу, зокрема морські, залізничні, автомобільні та авіаційні перевезення.

Аналіз галузі *авіаційних перевезень* показав, що після вторгнення росії в Україну 24 лютого 2022 року світова авіаційна індустрія, яка вже почала відновлюватися після кризи, спричиненої пандемією COVID-19, знову зіткнулася з новими викликами. Цей конфлікт вповільнив темпи росту ключових показників ефективності як окремих авіакомпаній, так і галузі в цілому, зокрема в Європі. Хоча росія та Україна становлять відносно невелику частку у світовому авіаційному трафіку, військовий конфлікт та пов'язані з ним санкції негативно позначилися на діяльності авіакомпаній, особливо тих, які обслуговують пасажирські та вантажні маршрути між Європою і Азією, Північною Америкою і Азією, а також Північною Америкою і Близьким Сходом.

Розроблена математична модель на основі часових рядів демонструє спад на СТК до кінця 2030 року (порівняно з 2021 роком) за трьома сценаріями: за оптимістичним сценарієм на 1,35%; за реалістичним сценарієм на 6,67%; за песимістичним сценарієм на 11,98%.

Аналіз галузі *морських перевезень* показав, що війна в Україні суттєво вплинула на глобальні обсяги морських вантажних перевезень, викликаючи широкі наслідки для міжнародної торгівлі та логістичних ланцюгів. Запроваджені санкції та обмеження внаслідок конфлікту призвели до змін у торговельних потоках, перерозподілу вантажів і зміни маршрутів доставки. Одним з ключових аспектів впливу війни на морські перевезення є зміна географії торгівлі. Закриття певних портів та маршрутів через регіон конфлікту призводить до перегляду шляхів та вибору альтернативних маршрутів, що може призвести до збільшення або зменшення обсягів перевезень через інші регіони

та порти. Крім того, війна спричинила зміну вартості та умов перевезень. Санкції та нестабільність в регіоні призвели до зростання ризиків для морських перевізників та збільшення їхніх витрат на забезпечення безпеки та виконання нових вимог.

Аналіз галузі *залізничних перевезень* показав, що напрями перевезень зазнали змін: частка імпорتنих вантажів знизилася до 6% замість попередніх 14%, транзиту - до 1% замість 5%. Частка експорту скоротилася з 40% до 37%, тоді як внутрішні перевезення зросли з 42% до 56%.

Аналіз галузі *автомобільних перевезень* також показав значний вплив повномасштабного вторгнення. Альтернативне транспортне сполучення з Європейським союзом через наземний транспорт, так само як і логістичні хаби, не впоралося з різким зростанням навантаження на транспортну інфраструктуру.

Також автором дисертаційного дослідження було проаналізовано вплив криміногенності зовнішнього середовища транспортного вузла на кількість актів незаконного втручання. Розроблена множинна модель лінійної регресії підтвердила гіпотезу про істотний вплив даного фактор безпеку – в даному випадку – аеропорту.

Досліджено поняття *театру безпеки*, яке відображає явище в суспільстві, коли заходи, спрямовані на підвищення безпеки, фактично не призводять до досягнення цієї мети. Зазвичай такі заходи включають обмеження або процедури перевірок для користувачів транспортних послуг, які можуть розглядатися як порушення особистої свободи та приватного життя.

Також автором дисертаційного дослідження було проаналізовано статистичні дані щодо повітряних тривог на території України, використовуючи відкриту інформацію із засобів масової інформації. За результатами аналізу було сформоване ранжування території України за рівнем загроз: зона 1 – умовно-безпечна (УБ); зона 2 – мало-безпечна (МБ); зона 3 – небезпечна (Н); зона 4 – середньо-небезпечна (СН); зона 5 – високо-небезпечна (ВН).

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ІНТЕГРОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

3.1. Загальна характеристика розробленої моделі комплексної оцінки транспортної безпеки інтегрованих систем перевезення вантажів

Беручи до уваги особливості функціонування інтегрованих транспортних систем (див. п. 1.2) та визначені недоліки у вже існуючих способах оцінки безпеки на різних видах транспорту (див. п. 1.5), автором дисертаційного дослідження було розроблено модель комплексної оцінки транспортної безпеки інтегрованих систем перевезення вантажів для побудови оптимальних – з точки зору безпеки – маршрутів, яка містить у собі:

- модель оцінки надійності (K_n) транспортного вузла (TH_n). Для розрахунку цього параметру буде використана теорія надійності (див. п. 3.2), а основними показниками будуть розглянуті: функція готовності ($K_r(t) = p_0(t)$), яка визначає працездатність систем забезпечення безпеки у часі t ; коефіцієнт готовності (K_r), що відображає середнє значення працездатності системи забезпечення безпеки; напрацювання на відмову (T), яке представляє собою середній час між відмовами; середній час, який необхідний для відновлення системи (T_B); параметр потоку відмов ($\omega(t)$).

- модель оцінки загрози зовнішнього середовища (W_n) транспортного вузла (TH_n). Для розрахунку цього параметру буде розроблений інтелектуальний класифікатор оцінки зовнішніх загроз ІКОЗЗ (див. п. 3.3) за допомогою нечіткої логіки. В такому контексті будуть використані набори статистичних даних зовнішніх загроз (D_n - відстані від лінії розмежування зони бойових дій; C_n - криміногенність території, на якій розташований транспортний вузол) та досвід експертів у транспортній галузі. Під останніми розуміються фахівці, які мають великий досвід та кваліфікацію в організації та забезпеченні всіх етапів як міжнародного, так і прифронтового перевезення вантажів.

- модель вибору оптимального транспортного вузла (TH_{opt_n}) з урахуванням оцінки його безпеки буде здійснюватися за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті (див. п. 3.5) на основі вже розроблених моделей оцінки надійності (K_n) та загрози зовнішнього середовища (W_n) транспортного вузла (TH_n). При цьому варто зазначити, що дана модель буде включати в себе час (T_n) та витрати (C_n), необхідні на обробку вантажів у транспортному вузлі.

- так як однією з ключових особливостей інтегрованих систем перевезення є можливість доставки вантажів в один транспортний вузол за допомогою декількох видів транспорту, то наступним етапом в розробці моделі комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем є оцінка ризиків настання надзвичайних ситуацій на маршрутах (R_m). У п. 3.4 подано модифіковану модель оцінки ризику, який складається з таких показників: середньозважена ймовірність (P_j) очікування виникнення надзвичайних подій; інтенсивність настання надзвичайних подій ($\gamma_{(B|A_j^i)}$) та сукупна оцінка ймовірності настання надзвичайної ситуації $R(B)$.

- модель вибору оптимального маршруту перевезення (TR_{optn}) з урахуванням оцінки його безпеки буде здійснюватися за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті (див. п. 3.5) на основі вже розробленої моделі оцінки ризику настання надзвичайних ситуацій (R_m). При цьому варто зазначити, що дана модель буде включати в себе час (T_m) та витрати (C_m), необхідні на фактичне перевезення вантажів у транспортному вузлі.

Розроблену модель комплексної оцінки транспортної безпеки в інтегрованих системах перевезення вантажів, яка складається з оцінки надійності транспортного вузла, оцінки загроз зовнішнього середовища транспортного вузла та ризику настання надзвичайних ситуацій під час перевезення на маршруті можна подати у вигляді графа (рис. 3.1.1):

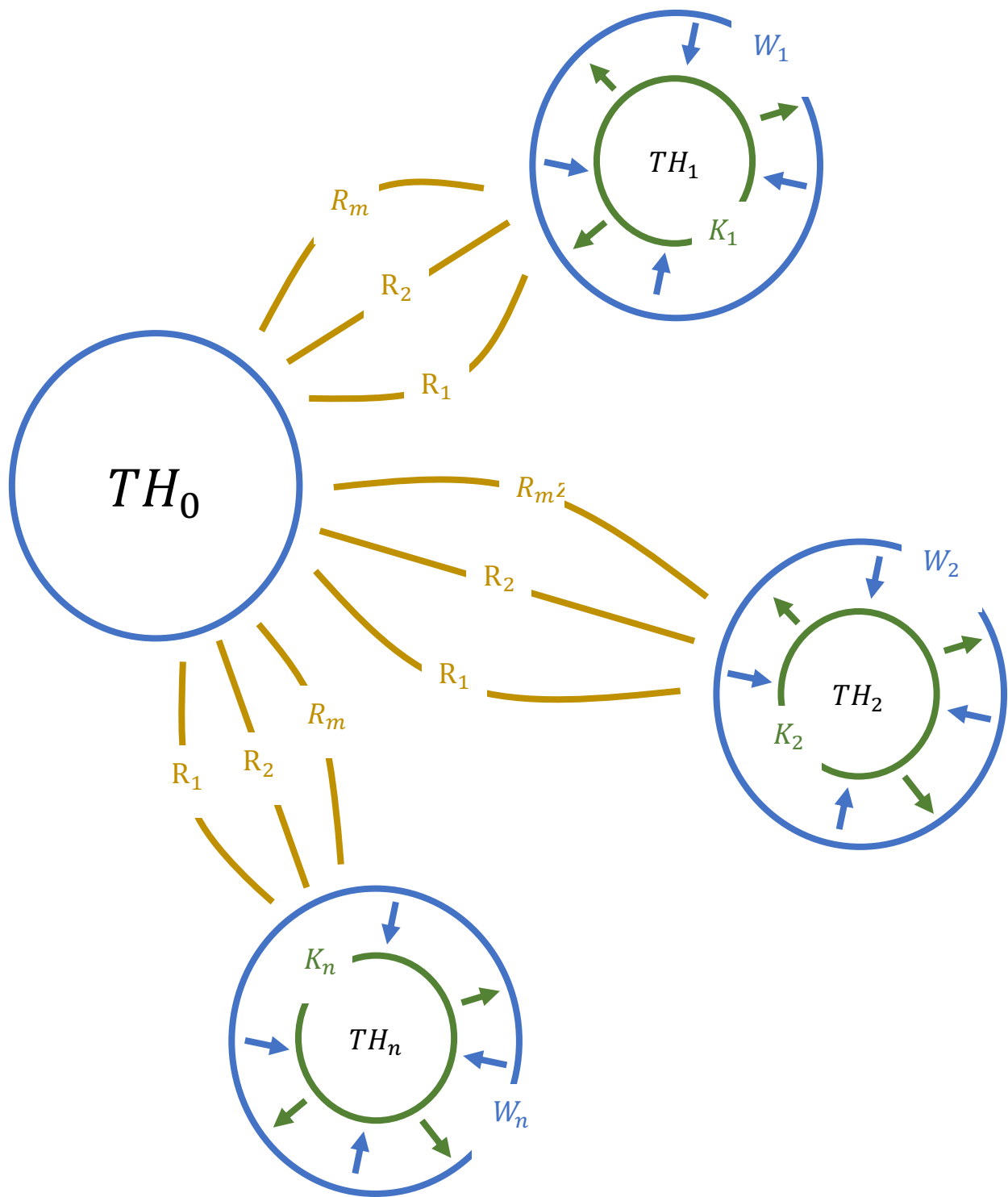


Рис. 3.1.1. Граф комплексної оцінки транспортної безпеки в інтегрованих системах перевезення вантажів

Джерело: сформовано автором

Практичне застосування описаної методики дозволяє ще на етапі проектування транспортно-технологічних схем (ТТС) інтегрованих перевезень

оцінити альтернативні варіанти та розробити найбільш безпечний маршрут, забезпечуючи комплексну транспортну безпеку.

3.2. Розробка моделі оцінки надійності транспортного вузла в інтегрованій системі перевезення вантажів

Оцінка надійності транспортних вузлів у контексті перевезень в умовах війни відіграє визначальну роль у забезпеченні безперебійності логістичних ланцюгів. Умови воєнного конфлікту можуть створити значні виклики для функціонування транспортної інфраструктури, включаючи можливість атак на транспортні маршрути, інфраструктуру та транспортні засоби. Тому важливо мати чітке розуміння надійності транспортних вузлів під час воєнних дій.

Забезпечення функціональної готовності цих вузлів вимагає ретельного оцінювання та прийняття відповідних заходів з підвищення їх надійності, що може сприяти забезпеченню успішності та ефективності логістичних операцій у найскладніших умовах.

Теорія надійності – це наукова дисципліна, яка досліджує закономірності відмов та збоїв у роботі технічних систем. Її метою є розробка методів та принципів, що дозволяють створювати та експлуатувати техніку з максимальною стійкістю до несприятливих факторів та зносу [212]. Теорія надійності – це наука, що динамічно розвивається та постійно вдосконалюється, адаптується до нових викликів. Її застосування стає все більш важливим у міру зростання складності та відповідальності систем, що використовуються в сучасному світі.

Вивчення теоретичних основ дисертаційного дослідження (див. Розділ 1) та їх можливе застосування до технічно-соціальних систем обіцяє цікаві результати. Очевидно, що елементи технічних систем і соціально-технічних систем відрізняються за своєю природою, властивостями та взаємозв'язками. Проте стверджувати про неможливість знайти аналогії для певних характеристик

надійності без проведення вивчення та досліджень на сьогоднішній день необґрунтовано.

Сучасна інтерпретація класичної теорії надійності досить комплексна, в основному через широке застосування математики та інформаційних технологій для вирішення складних завдань. Процеси, пов'язані з відмовами різних підсистем у системах безпеки, представляють собою складні випадкові явища. Їх моделювання потребує побудови та розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь високого порядку. Результати такого розв'язання виражаються у показниках надійності з ймовірнісним змістом, що ускладнює їх інтерпретацію.

Основні напрямки досліджень у теорії надійності [213]:

- визначення критеріїв надійності: набору характеристик, що описують здатність технічної системи виконувати свої функції протягом певного часу в заданих умовах;
- аналіз надійності: методи оцінки ймовірності відмов та збоїв у роботі технічних систем;
- синтез надійних систем: проектування технічних систем з урахуванням вимог до їх надійності;
- забезпечення та підвищення надійності: методи та засоби, що дозволяють гарантувати стійкість техніки до несприятливих факторів;
- наукові методи експлуатації: принципи та правила використання техніки, що сприяють її безперебійній роботі;

Надійність систем забезпечення безпеки у транспортному вузлі залежить від багатьох чинників; критерії та показники надійності встановлюються залежно від виду техніки та її застосування; забезпечення надійності під час експлуатації визначається дисципліною обслуговування, кваліфікацією обслуговуючого персоналу, економічними вимогами. Звідси зрозуміло, що система забезпечення безпеки у транспортному вузлі з погляду надійності є об'єктом системного аналізу.

Будь-яка наука розвивається з основних понять і визначень. У теорії надійності такими поняттями є "надійність" та "відмова" [213].

Надійністю називається властивість технічного об'єкта зберігати свої характеристики (параметри) в певних межах за визначених умов експлуатації. З цього визначення випливає, що надійність — це об'єктивне поняття, незалежне від нашого свідомості [213].

Відмовою називається подія, після виникнення якої характеристики технічного об'єкта (параметри) виходять за допустимі межі. За типом відмови можна виділити:

- відмови функціонування, при яких припиняється виконання об'єктом основних функцій;
- параметричні відмови, при яких параметри об'єкта змінюються у недопустимих межах.

За своєю природою відмови можуть бути [214]:

- випадковими, зумовленими непередбаченими перевантаженнями, дефектами матеріалу, помилками персоналу, відмовами системи керування тощо;
- систематичними, зумовленими закономірними явищами, що викликають поступове накопичення пошкоджень: втомою, зносом, старінням, корозією матеріалів, тощо.

Основними ознаками класифікації відмов є [214]:

- їх характер;
- причина їх виникнення;
- їх наслідки;
- ступінь легкості виявлення;
- час.

Технічні системи можуть бути невідновлюваними і відновлюваними, працездатними протягом тривалого і короткого часу роботи, резервованими і нерезервованими [189].

Система називається *невідновлюваною*, якщо її відмова призводить до наслідків і систему неможливо використовувати за призначенням. Робота після відмови невідновлюваної системи вважається неможливою або нецільовою. Під

відновлюваною розуміється система, яка може продовжувати виконання своїх функцій після усунення відмови, що призвела до припинення її функціонування. Тоді під відновленням розуміється не тільки ремонт тих або інших елементів системи, а також повна заміна відмовних елементів на нові. Існують також системи змішаного типу, у яких частина елементів може відновлюватися, а інша - ні.

Резервуванням називають спосіб підвищення надійності шляхом включення резервних одиниць, які в разі відмови основного пристрою можуть виконувати його функції [215].

Таким чином, проаналізувавши сучасні засади теорії надійності [212-218] та систем, які забезпечують безпеку вантажів у транспортних вузлах [див. Розділ 2], автор дисертаційного дослідження вважає за доцільним розглядати такі системи як *нерезервовані відновлювальні*.

Основними відмінностями *відновлюваних систем* у порівнянні з *невідновлюваними* є:

- велика кількість станів;
- наявність наслідків відмов елементів;
- залежність показників надійності від великої кількості факторів (інтенсивності відновлення, дисципліни обслуговування).

Розрахунок показників надійності *відновлюваних систем* є складнішою задачею, ніж для *невідновлюваних*. Інженерні методи існують лише для випадку експоненціальних законів розподілу часу безвідмовної роботи і часу відновлення.

Для *нерезервованої відновлювальної системи*, головними показниками, що описують її надійність є:

- функція готовності ($K_r(t) = p_0(t)$), яка визначає працездатність системи у будь-який момент часу t ;
- коефіцієнт готовності (K_r), що відображає середнє значення працездатності системи;

- напрацювання на відмову (T), яке представляє собою середньозважений час між двома відмовами;

- середній час, який необхідний на відновлення системи (T_B);

- параметр потоку відмов ($\omega(t)$).

Математичною моделлю функціонування системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі з точки зору його надійності є наступна система диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda_c p_0(t) + \sum_{i=1}^n \mu_i p_i(t); \\ \frac{dp_i(t)}{dt} = -\lambda_i p_0(t) - \mu_i p_i(t), i = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (3.2.1)$$

де λ_c – інтенсивність відмови системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі.

При цьому:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.2.2)$$

де λ_i – інтенсивність відмови системи елементу i системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі.

Рішення таких систем рівнянь зазвичай виконується при наступних умовах:

$$p_0(0) = 1; p_1(0) = p_2(0) = \dots = p_n(0) = 0 \quad (3.2.3)$$

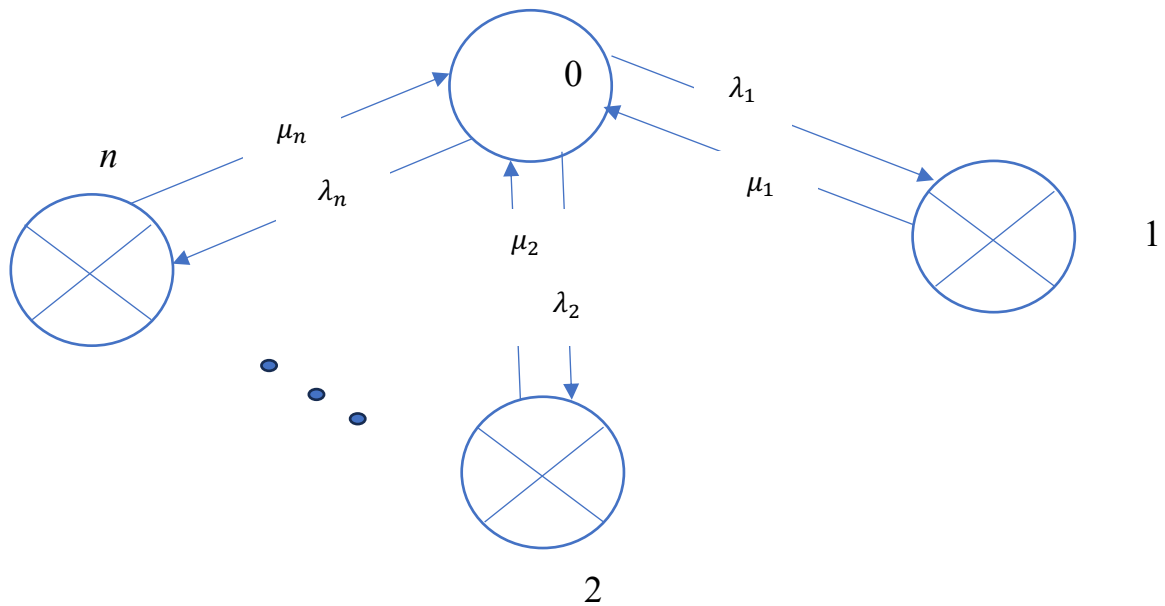


Рис. 3.2.1. Граф стану забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі як нерезервованої відновлювальної системи з основним з'єднанням елементів
Джерело: сформовано автором

Показники надійності системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі, такі як: функція готовності, коефіцієнт готовності, напрацювання на відмову та середній час відновлення, можуть бути отримані з системи (3.2.1) у аналітичному вигляді. Однак найпростіше отримати їх безпосередньо з графа станів за допомогою топологічного методу.

Граф стану системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі, яка складається з n елементів, подано на рис. 3.2.1.

Коефіцієнт готовності ($K_r(t)$) системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі є фінальною ймовірністю того, що система є справною у довільний момент часу t . На графі (див. рис. 3.2.1) це стан позначений цифрою 0. Отже, $K_r = p_0$. Тоді:

$$p_0 = K_r = \frac{\prod_{i=1}^n \mu_i}{\prod_{i=1}^n \mu_i + \frac{\lambda_1}{\mu_1} \prod_{i=1}^n \mu_i + \frac{\lambda_2}{\mu_2} \prod_{i=1}^n \mu_i + \dots + \frac{\lambda_n}{\mu_n} \prod_{i=1}^n \mu_i} \quad (3.1.4)$$

де μ_i – інтенсивність відновлення системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі.

Тоді:

$$p_0 = K_r = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} \quad (3.1.5)$$

Напрацювання на відмову (T) системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі можна подати в такому вигляді:

$$T = \frac{\sum_{i \in E_+} p_i}{\sum_{i \in E_+} p_i \sum_{i \in E_-} \lambda_{ij}} = \frac{p_0}{p_0 \sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3.2.6)$$

Тоді:

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3.2.7)$$

З вищевказаного можна зробити наступні висновки:

- напрацювання на відмову системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі не залежить від відновлення;
- напрацювання на відмову і середній час безвідмовної роботи системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі співпадають.

Середній час відновлення (T_B) системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі можна знайти з формул (3.2.5) та (3.2.7):

$$T_B = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} \quad (3.2.8)$$

Обчислення функції готовності ($K_r(t) = p_0(t)$) системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі потребує розв'язання системи диференціальних рівнянь (3.2.1).

У перетворенні Лапласа [ПОСИЛАННЯ] вона набуває вигляду:

$$\begin{cases} (s + \lambda_c)p_0(s) - \sum_{i=1}^n \mu_i p_i(s) = 1; \\ (s + \mu_i)p_i(s) = \lambda_i p_0(s) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (3.2.9)$$

Типовий приклад функції готовності ($K_r(t) = p_0(t)$) системи до роботи у будь-який момент часу t подано на рис. 3.2.2.

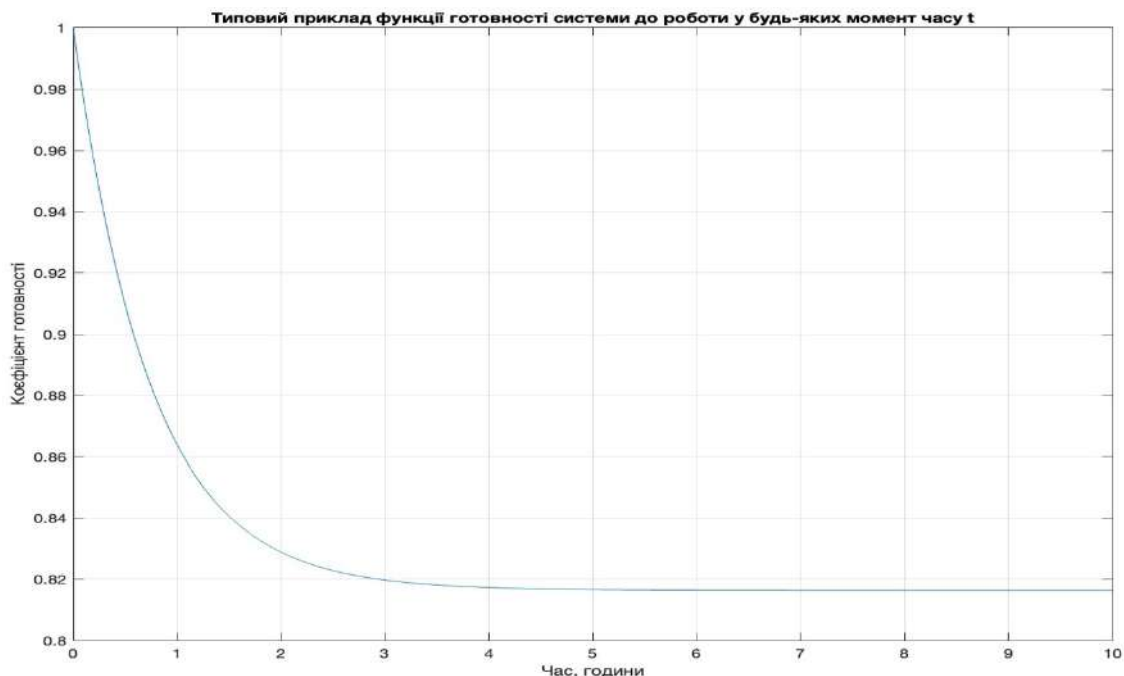


Рис. 3.2.2. Типовий приклад відображення функції готовності $K_r(t) = p_0(t)$ системи до роботи у будь-який момент часу t .

Джерело: сформовано автором у програмному забезпеченні MatLab

Так як $K_r(t) = p_0(t)$, то для вирішення системи є достатнім знайти значення $p_0(s)$, а потім провести зворотнє перетворення Лапласа для $p_0(t)$. Таку процедуру можна виконати як де-факто «вручну», так і за допомогою спеціалізованих програмних продуктів для математичних розрахунків: MatLab, RStudio, MathCad, Derive 5 та інші.

Однак, варто зазначити, що визначення $K_r(t)$ за допомогою перетворення Лапласа при великому значенні n викликає значні труднощі, а при $n > 10$ стає практично неможливим, оскільки знайти обернене перетворення навіть за допомогою комп'ютерних технологій у більшості випадків не вдається. Тоді для розрахунку таких великих систем рекомендується використовувати метод Рунге-Кутти.

3.3. Розробка моделі оцінки загроз зовнішнього середовища транспортного вузла в інтегрованій системі перевезення вантажів з використанням інтелектуальних технологій

Однією з складових сучасної науки управління в транспортних системах є безсумнівно велика множина кількісних методів дослідження складних явищ та процесів, які разом утворюють теорію дослідження операцій. Ці методи надають процесу управління необхідну обґрунтованість, мінімізують суб'єктивізм у виборі управлінських рішень і дають можливість до певної міри оптимізувати процеси управління.

На сьогоднішній день в області дослідження операцій досягнуті дуже відчутні результати. Однак більшість існуючих математичних методів, розроблених як інструментарій для дослідження конкретних процесів і явищ, є ефективними у вирішенні управлінських задач лише за умови наявності вичерпної інформації про досліджувані явища та процеси. У випадку, якщо такі умови не забезпечені, кількісні методи дослідження не можуть надати одного показника або набору показників для однозначної характеристики досліджуваного явища або процесу або для прийняття однозначного

управлінського рішення. У цьому випадку результатом дослідження є цілий ряд характеристик або рішень, визначених перебором значень тих параметрів, щодо яких інформація була відсутня або неповна.

У процесі вирішення різноманітних управлінських завдань, зокрема розробки рішень щодо забезпечення безпеки транспортної інфраструктури важливим етапом є збір початкової інформації. В умовах обмежень часу ця інформація не є повністю визначеною, а має приблизний, недостатньо точний характер.

Теорію нечітких множин була запропонована американським вченим Lotfi Zade, який у 1965 році опублікував свою статтю «Fuzzy Sets» (Нечіткі множини) [219]. У [220] відзначено, що основна ідея автора теорії нечітких множин полягала в тому, що загальноприйнятий спосіб мислення, заснований на природній мові, не може бути описаний в рамках наявних математичних формалізмів. У традиційній математичній логіці твердження може бути або істинним, або хибним, третього варіанту не існує. Аналогічно, в теорії множин, будь-який об'єкт може бути елементом даного множини або не бути таким, і нічого іншого. Проте все, що пов'язане з природною мовою, має багатозначну інтерпретацію. За словами автора теорії, використання нечітких множин може допомогти розробити структурний апарат для створення моделей людського мислення та способу прийняття рішень.

У період воєнного конфлікту забезпечення безпеки транспортного вузла стає напрочуд важливою задачею для забезпечення ефективності та безпеки логістичних операцій. В умовах воєнної небезпеки, де навіть найбільш передбачувані обставини можуть зазнати раптових змін, використання передових методів, таких як нечітка логіка, може стати вирішальним для ефективного управління загрозами та забезпечення безпеки транспортних вузлів. Нечітка логіка дозволяє враховувати неоднозначність та непевність в прийнятті рішень, що особливо актуально у військовому контексті, де ситуація може швидко змінюватися. Такий підхід відкриває нові перспективи для розробки

адаптивних систем безпеки та може сприяти підвищенню рівня захищеності транспортних вузлів.

Постановка задачі оцінки загроз зовнішнього середовища транспортного вузла в інтегрованій системі перевезення вантажів

Для обчислення впливу зовнішніх факторів на вибір оптимального транспортного вузла в маршруті інтегрованого перевезення в умовах активних бойових дій, а саме: D_h - відстані від лінії розмежування зони бойових дій; C_h - криміногенність території, на якій розташований транспортний вузол. У роботі пропонується сформулювати правила оцінки зовнішніх загроз функціонування транспортного вузла на основі досвіду експертів у загальному вигляді: якщо (IF) «розташування транспортного вузла» та (AND) «криміногенність території, на якій розташований транспортний вузол», то (THEN) «оцінка загроз».

Формалізація причинно-наслідкових зв'язків між змінними системи інтегрованих перевезень полягає у описі цих зв'язків на природній мові за допомогою діапазонів нечітких множин (зона 1, зона 2, ..., зона n) та лінгвістичних змінних.

Тоді розглянемо класифікатор зовнішніх загроз з n входами і одним виходом:

$$w = f(v_1, v_2, \dots, v_n) \quad (3.3.1)$$

де w – вихідна змінна (оцінка) класифікатора зовнішніх загроз; v_1, v_2, \dots, v_n – вхідні змінні класифікатора зовнішніх загроз (D_h – відстані від лінії розмежування зони бойових дій; C_h – криміногенність території, в якій розташований транспортний вузол).

В нашому випадку, v_1, v_2, \dots, v_n та w є кількісними змінними, діапазон зміни яких можна представити у такому вигляді:

$$V_i = [v_{i \min}, v_{i \max}], i = \overline{1, n} \quad (3.3.2)$$

$$W = [w_{\min}, w_{\max}] \quad (3.3.3)$$

де $v_{i \min}$ ($v_{i \max}$) – мінімальне (максимальне) значення вхідної змінної v_i , $i = \overline{1, n}$; w_{\min} (w_{\max}) – мінімальне (максимальне) значення вхідної змінної w .

Завдання полягає в тому, щоб отримати кількісну оцінку зовнішніх загроз ($w^* \in W$) з урахуванням відстані транспортного вузла від лінії зіткнення зони бойових дій та криміногенності території ($v_i^* \in V_i$, $i = \overline{1, n}$) на якій він розташований, тобто необхідно встановити залежність (3.3.1), яка пов'яже вихідну змінну (оцінку) класифікатора зовнішніх загроз та зовнішніми збуреннями системи інтегрованого перевезення вантажів.

Формалізація експертної інформації про можливі зовнішні загрози функціонуванню транспортного вузла в умовах бойових дій

Для оцінки лінгвістичних змінних v_i , $i = \overline{1, n}$ і w будемо використовувати нечіткі множини: $Z_i = [z_i^1, z_i^2, \dots, z_i^q]$ - нечітка множина змінної (v_i , $i = \overline{1, n}$); $U = [u_1, u_2, \dots, u_j]$ – нечітка множина змінної w , де z_i^q – нечітка множина лінгвістичної змінної v_i , $i = \overline{1, n}$; u_j – j -те нечітке множина лінгвістичної змінної w ; j – чисельне значення оцінки зовнішньої загрози на функціонування транспортного вузла в умовах бойових дій.

Назви окремих нечітких множин, які описують лінгвістичні змінні входів відстані $z_i^1, z_i^2, \dots, z_i^q$, можуть мати різні якісні стани (далеко, середньо, і т.д.; висока, низька і т.д.) і відрізнятися одна від одної для різних лінгвістичних змінних v_i , $i = \overline{1, n}$.

Розглянемо лінгвістичні множини $z_i^q \in Z_i$ і $u_j \in U$, $j = \overline{1, l}$, $i = \overline{1, n}$ як нечіткі, які задані на універсальних множинах V_i і W , і визначені співвідношеннями (3.3.2), (3.3.3).

Нечіткі множини z_i^q і u_j будуть визначені такими співвідношеннями [ПОСИЛАННЯ]:

$$z_i^{l_i} = \int_{v_i \min}^{v_i \max} \mu^{z_i^{j_q}}(v_i)/v; \quad (3.3.4)$$

$$u_j = \int_{w_i \min}^{w_i \max} \mu^{u_j}(w_i)/w; \quad (3.3.5)$$

де $\mu^{z_i^{j_q}}(v_i)$ - функція належності вхідної змінної $v_i \in [v_i \min, v_i \max]$ множині $z_i^{l_i} \in Z_i$, $j = \overline{1, l}$, $i = \overline{1, n}$; $\mu^{u_j}(w_i)$ - функція належності вихідної змінної $w_i \in [w_i \min, w_i \max]$ - рішенню $u_j \in U$, $j = \overline{1, l}$.

Припустимо, що є N експертних даних, які описують зв'язок між відстанню від лінії розмежування зони бойових дій та криміногенністю території, на якій розташований транспортний вузол зі змінною (оцінкою) класифікатора зовнішніх загроз.

Подамо їх так: $N = k_1 + k_2 + \dots + k_l$, де k_j - кількість даних, що відповідають вихідному рішенню $u_j \in U$, $j = \overline{1, l}$ - число вихідних рішень у загальному випадку $k_1 \neq k_2 \neq \dots \neq k_l$. Передбачається, що $N < r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot r_n$, тобто, число даних менше повного перебору різних поєднань рівнів ($r_i, i = \overline{1, n}$) зміни вхідних змінних.

Комбінації зовнішніх збурень для визначення змінної (оцінка) класифікатора зовнішніх загроз транспортного вузла:

- $1 \ 1, 1 \ 2, \dots, 1 \ k_1$ - числа комбінації вхідних змінних для оцінки загрози u_1 функціонування транспортного вузла;
- $2 \ 1, 2 \ 2, \dots, 2 \ k_2$ - числа комбінації вхідних змінних для оцінки загрози u_2 функціонування транспортного вузла u_2 ;
- $j \ 1, 2, \dots, j \ k_j$ - числа комбінації вхідних змінних для оцінки загрози u_j функціонування транспортного вузла;

• $l, 1, 2, \dots, l, k_l$ – числа комбінації вхідних змінних для оцінки загрози u_l функціонування транспортного вузла.

Використовуючи оцінку експертів про зв'язок між вхідними параметрами, необхідно побудувати матрицю експертної оцінки (див. табл. 3.3.1).

1. Розмірність матриці: $(n + 1) \cdot N$, де $(n + 1)$ – число стовпців, а $N = k_1 + k_2 + \dots + k_l$ – кількість рядків;

2. Перші n стовпців матриці відповідають вхідним змінним класифікатора (оцінки) зовнішніх загроз $v_i, i = \overline{1, n}$, а $(n + 1)$ -й стовпець відповідає значенням $u_j, j = \overline{1, l}$ вихідної змінної w ;

3. Кожний рядок матриці являє собою певну комбінацію значень вхідних змінних (D_n, C_n) , віднесена експертом до одного з можливих значень коефіцієнта загроз w . При цьому: перші рядки k_1 відповідають значенню вихідної змінної $w = u_1$, другі рядки k_2 – значенню $w = u_2$, і т.д., останні рядки k_l – значенню $w = u_l$.

4. Елемент z_i^{jq} , що стоїть на перетині i -го стовпця jq -го рядка, відповідає лінгвістичній оцінці параметра v_i у рядку нечіткої бази знань з номером jq . При цьому лінгвістична оцінка z_i^{jq} вибирається з нечіткої множини, що відповідає змінній v_i , тобто $z_i^{jq} \in Z_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, l}, q = \overline{1, k_l}$.

Сформовану таблицю назовемо матрицею знань (табл. 3.3.1):

Таблиця 3.2. Матриця знань для класифікатора (оцінки) зовнішніх загроз транспортного вузла

Номер вхідної комбінації значень	Вхідні змінні				Вихідна змінна
	v_1	v_2	...	v_i	w
1 1	$z_1^{1 1}$	$z_2^{1 1}$	...	$z_i^{1 1}$	u_1
1 2	$z_1^{1 2}$	$z_2^{1 2}$	...	$z_i^{1 2}$	
...	

$1 k_1$	$z_1^{1 k_1}$	$z_2^{1 k_1}$...	$z_i^{1 k_1}$	
...					
$j 1$	$z_1^{j 1}$	$z_2^{j 1}$...	$z_i^{j 1}$	u_2
$j 2$	$z_1^{j 2}$	$z_2^{j 2}$	...	$z_i^{j 2}$
...	
$j k_j$	$z_1^{j k_j}$	$z_2^{j k_j}$	...	$z_i^{j k_j}$
...					
$l 1$	$z_1^{l 1}$	$z_2^{l 1}$...	$z_i^{l 1}$	u_j
$l 2$	$z_1^{l 2}$	$z_2^{l 2}$	...	$z_i^{l 2}$
...	
$l k_l$	$z_1^{l k_l}$	$z_2^{l k_l}$	...	$z_i^{l k_l}$

Джерело: сформовано автором

Експертні оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла можна представити у вигляді матриці, яка зв'язує вхідні та вихідні змінні класифікатора зовнішніх загроз. Ця матриця характеризує логічну взаємозв'язок у вигляді: «якщо (характеристика транспортного вузла інтегрованої транспортної системи), то (рівень зовнішньої загрози)»:

- якщо $v_1 = z_1^{1 1}$ та $v_2 = z_2^{1 1}$ та ... та $v_i = z_i^{1 1}$, або $v_1 = z_1^{1 2}$ та $v_2 = z_2^{1 2}$ та ... та $v_i = z_i^{1 2}$, або ... або $v_1 = z_1^{1 k_1}$ та $v_2 = z_2^{1 k_1}$ та ... та $v_i = z_i^{1 k_1}$, то $w = u_1$;
- якщо $v_1 = z_1^{2 1}$ та $v_2 = z_2^{2 1}$ та ... та $v_i = z_i^{2 1}$, або $v_1 = z_1^{2 2}$ та $v_2 = z_2^{2 2}$ та ... та $v_i = z_i^{2 2}$, або ... або $v_1 = z_1^{2 k_1}$ та $v_2 = z_2^{2 k_1}$ та ... та $v_i = z_i^{2 k_1}$, то $w = u_2$;
- якщо $v_1 = z_1^{l 1}$ та $v_2 = z_2^{l 1}$ та ... та $v_i = z_i^{l 1}$, або $v_1 = z_1^{l 2}$ та $v_2 = z_2^{l 2}$ та ... та $v_i = z_i^{l 2}$, або ... або $v_1 = z_1^{l k_l}$ та $v_2 = z_2^{l k_l}$ та ... та $v_i = z_i^{l k_l}$, то $w = u_j$.

де u_j , $j = \overline{1, l}$ - лінгвістична оцінка вихідного параметра (рівень зовнішніх загроз) визначається з якісних множин W ; z_i^{jq} - лінгвістична оцінка вхідних змінних (відстань від лінії розмежування зони бойових дій та криміногенність території, на якій розташований транспортний вузол) v_i у q -тому рядку, вибирається з відповідної нечіткої множини Z_i , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, l}$, $q = \overline{1, k_l}$; k_l -

кількість правил, які визначають значення параметра рівня зовнішніх загроз транспортного вузла.

В такому контексті під нечіткою базою знань розуміється набір статистичних даних зовнішніх загроз (кількість повітряних тривог на території України, кількість повідомлень про пошкодження інфраструктури в відкритих джерелах, загрози артилерійських обстрілів, криміногенності території, в якому розташований транспортний вузол та інше) та досвід експертів у транспортній галузі. Під останніми розуміються фахівці, які мають великий досвід та кваліфікацію в організації та забезпеченні всіх етапів як міжнародного, так і прифронтового перевезення вантажів.

З використанням \cup (або) \cap бази знань інтелектуального класифікатора зовнішніх загроз можна представити у такому вигляді:

$$\bigcup_{q=1}^{k_j} \left[\bigcap_{i=1}^n (v_i = z_i^{jq}) \right] \rightarrow w = u_j, \quad j = \overline{1, l} \quad (3.3.6)$$

Відношення (3.3.6) встановлює зв'язок між вхідними параметрами (відстань від лінії розмежування зони бойових дій; криміногенність території, на якій розташований транспортний вузол) v_i та вихідним параметром (значення оцінки рівня зовнішніх загроз) w , сформалізовано у вигляді системи експертних оцінок, які були сформовані за допомогою розробленої матриці знань.

Лінгвістичні оцінки z_i^{jq} змінних $v_1 - v_n$, що входять у логічні висловлювання про рішення u_j , розглядаються як нечіткі множини, що задані на множинах $Z_i = [v_{i \min}, v_{i \max}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, l}$.

Нехай $\mu^{z_i^{jq}}$ - це функція належності параметра $v_i \in [v_{i \min}, v_{i \max}]$, $i = \overline{1, n}$ до нечіткої множини z_i^{jq} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, l}$, $q = \overline{1, k_l}$, а μ^{u_j} - функція належності вектора вхідних змінних до значення вихідної змінної інтелектуального класифікатора зовнішніх загроз.

Взаємозв'язок функцій належності характеризується набором правил (3.3.6), які описують статистичний набір даних та досвід експертів у транспортній галузі:

$$\begin{aligned} \mu^{u_1}(v_1, v_2, \dots, v_n) = & \mu^{z_1^{11}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{11}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{11}}(v_n) \vee \\ & \vee \mu^{z_1^{12}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{12}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{12}}(v_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{z_1^{1k_1}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{1k_1}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{1k_1}}(v_n), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^{u_2}(v_1, v_2, \dots, v_n) = & \mu^{z_1^{21}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{21}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{21}}(v_n) \vee \\ & \vee \mu^{z_1^{22}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{22}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{22}}(v_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{z_1^{2k_2}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{2k_2}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{2k_2}}(v_n), \end{aligned} \quad (3.3.7)$$

$$\begin{aligned} \mu^{u_l}(v_1, v_2, \dots, v_n) = & \mu^{z_1^{l1}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{l1}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{l1}}(v_n) \vee \\ & \vee \mu^{z_1^{l2}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{l2}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{l2}}(v_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{z_1^{lk_l}}(v_1) \wedge \mu^{z_2^{lk_l}}(v_2) \wedge \dots \wedge \mu^{z_n^{lk_l}}(v_n). \end{aligned}$$

де \wedge - логічне «ТА», \vee - логічне «АБО».

Описаний вище набір правил (3.3.7) отриманий з експертних оцінок шляхом заміни нечітких множин z_i^{jq} та відповідним u_j функціями належності, а операції \cup та \cap на операції \wedge та \vee відповідно. Тоді набір правил (3.3.7) можна представити у наступному вигляді:

$$\mu^{u_j}(v_1, v_2, \dots, v_n) = \bigvee_{q=1}^{k_j} \left[\bigwedge_{i=1}^n \mu^{z_i^{jq}}(v_i) \right], \quad j = \overline{1, l} \quad (3.3.8)$$

Розробка алгоритму формування коефіцієнта оцінки зовнішніх загроз функціонування транспортного вузла в інтегрованих транспортних системах

Після створення бази експертних оцінок щодо взаємозв'язку вхідних та вихідних параметрів інтелектуального класифікатора зовнішніх загроз у формі «ЯКЩО, ТО», наступним етапом є розробка алгоритму формування коефіцієнта оцінки зовнішніх загроз за вектором вхідних змінних $V^* = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_i^*]$, $v_i^* \in [v_{i \min}, v_{i \max}]$ (відстань від лінії розмежування зони бойових дій; криміногенність території, на якій розташований транспортний вузол).

В результаті аналізу статистичних даних та досвіду експертів отримано наступні параметри:

- нечітка множина рішень $V = [v_1, v_2, \dots, v_l]$, що відповідає вихідній змінній w інтелектуального класифікатора зовнішніх загроз;
- множина вхідних змінних інтелектуального класифікатора зовнішніх загроз $U = [u_1, u_2, \dots, u_j]$;
- діапазони кількісного змінення вхідних змінних $u_i \in [u_{i \min}, u_{i \max}]$, $i = \overline{1, n}$;
- діапазон кількісного змінення змінної вхідної змінної $w \in [w_{\min}, w_{\max}]$;
- функції належності $\mu^{z_i^{jq}}(v_i)$ параметра $u_i \in [u_{i \min}, u_{i \max}]$, $i = \overline{1, n}$ до нечіткої множини z_i^{jq} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, l}$, $q = \overline{1, k_l}$;
- матриця знань, яка відображає аналітику статистичних даних і досвіду експертів, визначається набором правил (табл. 3.3.1).

Використовуючи нечіткі множини (3.3.8), визначимо функції належності $\mu^{u_j}(v_1, v_2, \dots, v_n)$. Для визначення числового значення коефіцієнта зовнішніх загроз $V^* = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_i^*]$ буде використовуватися значення u_j^* , функція належності якого є максимальною:

$$\mu^{u_j^*}(v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) = \max_{j=l} (\mu^{u_j}((v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*))). \quad (3.3.9)$$

Отже, запропоновано сформувати кінцеву функцію належності $\mu^{U^*}(v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*)$ за правилом:

$$\mu^{U^*}(v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) = \mu^{u_j^*}(v_1, v_2, \dots, v_n) \cap \mu^{u_j^*}(v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*). \quad (3.3.10)$$

Таким чином, кінцева функція належності $\mu^{U^*}(v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*)$ є функцією належності $\mu^{u_j^*}(v_1, v_2, \dots, v_n)$, обмеженою значенням $\max_{j=l} (\mu^{u_j^*}(v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*))$.

Алгоритм визначення коефіцієнта оцінки зовнішніх загроз $w^* \in [w_{min}, w_{max}]$ представлений наступним чином:

1. Фіксуємо вектор значень вхідних змінних інтегрованої транспортної системи $V^* = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_i^*]$;
2. Визначаємо значення функцій належності $\mu^{z_i^{jq}}$ нечітких множин для значень змінних інтегрованої транспортної системи $v_1^* - v_n^*$;
3. Використовуючи логічні рівняння (3.3.8), які враховують аналітику статистичних даних та досвід експертів, визначаємо функції належності $\mu^{u_j}(v_1, v_2, \dots, v_n)$ вектора V^* для всіх значень $u_j, j = \overline{1, l}$ вихідної змінної інтелектуального класифікатора зовнішніх загроз транспортного вузла w ;
4. Використовуючи залежність (3.3.10), визначаємо кінцеву функцію належності інтелектуального класифікатора, яка характеризує числову оцінку коефіцієнта зовнішніх загроз інтегрованих транспортних систем $\mu^{U^*}(v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*)$;
5. Виконуємо процедуру дефазифікації з метою переходу від кінцевої функції належності до числового значення коефіцієнта загроз, яке буде враховуватися при виборі оптимального транспортного вузла в маршруті інтегрованої перевезення в умовах активних бойових дій $w^* \in [w_{min}, w_{max}]$.

В даному контексті формалізації процесу формування оцінок зовнішніх загроз на основі нечіткої логіки в умовах активних бойових дій, варто зазначити наступне. Представлення вхідних параметрів (відстань від лінії розмежування зони бойових дій, криміногенність території, на якій розташований

транспортний вузол) інтелектуального класифікатора у вигляді лінгвістичних змінних з нечіткими множинами (високий, середній, малий і т. д.) дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки «вхідні параметри - оцінка зовнішньої загрози» використовуючи нечіткі логічні висловлювання з урахуванням аналізу статистичних даних та досвіду експертів транспортної галузі. Розроблений набір правил дозволяє формалізувати врахування впливу зовнішніх загроз на функціонування інтегрованої транспортної системи в умовах активних бойових дій у вигляді « якщо (IF) «розташування транспортного вузла», то (THEN) «оцінка загроз» ».

Процедура дефазифікації

Під процедурою дефазифікації у роботі буде розумітись перетворення нечіткої множини в числове значення коефіцієнта зовнішніх загроз інтегрованих транспортних систем в умовах активних бойових дій.

Аналіз сучасних наукових доробок з тематики [122] показує варіативність можливих методи формування єдиного числового значення коефіцієнта зовнішніх загроз з нечіткої множини (дефазифікації).

Наприклад, у [222] розглянуті два найбільш часто застосовуваних методи. Один з них - вибір такого значення, для якого функція належності має найбільше значення (у випадку декількох точок з максимальною функцією належності обирається середнє значення для цих точок) - так званий метод «середнього за максимумом (mean of maxima)». Інший метод - вибір такого значення, яке є медіаною фігури, обмеженої кривою функції належності вихідної нечіткої підмножини. Такий метод отримав назву «центр площі (centre of area)».

Для вирішення завдання оцінки рівня зовнішніх загроз функціонування транспортного вузла у роботі пропонується використовувати метод центра площі. Отриману за цим методом кінцеву функцію належності для вихідного параметра (класифікатор оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла) числове значення обчислюється методом "центра тяжіння" [223] площі S кінцевої фігури функції належності. Алгоритм обчислення абсциси центра тяжіння $s_c = S(y_c, \mu_c)$

кінцевої функції належності $\mu(y)$ в межах змінної y від $y = Y_1$ до $y = Y_2$ визначимо за формулою:

$$y_c = \frac{\int_{Y_1}^{Y_2} y\mu(y)dy}{\int_{Y_1}^{Y_2} \mu(y)dy} \quad (3.3.11)$$

Обчислення числового значення вихідної змінної інтелектуального класифікатора за методом трапецій можна представити за формулою:

$$y_c = \frac{\frac{Y_1\mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} y_i \mu_i + \frac{Y_2\mu_M}{2}}{\frac{\mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i + \frac{\mu_M}{2}}, \quad (3.3.12)$$

де $\mu_0 = \frac{(Y_2-Y_1)}{M}$ – крок дискретизації; M – кількість дискрет на інтервалі $Y_2 - Y_1, i = 1, 2, \dots, M - 1$.

При умові, коли функція належності вихідного параметра є кусково-лінійною, абсциса "центра тяжіння" визначається наступним чином:

$$y_c = \frac{\sum_{k=1}^N (d_{k+1} - d_k) [(2d_{k+1} + d_k)f_{k+1} + (2d_k + d_{k+1})f_k]}{3 \sum_{k=1}^N (d_{k+1} - d_k) (f_{k+1} + f_k)}, \quad (3.3.13)$$

де N – кількість вершин; d_k, f_k - координати вершин сформованої фігури.

Наступний етап – перетворення y_c у числове значення вихідної величини інтелектуального класифікатора в межах зміни $[w_{min}, w_{max}]$ лінгвістичної змінної «класифікатор оцінки зовнішніх загроз» w .

Розробка функціональної та структурної схеми інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз (ІКОЗЗ) інтегрованої транспортної системи в умовах активних бойових дій.

Перше, що необхідно зробити – сформулювати ряд принципів, які будуть використані при розробці ІКОЗЗ:

1. Вхідні та вихідні параметри ІКОЗЗ розглядаються як лінгвістичні змінні, які оцінюються якісними характеристиками. Використовуючи поняття функції належності, кожному з характеристик, що оцінює лінгвістичну змінну, необхідно подати у вигляді деякої нечіткої множини, що задана у відповідній типовій множині;

2. Принцип формування структури ІКОЗЗ у вигляді набору правил, які враховують аналітику статистичних даних та досвід експертів транспортної галузі. Експертна база представляє собою сукупність правил, які реалізовані у вигляді алгоритму функціонування «якщо (IF) «розташування транспортного вузла», то (THEN) «оцінка загроз» ».

3. Дані, які становлять експертну базу знань класифікатора, збираються та аналізуються за допомогою методу «Дельфі» [228]. Метод «Дельфі» є одним зі способів збору інформації, який базується на колективному вирішенні проблеми або прогнозуванні майбутніх подій. Він полягає у тому, що група експертів незалежно один від одного надають свої прогнози або оцінки щодо певної проблеми чи ситуації. Потім результати їхніх прогнозів обговорюються і відправляються назад експертам для їхнього перегляду та подальшого уточнення. Цей процес може повторюватися декілька разів, доки група не досягне консенсусу або прийме прийнятні результати. Результати опитування експертів транспортної галузі подані у Додатку А.

Розглянемо функціонування ІКОЗЗ, яке включає наступні етапи (рис. 3.3.1):

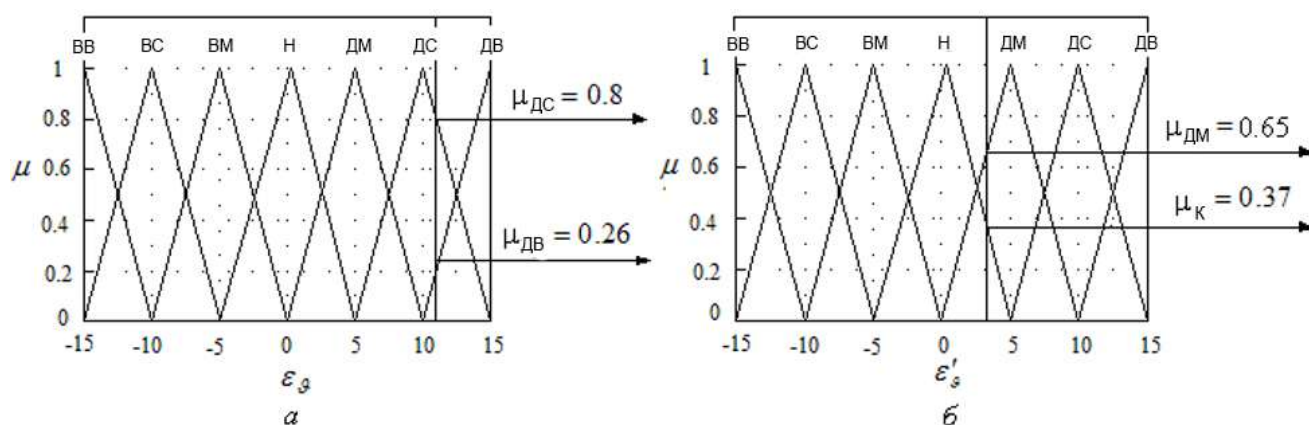
- процедура фазифікації;
- процедура імплікації;
- процедура агрегації;
- процедура дефазифікації.

Фазифікація - це процедура перетворення поточних числових значень вхідних змінних ІКОЗЗу в лінгвістичні величини істинності [224]. Використання методу фазифікації подано на прикладі на рис. 3.3.2.



Рис. 3.3.1. Процес функціонування інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз (ІКОЗЗ) транспортного вузла в інтегрованих системах перевезення вантажу.

Джерело: сформовано автором



де a – лінгвістична змінна помилка відхилення кута тангажу ε_θ , що описана нечіткими множинами (ВВ – від’ємна велика, ВС – від’ємна середня, ДМ – додатня мала і т.д.); b – її похідна .

Рис. 3.3.2. Процедура фазифікації на прикладі оцінок відмінностей куту тангажу.

Джерело: [225]

Отже, всі чисельні значення діапазону зміни помилки та її похідної описуються функціями належності (нечіткими величинами), які надходять до "бази знань" для подальшого перетворення.

Задача *імплікації* полягає у визначенні функції належності вихідної змінної для кожного правила бази знань класифікатора [226]. Лінгвістичне правило складається з наступного: якщо (IF) «розташування транспортного вузла», то (THEN) «оцінка зовнішніх загроз». Таким чином, перша частина правила має наступний вигляд:

$$[\mu_i^1(v_1^*)] \vee [\mu_i^2(v_2^*)] \vee \dots \vee [\mu_i^j(v_j^*)] \vee \dots \vee [\mu_i^n(v_n^*)], \quad (3.3.14)$$

де v_1^* - числове значення j -го вихідного параметра $j = \overline{1, n}$; μ_i^j - функція належності нечіткої множини j -го вхідного параметра ІКОЗЗу, обраного в i -му правилі; \vee - нечіткий логічний оператор, який може приймати значення \vee - «АБО (OR)», або \wedge - «ТА (AND)».

На практиці використовують декілька варіантів числового значення нечітких логічних функцій. У класичній роботі [226] запропоновано замінити операцію OR обчисленням максимуму, а операцію AND - обчисленням мінімуму, такий самий підхід пропонується в роботах [227-228]:

$$\mu_A \vee \mu_B = \max(\mu_A, \mu_B), \quad (3.3.15)$$

$$\mu_A \wedge \mu_B = \min(\mu_A, \mu_B). \quad (3.3.16)$$

Також використовується підхід, у якому логічні операції реалізуються залежностями [ПОСИЛАННЯ], відомими як ймовірнісні:

$$\mu_A \vee \mu_B = \mu_A + \mu_B, \quad (3.3.17)$$

$$\mu_A \wedge \mu_B = \mu_A + \mu_B - \mu_A \cdot \mu_B. \quad (3.3.18)$$

Алгоритм імплікації (3.3.14) – (3.3.18) відноситься до незважених алгоритмів. У роботі [227] запропоновано зважений алгоритм обчислення нечітких логічних операцій:

$$\mu_A \vee \mu_B = \gamma \max(\mu_A, \mu_B) + \frac{1 - \gamma}{2} (\mu_A + \mu_B), \quad (3.3.19)$$

$$\mu_A \wedge \mu_B = \gamma \min(\mu_A, \mu_B) + \frac{1 - \gamma}{2} (\mu_A + \mu_B), \quad (3.3.20)$$

де γ – ваговий коефіцієнт.

Окрім того, наявний і компенсаційний алгоритм для обчислення нечітких логічних операцій, запропонований у [ПОСИЛАННЯ, ЦИММЕРМАН]:

$$\mu_A \vee \mu_B = (\mu_A \cdot \mu_B)^{(1-\gamma)} (\mu_A + \mu_B - \mu_A \cdot \mu_B), \quad (3.3.21)$$

$$\mu_A \wedge \mu_B = \gamma (\mu_A + \mu_B - \mu_A \cdot \mu_B)^{(1-\gamma)} (\mu_A \cdot \mu_B), \quad (3.3.22)$$

де γ – ваговий коефіцієнт.

При апаратній реалізації ІКОЗЗу одним з основних критеріїв для вибору алгоритмів обчислення логічних операцій є точність обробки інформації, яка описує аналітику статистичних даних і досвід експертів у транспортній галузі. З точки зору точності обробки інформації, найбільш ефективним буде перший підхід (3.3.15), (3.3.16), який надалі використовується при розробці алгоритму функціонування ІКОЗЗу.

Процедура *агрегації* – це операція, в результаті якої всі нечіткі множини, що представляють виходи всіх правил, об'єднуються в єдину нечітку множину. Результатом агрегації є нечітка множина для вихідної величини (оцінка

зовнішніх загроз транспортного вузла), яке може бути представлене у вигляді формули [226]:

$$\mu_{\text{заг}}(w) = \bigcup_{i=1}^l \mu_i(w), \quad (3.3.23)$$

де $\mu_{\text{заг}}(w)$ – узагальнена функція належності нечіткої множини, що характеризує оцінку зовнішніх загроз транспортного вузла; $\mu_i(w)$ – функція належності i -ї нечіткої множини вихідного параметра; l – кількість правил у базі знань, які відображають аналітику статистичних даних і досвід експертів у транспортній галузі.

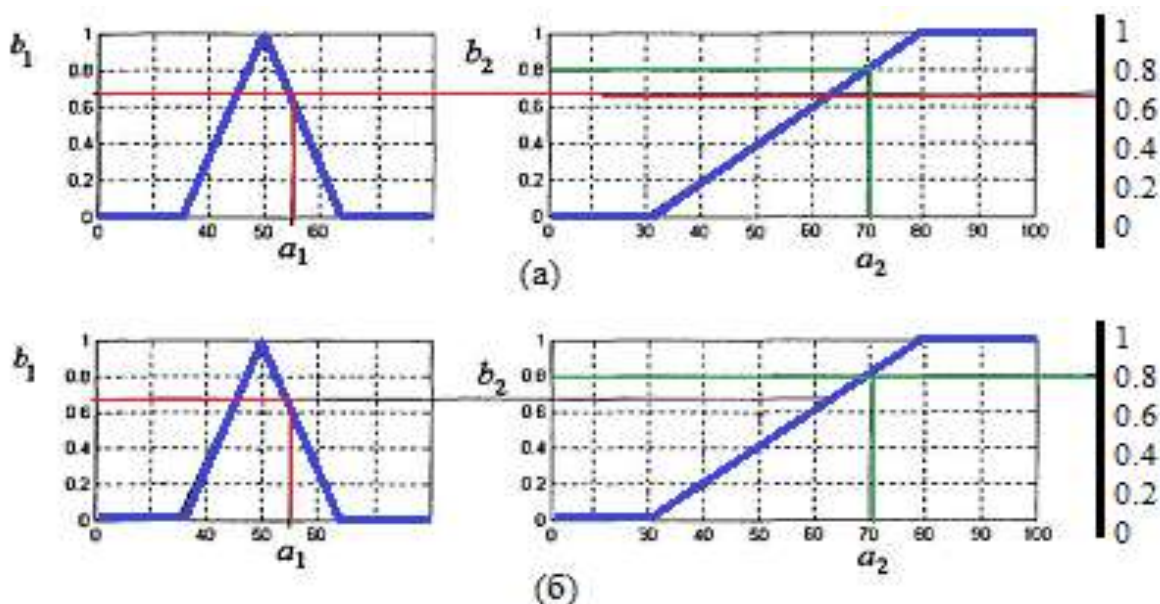


Рис. 3.3.3. Процедура агрегації на прикладі для двох нечітких множин, а саме: «швидкість автомобіля, яка є середньою» АБО «температура кави, яка є високою» (а); «швидкість автомобіля яка є середньою» АБО «температура кави яка є високою» (б).

Джерело: [229]

На рис. 3.3.3 наведено приклад процесу агрегації логічного висновку для випадку двох функцій належності, що описують вихідний параметр

інтелектуального класифікатора з використанням алгоритму (3.3.15), (3.3.16) для обчислення нечітких логічних операцій.

Дефазифікація – процедура генерування вихідної величини ІКОЗЗу, тобто, перетворення узагальненої нечіткої множини в числове значення коефіцієнта зовнішніх загроз. На рис. 3.3.4 подано приклад процедури дефазифікації ІКОЗЗу типу Мамдані за різними методами [227].

Розглянемо більш детально методи дефазифікації [227]. Метод центра ваги полягає в тому, що змінній x^* прирівнюється абсциса центру ваги фігури, яка описана функцією належності:

$$w^* = \frac{\sum \mu(x_i)w_i}{\sum \mu(w_i)}, \quad (3.3.24)$$

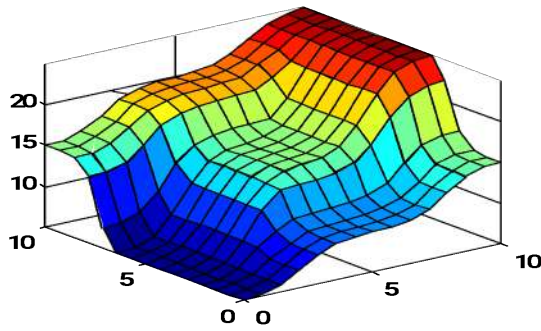
де w_i – поточне значення коефіцієнта зовнішніх загроз з урахуванням географічного розташування транспортного вузла $w_i \in [w_{i \min}, w_{i \max}]$; $\mu(w_i), \mu(x_i)$ – значення функції належності.

Метод бісектрис визначає вихідне значення параметра ІКОЗЗу w^* , як значення абсциси вертикальної лінії, яка ділить фігуру, узагальнену функцією належності, на дві рівні за площею половини:

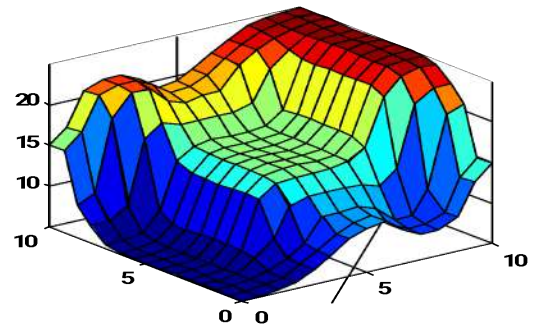
$$w^* = \left\{ w \mid \int_{w_{\min}}^w \mu(w)dw = \int_w^{w_{\max}} \mu(w)dw \right\}, \quad (3.3.25)$$

Відповідно до методу лівого найбільшого максимуму, серед значень $w \in [w_0, w_1]$, для яких функція належності максимальна, як результат дефазифікації w^* обирається ліва межа діапазону $w^* = w_0$.

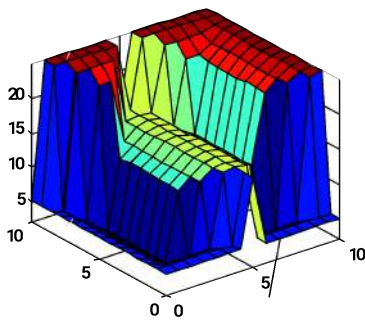
Метод правого найбільшого максимуму формує вихідний параметр у вигляді $w^* = w_1$, а метод середнього максимуму – $w^* = \frac{w_1 - w_0}{2}$.



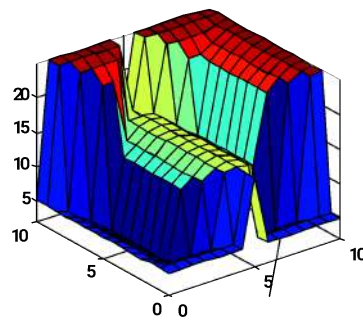
a) дефазифікація методом центру тяжіння



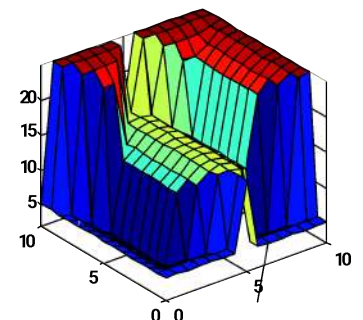
b) дефазифікація методом бісектрис



с) дефазифікація методом лівого найбільшого максимуму



d) дефазифікація методом правого найбільшого максимуму



e) дефазифікація методом середнього найбільшого максимуму

Рис. 3.3.4. Характерні поверхні нечіткого класифікатора, побудовані за різними методами (а - дефазифікація методом центру тяжіння; б - дефазифікація методом бісектрис; с - дефазифікація методом лівого найбільшого максимуму; d - дефазифікація методом правого найбільшого максимуму; е - дефазифікація методом середнього найбільшого максимуму).

Джерело: [223]

Для дефазифікації параметрів у роботі пропонується використовувати метод центра ваги за здатність враховувати форму результуючої функції належності (приклад подано на рис. 3.3.4). Даний метод дозволяє отримати більш згладжену поверхню інтелектуального класифікатора, що підвищує точність оцінки зовнішніх загроз.

3.4. Удосконалення моделі оцінки ризиків настання надзвичайних подій під час перевізного процесу в інтегрованій транспортній системі

В умовах війни, оцінка транспортних ризиків стає важливою складовою в управлінні логістичними та транспортними операціями. Зважаючи на непередбачуваність ситуацій та високу степінь небезпеки, пов'язаної з воєнним конфліктом, правильне визначення потенційних ризиків може допомогти зменшити загрозу для персоналу, транспортних засобів та вантажів.

У зв'язку з відсутністю статистики відмов, ризик може бути переоцінений / недооцінений. Беручи до уваги, що не кожна надзвичайна ситуація призводить до критичної відмови елементів (пошкодження / знищення транспортного засобу або вантажу, смерть пасажирів або екіпажу), наведений алгоритм доповнює існуючі моделі ризику.

Запропонований автором дисертаційного дослідження алгоритм розрахунку транспортного ризику, який враховує недоліки сучасних моделей оцінки ризиків на транспорті (див. п. 1.5) подано на рис. 3.4.1.

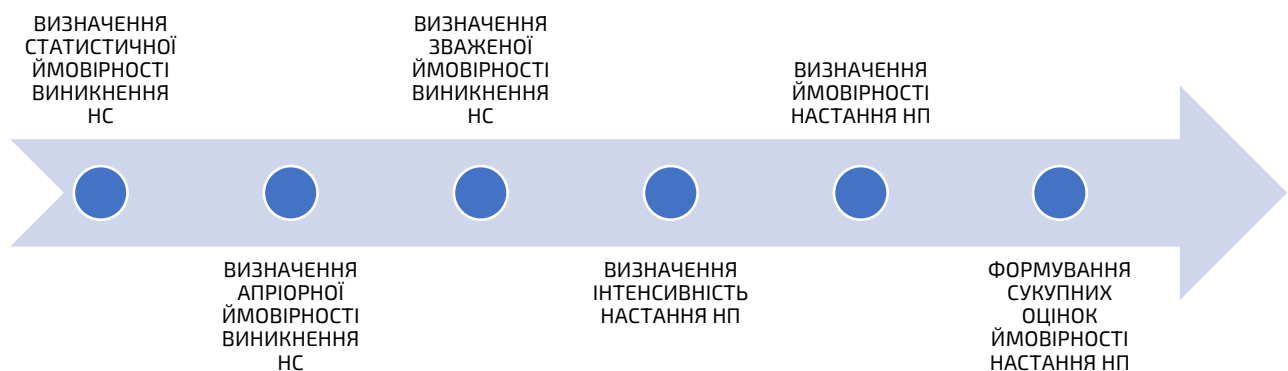


Рис. 3.4.1. Удосконалений алгоритм розрахунку транспортного ризику під час перевізного процесу в інтегрованих транспортних системах

Джерело: складено автором

Математично, даний алгоритм можна подати наступним чином [17]:

1. Визначення статистичної ймовірності виникнення надзвичайної ситуації під час перевезення за маршрутом.

Статистична ймовірність виникнення надзвичайної ситуації (P^S) можна визначити за допомогою статистичних даних як відношення кількості транспортних засобів ($N_{НС}$), що потрапили в надзвичайну ситуацію на ділянці маршрута, до загальної кількості транспортних засобів, які проходять на цьому відрізку (N_l):

$$P^S = \frac{\sum_l N_{НС}}{\sum_l N_l} \quad (3.4.1)$$

2. Визначення апріорної ймовірності виникнення надзвичайної ситуації (НС) під час перевезення за маршрутом. Апріорні ймовірності виникнення відмов розраховуються на основі експертних оцінок за визначеними формулами:

$$P^M = \frac{P^S + P^E}{2} \quad (3.4.2)$$

$$\delta^2 = \frac{(P^S - P^E)^2}{2} \quad (3.4.3)$$

де P^M – середнє значення ймовірності очікування виникнення надзвичайної події; P^E – експертна ймовірність очікування виникнення надзвичайної події; δ – дисперсія.

3. Визначення зваженої ймовірності виникнення НС під час перевезення за маршрутом. Виходячи з (3.4.1 – 3.4.3), середньозважена ймовірність виникнення надзвичайної ситуації:

$$P_{\text{нс}} = \frac{P^S + P^M + P^E}{3} \quad (3.4.4)$$

4. Інтенсивність настання надзвичайної події (НП) j -го типу при виникненні надзвичайної ситуації можна обчислити, використовуючи статистичні дані для кожного можливо небезпечного району l за період часу T за формулою:

$$\gamma_j = \frac{\sum_j \sum_l N_{jil}}{T \times S_T} \quad (3.4.5)$$

де N_{jil} – кількість транспортних засобів, які зазнали шкоди за настання надзвичайної події j -го типу після виникнення надзвичайної ситуації; S_T – кількість транспортних засобів, які потрапили в надзвичайну ситуацію.

5. Ймовірність настання надзвичайної події j -го типу може бути обчислена за допомогою формули:

$$P_j = 1 - e^{(-\gamma_j T)} \quad (3.4.6)$$

6. Формування сукупних оцінок ймовірності настання надзвичайних подій j – того типу виконується шляхом обчислення оцінки P_j за допомогою формули складання ймовірностей:

$$R_j = \sum_{j=1}^n P_{\text{нс}} \cdot P_j. \quad (3.4.7)$$

Отже, оцінка ризиків під час перевізного процесу в умовах воєнного конфлікту є важливою складовою безпеки та ефективності транспортної системи. У таких умовах ризик виникнення надзвичайних ситуацій може бути надзвичайно великим через різноманітні чинники, включаючи активні бойові дії,

стратегічні цілі, а також можливість втручання сторін, які не причетні до конфлікту.

Такий підхід також сприяє зменшенню можливостей виникнення негативних наслідків для персоналу, пасажирів та інших учасників транспортного процесу, а також збереженню вартості та надійності транспортних систем у складних умовах воєнного конфлікту.

3.5. Розробка моделі комплексної оцінки безпеки в інтегрованих системах за допомогою методу аналізу ієрархій Т. Сааті для побудови безпечних маршрутів перевезення вантажів

Сучасне прийняття рішень в умовах складних і невизначених ситуацій є невід'ємною частиною багатьох сфер життя, починаючи від бізнесу і закінчуючи наукою та політикою. У цьому контексті метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process), розроблений Томасом Сааті, виявляється надзвичайно корисним інструментом для систематизації та обґрунтування процесу прийняття рішень [228].

Метод аналізу ієрархій (MAI) виник з необхідності створення системи, яка дозволила б порівнювати та оцінювати альтернативи, що мають різні критерії та ваги. Основна ідея методу полягає в тому, щоб розглядати складне рішення як ієрархічну структуру з кількох рівнів, від загальних цілей до конкретних альтернатив.

Даний метод надає об'єктивну основу для структурування проблеми прийняття рішень, для аналізу та якісної оцінки її складових, для з'єднання цих складових з загальними цілями та для оцінки альтернативних варіантів рішень.

Загалом, метод аналізу ієрархій проводиться за наступною схемою [228]:

- структурне подання проблематики вибору у ієрархічному, або мережевому вигляді;
- встановлення пріоритетів критеріїв та оцінка кожної альтернативи з урахуванням цих критеріїв;

- встановлення коефіцієнтів важливості для кожного елемента на кожному рівні ієрархії;
 - розрахунок комбінованого вагового коефіцієнта та визначення оптимальної альтернативи.

Враховуючи особливості інтегрованих транспортних системах, що були подані у Розділі 1 дисертаційного дослідження, алгоритм побудови безпечних транспортно-технологічних схем перевезення вантажів можна розкласти на два циклічні етапи:

- вибір оптимального за показником безпеки транспортного вузла ($TH_n, n = \overline{1, p}$);
- вибір оптимального маршруту перевезення між транспортними вузлами ($TR_m, m = \overline{1, h}$) з проектних альтернатив.

Модель вибору оптимального за показником безпеки транспортного вузла TH_i

Для вибору оптимального транспортного вузла спершу необхідно задати систему оцінок F_{TH} , що впливають на вибір транспортного вузла для виконання перевезення та оцінити ступень їх впливу за допомогою попарної шкали порівняння (табл. 3.5.1).

$$F_{TH} = [K_i, W_i, T_i, C_i], \quad (3.5.1)$$

де $K_i = K_{r_i}$ – коефіцієнт готовності системи забезпечення безпеки вантажу у i -му транспортному вузлі (див. п. 3.2); W_i – інтелектуальна оцінка рівня зовнішніх загроз i -го транспортного вузла (п. 3.3); T_i – час, необхідний на обробку вантажів у i -му транспортному вузлі; C_i – витрати на обробку вантажу у i -му транспортному вузлі;

Таблиця 3.5.1. Попарна шкала порівняння елементів системи оцінок F_{TH} , що впливають на вибір транспортного вузла для виконання перевезення [228]

Інтенсивність відносної важливості (p)	Визначення	Обґрунтування
1	Рівна важливість	Обидва об'єкти мають однаковий внесок у досягненні результату
3	Мала перевага одного об'єкту над іншим	Судження і досвід надають малу перевагу одного об'єкта над іншим
5	Істотна перевага	Судження і досвід надають істотну перевагу одного об'єкта над іншим
7	Значна перевага	Судження і досвід надають значну перевагу одного об'єкта над іншим
9	Дуже сильна перевага	Судження і досвід підтверджують очевидність переваги одного об'єкта над іншим
2, 4, 6, 8	Проміжні значення	Виключно у компромісних випадках
Зворотні чисельні величини	Якщо один об'єкт отримав оцінку на рівні, наприклад, 3, при порівнянні з іншим, то при порівнянні другого об'єкта з першим отримаємо обернене значення, наприклад, 1/3.	

Джерело: [228]

Отже, матриця попарних порівнянь елементів системи оцінок F_{TH} , що впливають на вибір транспортного вузла для виконання перевезення набуває виду (див. табл. 3.5.2):

Таблиця 3.5.2. Матриця порівняння елементів системи оцінок F_{TH} , що впливають на вибір транспортного вузла для виконання перевезення

	K	W	C	T
K	$p_{11} = p(K|K) = 1$	$p_{12} = p(K|W)$	$p_{13} = p(K|C)$	$p_{14} = p(K|T)$
W	$p_{21} = p(W|K)$	1	$p_{23} = p(W|C)$	$p_{24} = p(W|T)$
C	$p_{31} = p(C|K)$	$p_{32} = p(C|W)$	1	$p_{34} = p(C|T)$
T	$p_{41} = p(T|K)$	$p_{42} = p(T|W)$	$p_{43} = p(T|C)$	1
Σ	$\Sigma_K = \sum_{i=1}^4 p_{i1}$	$\Sigma_W = \sum_{i=1}^4 p_{i2}$	$\Sigma_C = \sum_{i=1}^4 p_{i3}$	$\Sigma_T = \sum_{i=1}^4 p_{i4}$

Джерело: складено автором

Нова таблиця порівняння елементів системи оцінок (q_{ij}) формується шляхом ділення кожного елемента таблиці (матриці) (p_{ij}) на суму оцінок відповідного йому стовпця ($\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n$). Найбільш вагомим φ_{opt} буде фактор, середнє значення рядка якого буде максимальним (див. табл. 3.5.3):

$$\varphi_{opt} = \max [\varphi_K, \varphi_W, \varphi_C, \varphi_T], \quad (3.5.2)$$

Таблиця 3.5.3. Матриця вагових коефіцієнтів елементів системи оцінок F_{TH} , що впливають на вибір транспортного вузла для виконання перевезення

i	K	W	C	T	φ
K	$q_{11} = \frac{1}{\Sigma_K}$	$q_{12} = \frac{p_{12}}{\Sigma_W}$	$q_{13} = \frac{p_{13}}{\Sigma_C}$	$q_{14} = \frac{p_{14}}{\Sigma_T}$	$\varphi_K = \sum_{j=1}^4 q_{1j}$
W	$q_{21} = \frac{p_{21}}{\Sigma_K}$	$q_{22} = \frac{1}{\Sigma_W}$	$q_{23} = \frac{p_{23}}{\Sigma_C}$	$q_{24} = \frac{p_{24}}{\Sigma_T}$	$\varphi_W = \sum_{j=1}^4 q_{2j}$
C	$q_{31} = \frac{p_{31}}{\Sigma_K}$	$q_{32} = \frac{p_{32}}{\Sigma_W}$	$q_{33} = \frac{1}{\Sigma_C}$	$q_{34} = \frac{p_{34}}{\Sigma_T}$	$\varphi_C = \sum_{j=1}^4 q_{3j}$
T	$q_{41} = \frac{p_{41}}{\Sigma_K}$	$q_{42} = \frac{p_{42}}{\Sigma_W}$	$q_{43} = \frac{1}{\Sigma_C}$	$q_{44} = \frac{1}{\Sigma_T}$	$\varphi_T = \sum_{j=1}^4 q_{4j}$

Джерело: складено автором

Наступний крок алгоритму (моделі) – порівняння альтернатив транспортних вузлів за визначеною системою оцінок (3.5.1). Однак, перед цим дані оцінки необхідно видозмінити за наступними міркуваннями.

Оскільки ми прагнемо до мінімізації рівня загроз, часу та витрат на перевезення, потрібно відобразити значення показника коефіцієнту готовності системи безпеки у "дзеркальному" вигляді. Ця операція необхідна для того, щоб забезпечити, що розроблена модель функціонує в межах загального завдання оптимізації, а саме мінімізації.

При цьому алгоритм табличних (матричних) перетворень залишається незмінним (табл. 3.5.4 та табл. 3.5.5.).

Таблиця 3.5.4. Матриця порівняння для TH_n за системою оцінок F_{TH} , що впливають на вибір транспортного вузла для виконання перевезення

K_i				
	TH_1	TH_2	...	TH_n
TH_1	$k_{11} = 1$	$k_{12} = \frac{K_1}{K_2}$	...	$k_{1n} = \frac{K_1}{K_n}$
TH_2	$k_{21} = \frac{K_2}{K_1}$	1	...	$k_{2n} = \frac{K_2}{K_n}$
...	...	...	1	...
TH_n	$k_{n1} = \frac{K_n}{K_1}$	$k_{n2} = \frac{K_n}{K_2}$	...	1
$\Sigma(1)$	$\sum_{i=1}^n k_{i1}$	$\sum_{i=1}^n k_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^n k_{in}$
W_i				
	TH_1	TH_2	...	TH_n
TH_1	$w_{11} = 1$	$w_{12} = \frac{W_1}{W_2}$	...	$w_{1n} = \frac{W_1}{W_n}$
TH_2	$w_{21} = \frac{W_2}{W_1}$	1	...	$w_{2n} = \frac{W_2}{W_n}$
...	...	...	1	...

TH_n	$w_{n1} = \frac{W_n}{W_1}$	$w_{n2} = \frac{W_n}{W_2}$	...	1
$\Sigma(2)$	$\sum_{i=1}^n w_{i1}$	$\sum_{i=1}^n w_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^n w_{in}$
T_i				
	TH_1	TH_2	...	TH_n
TH_1	$t_{11} = 1$	$t_{12} = \frac{T_1}{T_2}$	...	$t_{1n} = \frac{T_1}{T_n}$
TH_2	$t_{21} = \frac{T_2}{T_1}$	1	...	$t_{2n} = \frac{T_2}{T_n}$
...	...	...	1	...
TH_n	$t_{n1} = \frac{T_n}{T_1}$	$t_{n2} = \frac{T_n}{T_2}$	...	1
$\Sigma(3)$	$\sum_{i=1}^n t_{i1}$	$\sum_{i=1}^n t_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^n t_{in}$
C_i				
	TH_1	TH_2	...	TH_n
TH_1	$c_{11} = 1$	$c_{12} = \frac{C_1}{C_2}$	...	$c_{1n} = \frac{C_1}{C_n}$
TH_2	$c_{21} = \frac{C_2}{C_1}$	1	...	$c_{2n} = \frac{C_2}{C_n}$
...	...	...	1	...
TH_n	$c_{n1} = \frac{C_n}{C_1}$	$c_{n2} = \frac{C_n}{C_2}$	...	1
$\Sigma(4)$	$\sum_{i=1}^n c_{i1}$	$\sum_{i=1}^n c_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^n c_{in}$

Джерело: складено автором

Тоді матриця оцінювання вектору пріоритету транспортного вузла набуває вигляду:

Таблиця 3.5.5. Матриця векторів пріоритетів для транспортного вузла TH_n за системою оцінок F_{TH} .

Транс- портний вузол	Вектор пріоритету			
	K_i	W_i	T_i	C_i
TH_1	λ_1 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{k_{i1}}{\sum_{i=1}^n k_{i1}}$	ω_1 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{w_{i1}}{\sum_{i=1}^n w_{i1}}$	τ_1 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{i1}}{\sum_{i=1}^n t_{i1}}$	θ_1 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{c_{i1}}{\sum_{i=1}^n c_{i1}}$
TH_2	λ_2 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{k_{i2}}{\sum_{i=1}^n k_{i2}}$	ω_2 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{w_{i2}}{\sum_{i=1}^n w_{i2}}$	τ_2 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{i2}}{\sum_{i=1}^n t_{i2}}$	θ_2 $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{c_{i2}}{\sum_{i=1}^n c_{i2}}$
...
TH_n	λ_n $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{k_{in}}{\sum_{i=1}^n k_{in}}$	ω_n $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{w_{in}}{\sum_{i=1}^n w_{in}}$	τ_n $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{in}}{\sum_{i=1}^n t_{in}}$	θ_n $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{c_{in}}{\sum_{i=1}^n c_{in}}$

Джерело: складено автором

В результаті сформовано матриці векторів пріоритетів та матриця вагових коефіцієнтів факторів (табл. 3.5.6).

Таблиця 3.5.6. Результуюча матриця векторів пріоритетів та вагових коефіцієнтів для вибору транспортного вузла для виконання перевезення

	φ_K	φ_W	φ_C	φ_T
TH_1	λ_1	ω_1	θ_1	τ_1
TH_2	λ_2	ω_2	θ_2	τ_2
...
TH_n	λ_T	ω_n	θ_n	τ_n

Джерело: складено автором

Тоді визначення оптимального за показником безпеки транспортного вузла TH_{opt} зводиться до визначення мінімального значення матриці, яка є результатом множення матриць векторів пріоритетів та вагових коефіцієнтів факторів:

$$TH_{opt} = TH \left(\min \left[\begin{pmatrix} \lambda_1 & \omega_1 & \theta_1 & \tau_1 \\ \lambda_2 & \omega_2 & \theta_2 & \tau_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_n & \omega_n & \theta_n & \tau_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \varphi_K \\ \varphi_W \\ \varphi_C \\ \varphi_T \end{pmatrix} \right] \right), \quad (3.5.3)$$

Модель вибору оптимального маршруту перевезення між транспортними вузлами TR_m .

Дана модель полягає у виборі безпечного маршруту перевезення TR_{opt} до оптимального за показником безпеки транспортного вузла TH_{opt} .

Дана процедура виконується аналогічно першому етапу, проте вже з урахуванням факторів, що впливають на вибір на маршруту перевезення, а саме:

$$F_{TR} = [R_j, E_j, T_j, C_j], \quad (3.5.4)$$

де R_j – ризик настання надзвичайних ситуацій на j -му маршруті перевезення (див. п. 3.4); E_j – кількість викидів шкідливих речовин в атмосферу на j -му маршруті перевезення; T_j – час, необхідний на фактичне перевезення за j -м маршрутом; C_i – витрати на фактичне перевезення за j -м маршрутом.

Таким чином, циклічне повторення першого та другого етапів - визначення найбільш безпечного транспортного вузла та маршруту перевезення до нього - призводить до формування оптимальної - за показником транспортної безпеки – інтегрованої системи перевезень вантажів (*ITS*).

Алгоритм (модель) формування безпечного інтегрованого перевезення можна подати наступним чином (рис. 3.5.1).

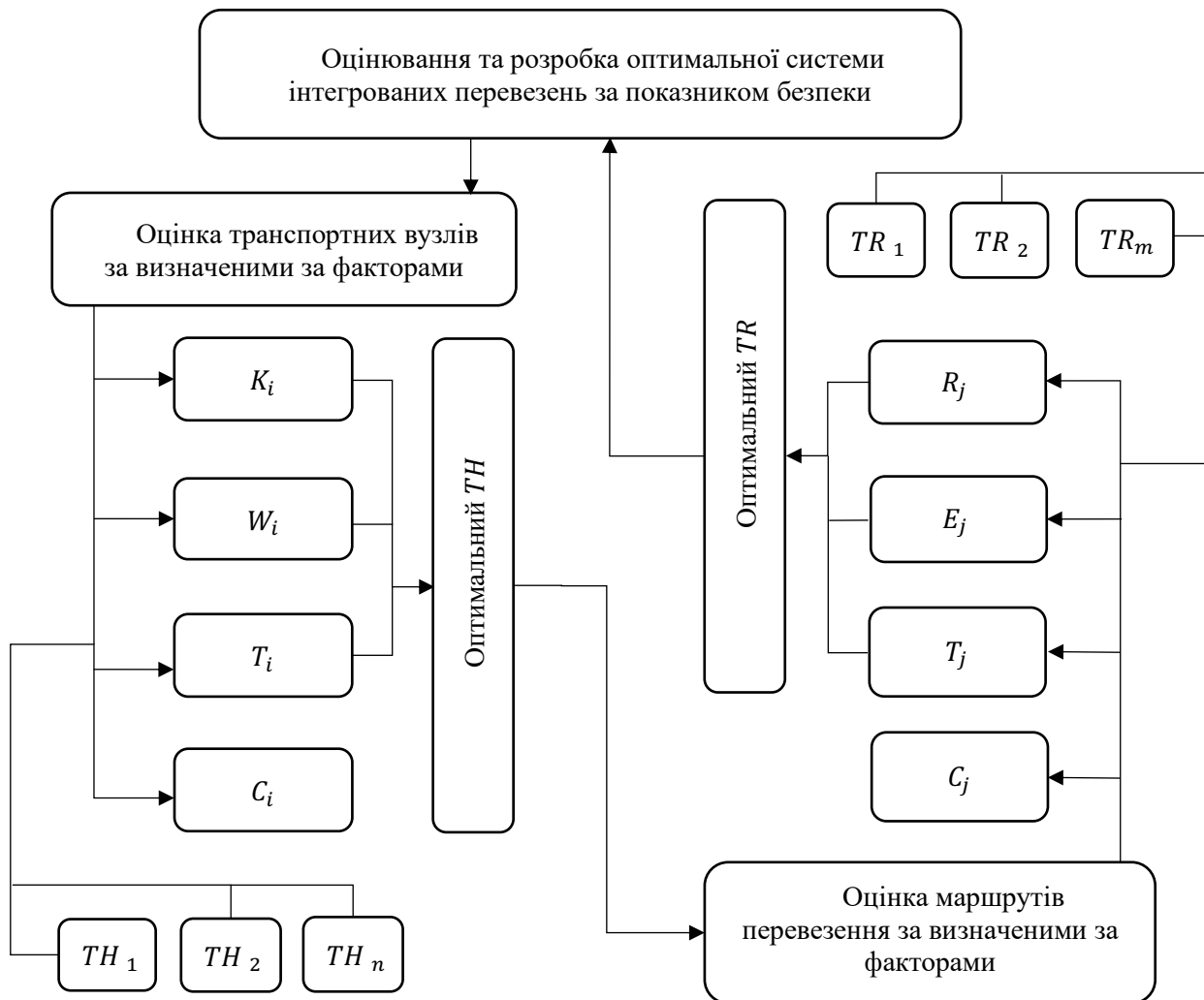


Рис. 3.5.1. Модель оцінювання та розробки оптимальної системи інтегрованих перевезень за показником безпеки

Джерело: сформовано автором

Тоді математично:

$$ITS = [TH_{opt1}; TR_{opt1}] + [TH_{opt2}; TR_{opt2}] + \dots + [TH_{optn}; TR_{optn}] \quad (3.5.5)$$

Практичне використання вищеприписаної методики дозволяє вже на етапі проектування транспортно-технологічних схем (ТТС) інтегрованих перевезень оцінити альтернативні варіанти ТТС і розробити найкращий за показником безпеки маршрут, тим самим забезпечуючи комплексну транспортну безпеку вантажів.

3.6. Висновки до розділу 3

З урахуванням особливостей функціонування інтегрованих транспортних систем та виявлених недоліків у наявних методах оцінки безпеки на різних видах транспорту, автор дисертаційного дослідження розробив модель комплексної оцінки транспортної безпеки інтегрованих систем перевезення вантажів для побудови оптимальних маршрутів з точки зору безпеки, яка включає в себе наступні під-моделі:

- модель оцінки надійності (K_n) транспортного вузла (TH_n);
- модель оцінки загрози зовнішнього середовища (W_n) транспортного вузла (TH_n); для розрахунку цього параметру був розроблений інтелектуальний класифікатор оцінки зовнішніх загроз ІКОЗЗ (див. п. 3.3) за допомогою нечіткої логіки;
- модель вибору оптимального транспортного вузла (TH_{optn}) за оцінкою рівня його безпеки, яке здійснюється за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті на основі вже розроблених моделей оцінки надійності (K_n) та загрози зовнішнього середовища (W_n) транспортного вузла (TH_n). Окрім того, модель включає в себе час (T_n) та витрати (C_n) на перевезення.
- модифікована модель оцінка ризиків настання надзвичайних подій на маршрутах (R_m);
- модель вибору оптимального маршруту перевезення (TR_{optn}) за оцінкою рівня його безпеки, яке здійснюється за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті на основі вже розробленої моделі оцінки ризику настання надзвичайних подій (R_m). Окрім того, модель включає в себе час (T_m) та витрати (C_m) на перевезення.

Практичне застосування цієї методики дає змогу оцінювати альтернативні варіанти та розробляти найбільш безпечний маршрут ще на етапі проектування транспортно-технологічних схем (ТТС) інтегрованих перевезень, забезпечуючи комплексну транспортну безпеку.

РОЗДІЛ 4. АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ІНТЕГРОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ БЕЗПЕЧНИХ МАРШРУТІВ ПЕРЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

4.1. Формування вихідних даних для апробації результуючої моделі комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем

Загалом, типовий граф інтегрованої системи перевезення можна подати на рис. 4.1.1.

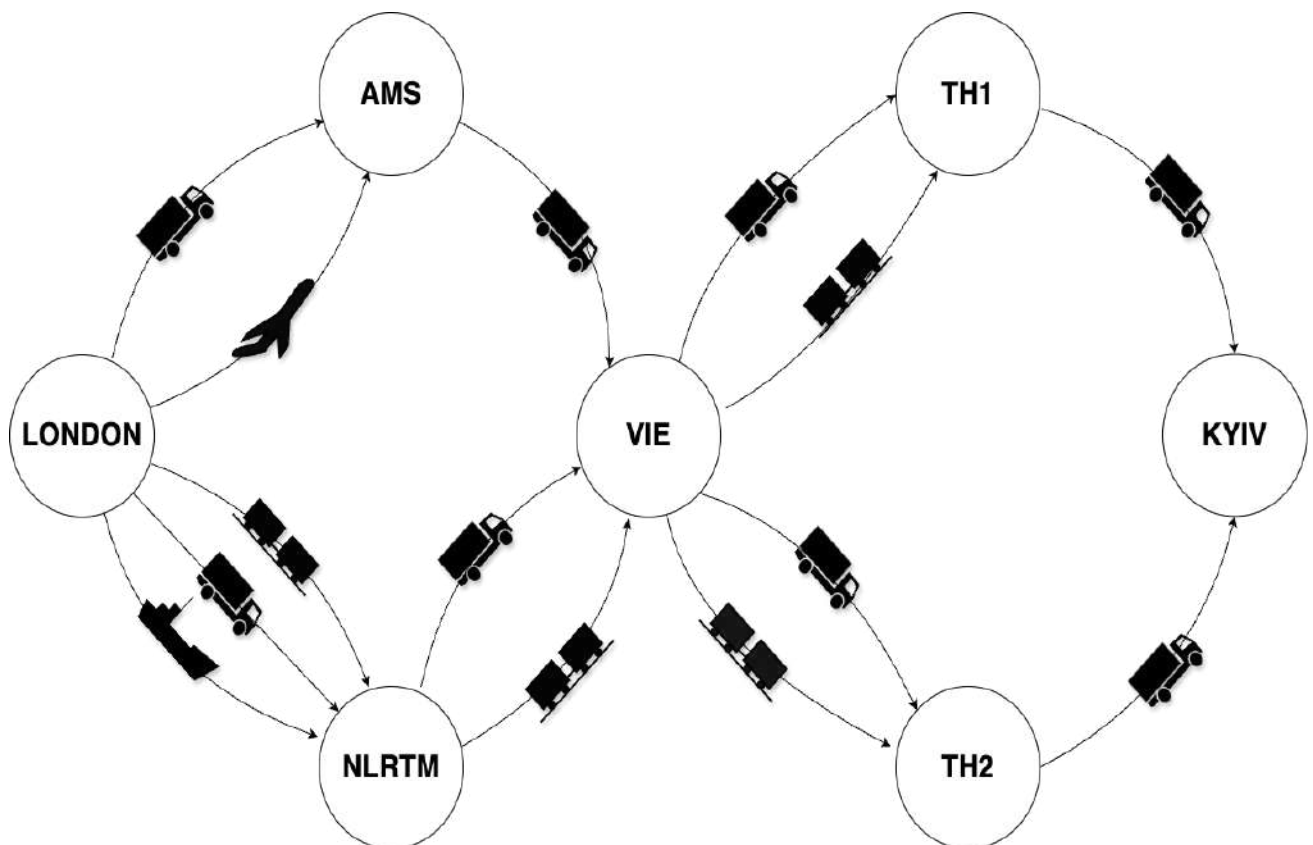


Рис. 4.1.1. Розроблений гіпотетичний граф інтегрованої системи перевезення вантажів

Джерело: сформоване автором

При цьому важливо зробити наступну ремарку: інтегровані транспортні є досить новим напрямком транспортної науки. Очевидно, що необхідною умовою

для функціонування таких систем є наявність транспортних вузлів, які здатні обробити вантажі на різних видах транспорту.

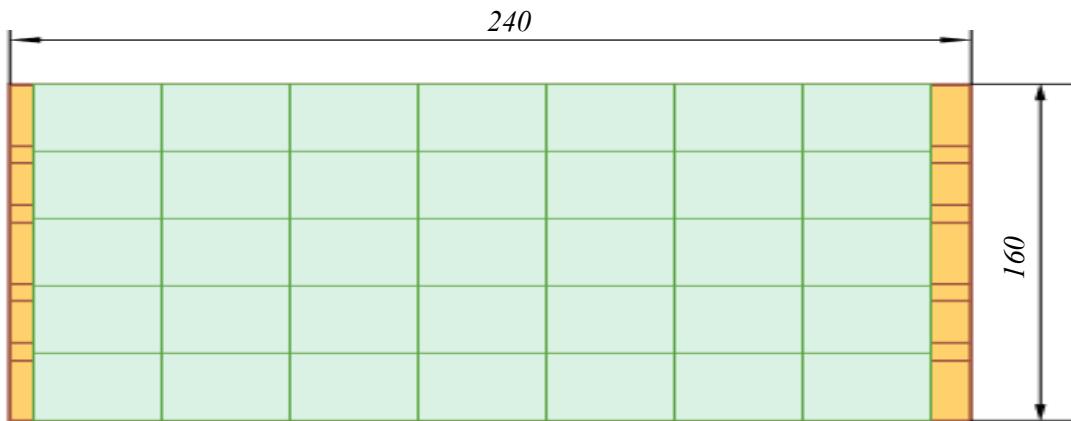
Варто зазначити, що на сьогодні є досить незначна кількість аеропортів, морських портів, залізничних станцій, які мають у своєму «арсеналі» необхідні інфраструктурні, технічні та технологічні рішення для забезпечення обробки вантажів та подальшого перенавантаження за різних видів транспорту.

Тому в рамках дослідження автором було розглянуто транспортні вузли, які: 1) мають необхідну інфраструктуру для забезпечення такого роду перевезень, тобто, по-суті, можливості для реалізації інтегрованих транспортних перевезення; 2) мають достатню кількість статистичної інформації для проведення оцінки їх безпеки, оскільки на сьогоднішній день така інформація має закритий характер.

Вихідне завдання можна сформулювати наступним чином: оператору мультимодальних перевезень «Freight Transport Partners» необхідно транспортувати вантаж з Лондона до Києва. Так як даний вантаж є важливим для забезпечення стабільного функціонування критичної інфраструктури України, то забезпечення його безпеки є першочерговим пріоритетом для оператора.

Характеристики партії вантажу подані на рис. 4.1.2. При цьому об'ємна вага вантажу складає 571,392 кг, фактична вага вантажу складає 990 кг, тоді розрахункова маса вантажу – 990 кг.

У графі системи перевезень (рис. 4.1.1) розглядаються такі транспортні вузли як: Міжнародний аеропорт Схіпгол (м. Амстердам, Нідерланди) – AMS; Міжнародний морський порт Роттердам (м. Роттердам, Нідерланди) – NLR TM; Міжнародний аеропорт Відень (м. Відень, Австрія); транспортні вузли на території України, які використовує як мультимодальні термінали логістична компанія «ФТР», причому під ТН1 приймається вузол, розташований у м. Луцьк (Україна), а під ТН2 – вузол, який розташований у м. Хмельницький (Україна).



а) горизонтальна проекція партії вантажу, що необхідно транспортувати



б) фронтальна проекція партії вантажу, що необхідно транспортувати

Рис. 4.1.2. Фронтальна та горизонтальні проекції вантажу, який необхідно транспортувати

Джерело: сформоване автором

Міжнародний аеропорт Схіпгол (м. Амстердам, Нідерланди)

Міжнародний аеропорт Схіпгол (ICAO: EHAM, IATA: AMS) — основний аеропорт Нідерландів, розташований за 17,5 км на південний захід від Амстердама, що приблизно 20 хвилин їзди від центру міста. Він знаходиться у муніципалітеті Гарлемермер. Схіпгол є одним з найбільших аеропортів Європи та важливим авіаційним хабом, який обслуговує мільйони пасажирів щорічно.



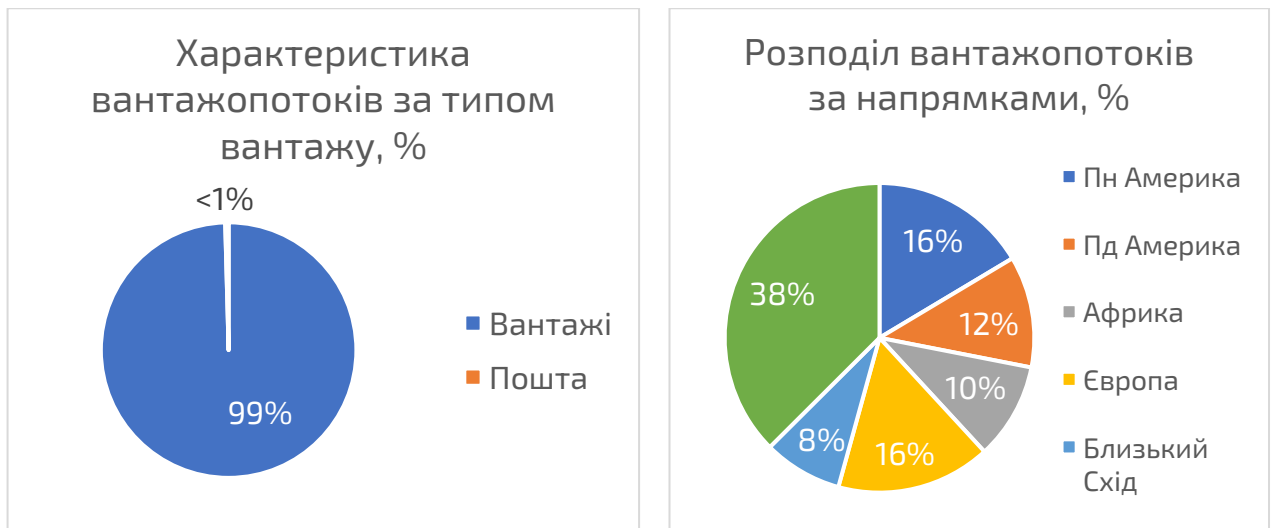
Рис. 4.1.3. Міжнародний аеропорт Схіпгол (м. Амстердам, Нідерланди)
Джерело: сформоване автором на базі [169-179]



Рис. 4.1.4. Динаміка загальних вантажопотоків МА Схіпгол
Джерело: сформоване автором на базі [169-179]

На рис. 4.1.4 подано графік вантажопотоків МА Схіпгол за 2010-2023 роки. Варто відзначити, що вплив пандемії COVID-19 на кількість оброблених вантажів аеропорту є незначним (спад показників $\approx 16\%$). Характеристика вантажів за типом та країною прибуття подано на рис. 4.1.5.

Варто відзначити, що останніми роками спостерігається спадний тренд на вантажні перевезення в аеропорту (рис. 4.1.4). Таку тенденцію можна пояснити впливом закритого авіапростору України та росії, оскільки «найпопулярнішим» напрямком для вантажів є Азія (рис. 4.1.5).



а) характеристика за типом вантажу б) вантажопотоки за континентом

Рис. 4.1.5. Характеристики вантажопотоків МА Схіпгол за типом (а) та континентом (б)

Джерело: сформоване автором на базі [169-179]

Провівши аналіз щорічних звітів компанії [169-179], яка керує аеропортом (Royal Schiphol Group) та інформації у ЗМІ [230], було встановлені кількості відмов системи безпеки аеропорту (табл. 4.1.1)

Таблиця 4.1.1. Відмови системи забезпечення безпеки у МА Схіпгол

№	Тип відмови	Період дослідження	Кількість випадків
1	Акти незаконного втручання (в даному випадку – проникнення на ЗПС)	2007-2023 роки	549
2	Операційні інциденти	2014 – 2023 роки	155
3	Пожежа	2007 – 2023 роки	1
4	Детонація вибухового пристрою	2007 – 2023 роки	1

Джерело: складено автором на основі аналізу [169-179], [230]

Окрім того, автором було проаналізовано тарифи на обробку у вантажному терміналі аеропорту [231] та показник криміногенності м. Амстердам [232].

Міжнародний морський порт Роттердам (м. Роттердам, Нідерланди)

Морський порт Роттердама є найбільшим у Європі та одним із найбільших у світі. Він розташований у місті Роттердам (Нідерланди) в гирлі річки Рейн.

На рис. 4.1.7 подано графік вантажопотоків МП Роттердам за 2012-2023 роки. Варто відзначити, що вплив пандемії COVID-19 на кількість оброблених вантажів морського порту був незначним (спад показників $\approx 7\%$). Характеристику вантажів за типами подано на рис. 4.1.8.

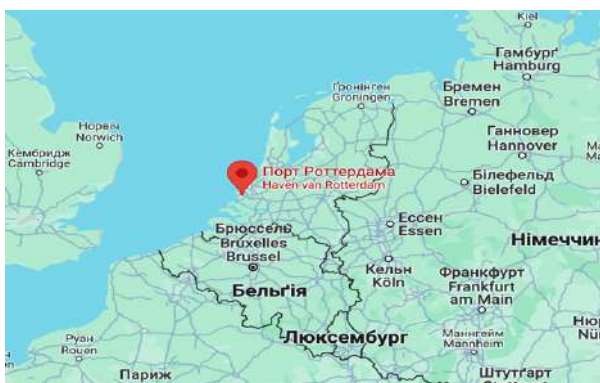


Рис. 4.1.6. Міжнародний морський порт Роттердам (м. Роттердам, Нідерланди)

Джерело: сформоване автором на базі [233-240]



Рис. 4.1.7. Динаміка загальних вантажопотоків МП Роттердам

Джерело: сформоване автором на базі [233-240]

Відзначено, що останніми роками спостерігається спадний тренд на вантажні перевезення в морському порті (див рис. 4.1.7). Таку тенденцію можна пояснити впливом закритих морських сполучень в Україні та санкціями на російський ринок корисних копалинь.

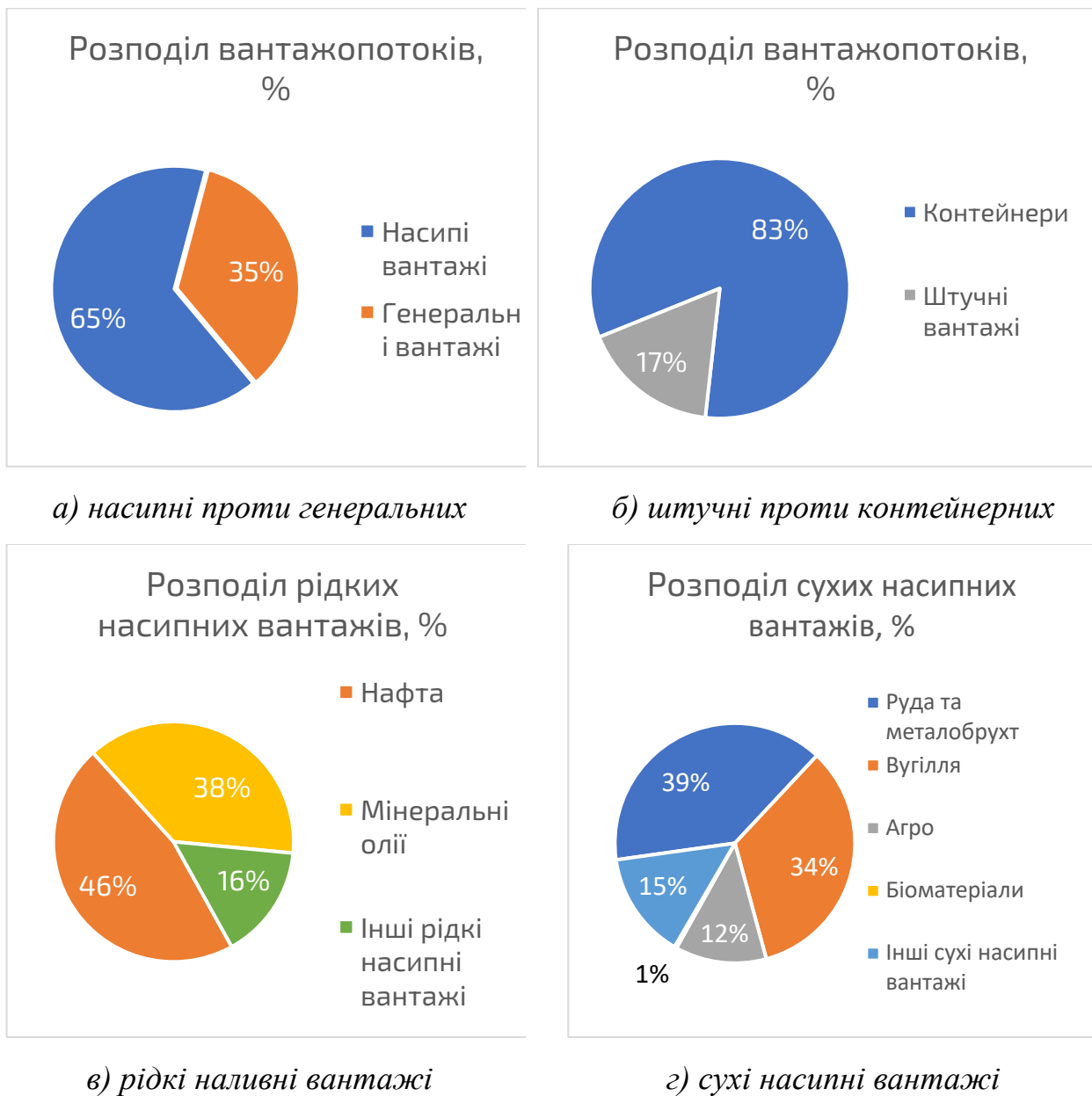


Рис. 4.1.8. Характеристики вантажопотоків МА Схіпгол: насипні проти генеральних (а), штучні проти контейнерних (б), рідкі насипні вантажі (в), сухі насипні вантажі (г).

Джерело: сформоване автором на базі [233-240]

Провівши аналіз щорічних звітів компанії [233-240], яка керує морським портом (Port of Rotterdam Authority) та інформації у ЗМІ [241], було встановлені кількості відмов системи безпеки аеропорту (табл. 4.1.2)

Таблиця 4.1.2. Відмови системи забезпечення безпеки у МП Роттердам

№	Тип відмови	Період дослідження	Кількість випадків
1	Акти незаконного втручання	2013 – 2023 роки	78
2	Операційні інциденти	2013 – 2023 роки	1384

Джерело: складено автором на основі аналізу [233-240]

Окрім того, автором було проаналізовано тарифи на обробку у вантажному терміналі морського порту [243] та показник криміногенності м. Роттердам [242].

Міжнародний аеропорт Відень (м. Відень, Австрія)

Міжнародний аеропорт Відень-Швехат є найбільшим аеропортом Австрії. Він розташований за 18 км на південний схід від Відня, столиці Австрії, і за 57 км на захід від Братислави.

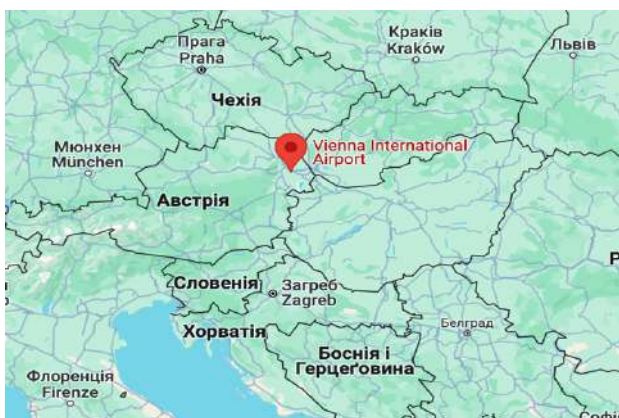


Рис. 4.1.9. Міжнародний аеропорт Відень (м. Відень, Австрія)

Джерело: сформоване автором на базі [243]

На рис. 4.1.10 подано графік вантажопотоків МП Роттердам за 2012-2023 роки. Варто відзначити, що пандемія COVID-19 мала істотний вплив (спад показників $\approx 23\%$) на кількість оброблених вантажів аеропорту. Останніми роками в МА Відень спостерігається спадний тренд на вантажні перевезення в аеропорті.



Рис. 4.1.10. Динаміка загальних вантажопотоків МА Відень

Джерело: сформоване автором на базі [243]

Так як у графі перевезень (рис. 4.1.1) на ділянці маршруту, де присутній даний аеропорт, відсутні альтернативні транспортні вузли, то аналіз відмов системи безпеки не проводився.

Транспортно-логістична компанія FTP (Freight Transport Partners)

Компанія ТОВ «ФТП» (LLC «FTP», «Freight Transport Partners») з 2010 року є логістичним оператором на українському ринку транспортних послуг. Вона виконує комплексний підхід до ведення бізнесу, що дозволяє здійснювати супровід перевезення на кожній ділянці маршруту.

За наданими під час опитування експертів-директорів транспортних компанії ТОВ «ФТП», було складено порівняльну таблицю відмов системи безпеки транспортних вузлів, що їм належать (табл. 4.1.3)

Таблиця 4.1.3. Відмови системи забезпечення безпеки у МА Схіпгол

№	Тип відмови	Період дослідження	Кількість випадків
Транспортний вузол у м. Луцьк			
1	Акти незаконного втручання	2018-2023 роки	15
2	Операційні інциденти	2018 – 2023 роки	29
3	Пожежа	2018 – 2023 роки	1
Транспортний вузол у м. Хмельницький			
1	Акти незаконного втручання	2021-2023 роки	4
2	Операційні інциденти	2021 – 2023 роки	17

Джерело: складено автором на основі опитування експертів (директорів та персоналу транспортно-логістичної компанії FTP)

Розрахунок часу та грошових витрат, які необхідні на обробку вантажів у вузлах

Тривалість операцій по обробці та зберіганні вантажу можна розрахувати наступним чином [245]:

$$t_{\text{обробка}} = t_{\text{во}} + t_{\text{ко}} + t_{\text{мо}} + t_{\text{зб}} \quad (4.1.1)$$

де $t_{\text{обробка}}$ – тривалість обробки вантажу у транспортному вузлі, год; $t_{\text{во}}$ – вантажні операції у транспортному вузлі, год; $t_{\text{ко.в}}$ – комерційні операції у транспортному вузлі, год; $t_{\text{мв}}$ – митні операції, год; $t_{\text{зб}}$ – час на зберігання вантажів між рейсами у транспортному вузлі.

Для обчислення в роботі були використані середні значення тривалості операцій у транспортному вузлі залежно від партії вантажу (табл. 4.1.4) [245]:

Таблиця 4.1.4. Середньостатистичне значення тривалості операцій на транспортному вузлі

Партія вантажу, кг	Операції (хв)		
	$t_{\text{во}}$	$t_{\text{ко}}$	$t_{\text{мо}}$
90	30	50	90
200	35	60	95
500	40	70	100
1000	50	80	110
2000	70	90	120
3000	90	100	130
4000	110	110	140
6000	130	120	150

Джерело: складено автором на основі [245]

Виходячи з даних у табл. 4.1.1 було розраховано тривалість операцій у транспортних вузлах (табл. 4.1.5). Також було враховано: 1) розрахункову масу вантажу (990 кг); 2) середній час очікування вантажів в аеропорту Схіпгол, що складає 1-2 дні [231]; середній час очікування вантажів у морському порті Роттердам, що складає 2-3 дні [243], середній час очікування вантажів в аеропорті Відень, що складає 2-3 дні [246]; 3) середній час очікування вантажів в транспортних вузлах ТН1 та ТН2 складає по 3-4 дні (оцінено експертами - дирекцією та працівниками логістичної компанії FTP).

Окрім того в таблицю 4.1.5 автором були занесені показники криміногенності території, в якій функціонує термінал, що були отримані за допомогою ресурсу Numbeo [247].

Таблиця 4.1.5. Вихідні дані щодо часу та витрат на обробку транспортних вузлів, а також криміногенності зовнішнього середовища

№	Показник	Транспортний вузол				
		AMS	NL RTM	VIE	TH1	TH2
1	Час обробки вантажів, дні	2,17	3,17	3,17	4,17	4,17
2	Витрати обробку вантажу, євро	630,55	421,5	512,2	110,1	123,1
3	Криміногенність зовнішнього середовища	28,59	28,10	30,2	41,07	24,17

Джерело: складено автором на основі розрахунків

Розрахунок вартості обробки в транспортних вузлах відбувся за рахунок їх тарифної сітки, а вартості перевезення – за середніми показниками тарифів на транспортному ринку та експертній оцінці (див. п. 4.4).

4.2. Розрахунок оцінки надійності транспортного вузла в інтегрованій системі перевезення вантажів

Показниками надійності системи забезпечення безпеки вантажу у транспортному вузлі, як зазначено у п.3.3, є: функція готовності ($K_r(t) = p_0(t)$); коефіцієнт готовності (K_r); напрацювання на відмову (T); середній час на відновлення системи (T_B); параметр потоку відмов ($\omega(t)$).

Демонстрація розрахунку за моделлю показана на прикладі оцінки надійності аеропорту Схіпгол. Провівши аналіз характеру відмов (див. табл. 4.1.1), їх частоти та організаційної структури аеропорту [169-179], виведено систему, яка прямим (та непрямим) чином забезпечує збереженість вантажу у транспортному вузлі.

Нехай дана система буде мати назву «система забезпечення безпеки вантажів (система ЗБВ)» та складатися з таких елементів: ВП – служба

воєнізованою поліції, ВВОА – відділ внутрішньої охорони аеропорту, АБ – служба авіаційної безпеки; ОВ – служба по обробці вантажів.

Таким чином, граф системи забезпечення безпеки вантажів у аеропорті Схіпгол (див. рис.4.2.1):

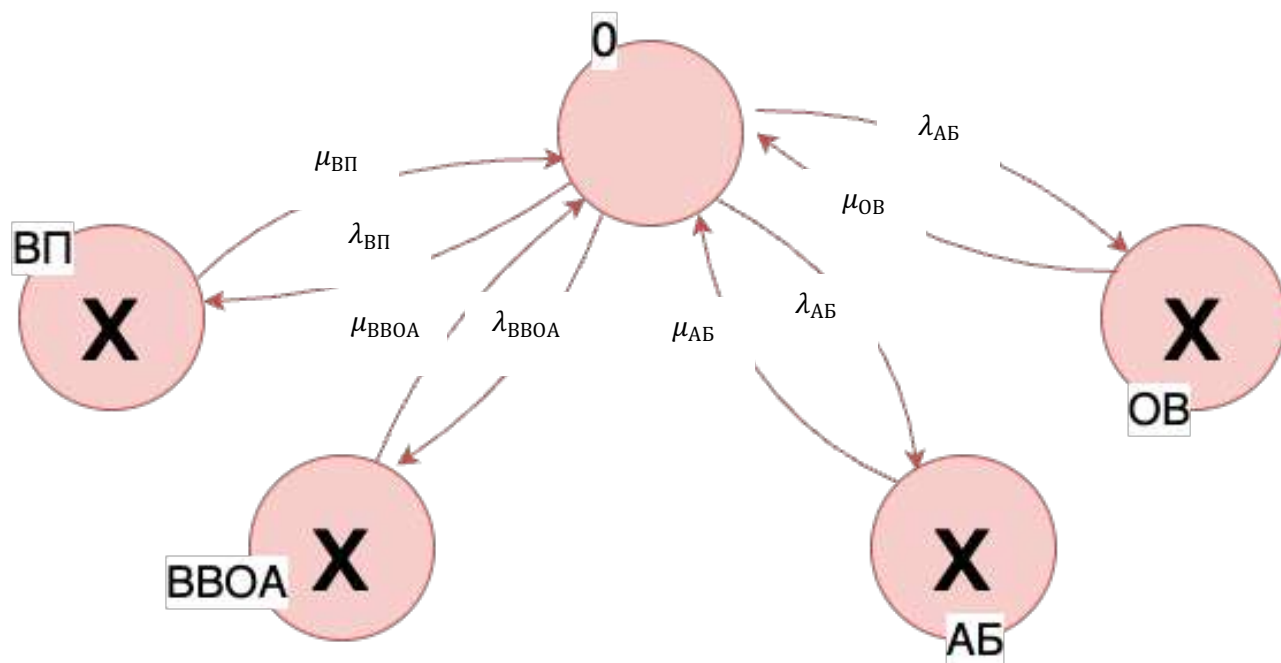


Рис. 4.2.1. Граф стану системи ЗБВ у Міжнародному аеропорту Схіпгол
Джерело: сформоване автором

Вищезнаначені міркування призводять до формування таблиці відмов елементів (λ_i) системи безпеки (див. табл. 4.2.1), заповнення якої відбувається за формулою:

$$\lambda_i = \frac{N_i}{T_i \cdot h} \quad (4.2.1)$$

де, N_i – кількість відмов системи ЗБВ до запобіганню яких має відношення i - елемент; T_i – період дослідження елементу i -елементу системи ЗБВ; h - крок для розрахунку інтенсивності (в даному випадку він рівний 24 годинам).

Таблиця 4.2.1. Інтенсивності відмов елементів системи ЗБВ.

№	ВП	ВВОА	АБ	РВ
$\lambda_i, \text{год}^{-1}$	0,00368654	6,715E-06	0,00368654	0,000627854

Джерело: сформоване автором

Зазначено, що так як, наприклад, час відновлення елементів ОВ (служба по обробці вантажів) при відмові буде очевидно нижчим за час відновлення елементів АБ (служба авіаційної безпеки), тому помилковим буде вважати, що ці параметри рівні. Таким чином, табл. 4.2.1 була доповнена інтенсивностями відновлення елементів (μ_i) системи ЗБВ, які розраховуються за формулою:

$$\mu_i = \frac{1}{T_{vi}} \quad (4.2.2)$$

де T_{vi} – середній час відновлення елементу системи ЗБВ (такі оцінки в роботі були сформовані експертним шляхом з [96]).

Таблиця 4.2.2. Інтенсивності відмов та відновлення елементів системи ЗБВ Міжнародного аеропорту Схіпгол

№	ВП	ВВОА	АБ	РВ
$\lambda_i, \text{год}^{-1}$	0,00368654	6,715E-06	0,00368654	0,000627854
$\mu_i, \text{год}^{-1}$	0,33	0,33	0,33	1

Джерело: сформоване автором

Тоді за формулою (3.2.5) розраховано коефіцієнт готовності (K_r):

$$p_0 = K_r = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}};$$

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{0,00369}{0,33} + \frac{0,00369}{0,33} + \frac{0,000006715}{0,33} + \frac{0,000636}{1}};$$

$$K_r = 0,97744784 \approx 0,9775$$

За формулою (3.2.7) визначено напрацювання на відмову (T):

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{0,00369 + 0,00369 + 0,000006715 + 0,000636};$$

$$T = 124,88 \text{ год} \approx 125 \text{ год}$$

За формулою (3.2.8) визначено середній час відновлення (T_B) системи:

$$T_B = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} = \frac{5 \cdot 0,0301}{0,008} = 18,8711 \text{ год} \approx 19 \text{ год};$$

Подальший розрахунок оцінок надійності транспортних вузлів відбувся за ідентичною системою ЗБВ за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

На рис. 4.2.2 подано програмний код для розрахунку статичних показників надійності.

Зведені результати ж розрахунку коефіцієнту готовності, напрацювання на відмову та середній час відновлення подано у табл. 4.2.3.

```

1  clc
2  clear all
3
4  % Модель надійності транспортного вузла в інтегрованих
5  % системах перевезення
6
7  % крок 1: задання інтенсивності відмов та відновлення елементів системи ЗБВ
8
9  a = [0.00368654 0.000006715 0.00368654 0.000627854] % інтенсивності відмов
10 m = [0.33 0.33 0.33 1] % інтенсивності відновлення
11
12 % крок 2: знаходження статичних показників надійності: T, Tv, Kr
13
14 Kr = 1 / ( 1+ sum (a./m) ) % коефіцієнт готовності системи ЗБВ
15
16 T = 1 / sum(a) % напрацювання на відмову
17
18 Tv = sum (a./m) / sum(a) % середній час відновлення системи

```

Рис. 4.2.2. Програмний код у середовищі MATLAB для спрощеного розрахунку за стаціонарних показників надійності транспортного вузла

Джерело: сформоване автором

Загалом, функція готовності $K_r(t)$ до роботи у будь-який момент часу t у загальному вигляді подана у (3.2.1). Функцію готовності системи безпеки аеропорту Сгіпгол можна розрахувати декількома способами: за допомогою вирішення системи диференціальних рівнянь типу (3.2.1); вирішенням системи диференціальних рівнянь числовим способом (за допомогою методу Рунге-Кути); розробки та вирішення інтегрального рівняння; способу поєднання вузлів графу станів системи.

Однак, за Павлюком О.М. [212], для нерезервованих відновлювальних систем з низькою кількістю елементів зазначені методи дають приблизно однаковий результат (з похибкою у $\pm 0,00001$). Тому для виведення функції готовності $K_r(t)$ автор використав спосіб поєднання вузлів графу станів системи.

Так як інтенсивності відмови системи дорівнюють сумі інтенсивності відмов елементів, то можна об'єднати гілки переходів зі справного стану до відмовного. Таким чином:

$$\mu_c = \frac{\lambda_c}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} \quad (4.2.3)$$

Тоді :

$$\mu_c = \frac{\lambda_c}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} = 0,3483$$

В даному випадку функції готовності $K_r(t)$ задається наступною формулою [212]:

$$K_r(t) = \frac{\mu_c}{\lambda_c + \mu_c} + \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \mu_c} e^{-(\lambda_c + \mu_c)t} \quad (4.2.4)$$

$$K_r(t) = \frac{0,3483}{0,3483 + 0,008} + \frac{0,008}{0,3483 + 0,008} e^{-(0,008 + 0,3483)t}$$

$$K_r(t) = 0,9775 + 0,0225e^{-3563 \cdot t}$$

Функцію готовності системи ЗБВ подано на рис. 4.2.3.

В даному контексті необхідно зазначити, що під часом перехідного процесу розуміється період часу, коли елементи системи максимально зосереджені на забезпеченні безпеки.

З плином часу динамічний показник готовності до роботи у будь-який момент часу змінюється на статичний (наприклад, розсіюється увага працівників служби авіаційної безпеки), тривалість якого визначає час перехідного процесу.

Розроблений код у ПЗ MATLAB подано на рис. 4.2.4.

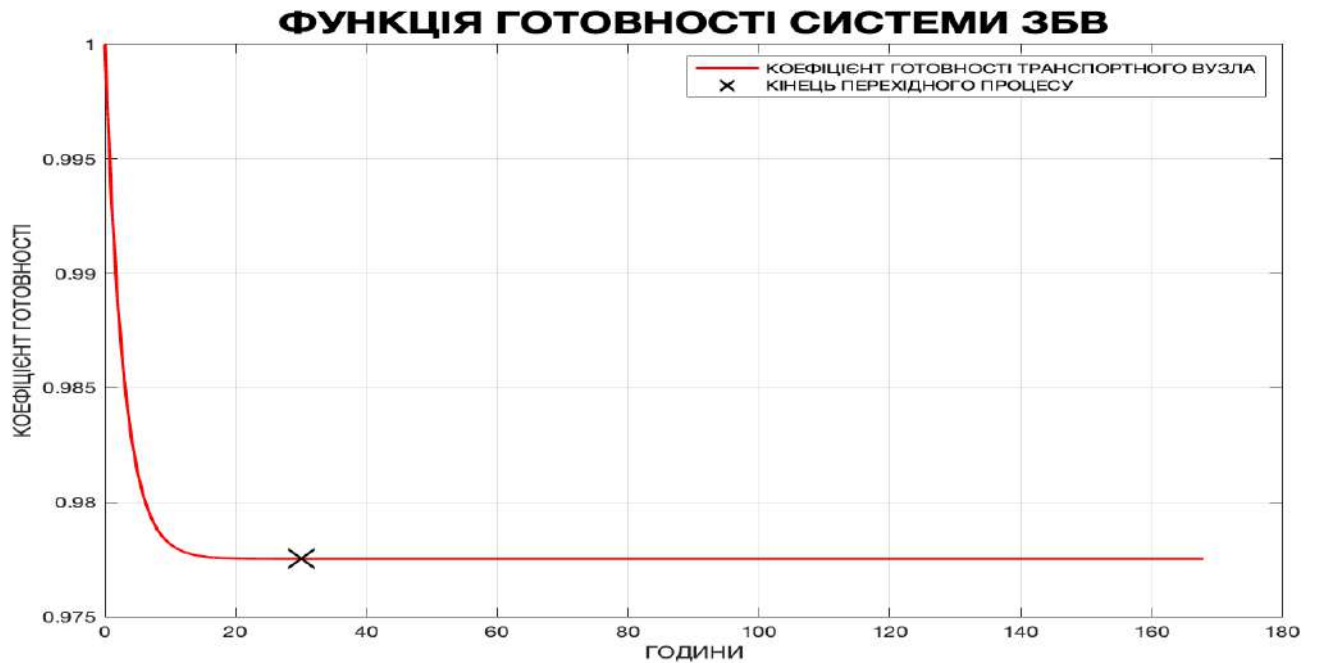


Рис. 4.2.3. Функція готовності системи ЗБВ Міжнародного аеропорту Схіпгол (час перехідного процесу складає 30 годин)

Джерело: сформоване автором у програмному забезпеченні MATLAB

```

1  clc
2  clear all
3
4  % Модель надійності транспортного вузла в інтегрованих
5  % системах перевезення
6
7  % крок 1: задання інтенсивності відмов та відновлення елементів системи ЗБВ
8
9  a = [0.00368654 0.000006715 0.00368654 0.000627854] % інтенсивності відмов
10 m = [0.33 0.33 0.33 1] % інтенсивності відновлення
11
12 % крок 2: знаходження статичних показників надійності: T, Tv, Kf
13
14 Kr = 1 / ( 1 + sum ( a./m ) ) % коефіцієнт готовності системи ЗБВ
15 T = 1 / sum ( a ) % напрацювання на відмову
16 Tv = sum ( a./m ) / sum(a) % середній час відновлення системи
17
18
19 % крок 3: визначення функції готовності системи ЗБВ
20
21 t = 0:1:168 % крок табуляції
22 mc = sum(a) / sum(a./ m) % постійна величина інтенсивності відмови
23 Kf = ( mc / ( mc + sum(a) ) ) + ( sum(a) / ( mc + sum(a) ) ) * 2.721828.^(-(mc + sum(a)) * t);
24
25
26 plot(t, Kf, 'r', 'lineWidth', 1.5)
27 xlabel ('ГОДИНИ')
28 ylabel ('КОЕФІЦІЄНТ ГОТОВНОСТІ')
29 hold on
30 plot(30, Kr, 'xk', 'lineWidth', 2, 'MarkerSize', 15)
31 title('ФУНКЦІЯ ГОТОВНОСТІ СИСТЕМИ ЗБВ', 'fontSize', 20)
32 legend ('КОЕФІЦІЄНТ ГОТОВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗЛА','КІНЕЦЬ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ')
33 grid on
34

```

Рис. 4.2.4. Програмний код середовищі MATLAB для розрахунку стаціонарних та динамічних параметрів системи безпеки МА Схіпгол

Джерело: сформоване автором у програмному забезпеченні MATLAB

Розрахунок стаціонарних показників надійності систем ЗБВ за різними транспортними вузлами подано у табл. 4.2.3, а їх функції надійності – на рис. 4.2.5.



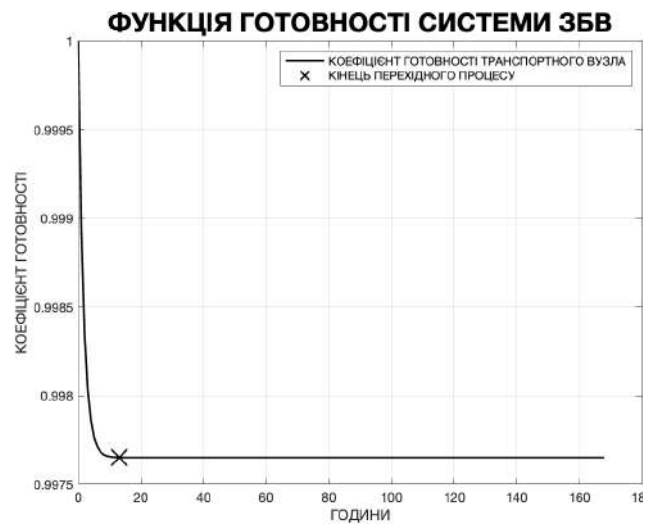
а) функція готовності системи забезпечення безпеки вантажів AMS



б) функція готовності системи забезпечення безпеки вантажів NL RTM



в) функція готовності системи забезпечення безпеки вантажів TN1



г) функція готовності системи забезпечення безпеки вантажів TN2

Рис. 4.2.5. Функції готовності систем забезпечення безпеки транспортних вузлів в інтегрованих системах перевезення вантажів

Джерело: сформоване автором як результат розрахунку за алгоритмом на рис. 4.2.4.

Таблиця 4.2.3. Зведена таблиця стаціонарних результатів оцінки надійності транспортних вузлів

	Напрацювання на відмову, год (T)	Середній час відновлення, год (T_B)	Значення перехідного процесу, год	Коефіцієнт готовності
AMS	125	19	30	0,9775
NLRТM	57	2	17	0,9643
ТН1	422	2	22	0,9944
ТН2	701	2	13	0,9977

Джерело: сформоване автором як результат розрахунку за алгоритмом на рис. 4.2.4.

Таким чином, можна зробити висновок, що з точки зору оцінки надійності системи забезпечення безпеки транспортного вузла, найбільш оптимальним є транспортний вузол у м. Хмельницький (ТН2) з показником коефіцієнту готовності 0,9977.

4.3. Розрахунок оцінки загроз зовнішнього середовища транспортного вузла з використанням інтелектуальних технологій

Розробка інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз (ІКОЗЗ) транспортного вузла та розрахунок за ним проведено у програмному середовищі MATLAB за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox. Автором було поділено процедуру розробки ІКОЗЗ на декілька послідовних кроків:

- формування вихідних даних для побудови інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла;
- формування бази знань експертних оцінок зовнішніх загроз транспортного вузла за допомогою методу Делфі;
- тестування функцій належності та безпосередній розрахунок оцінки рівня зовнішніх загроз транспортних вузлів.

Формування вихідних даних для побудови інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла

Виходячи з аналізу кількості повітряних тривог (див. рис. 2.2.13), кількості повідомлень про вибухи у засобах масової інформації (див. рис. 2.2.14) та кількості можливості артобстрілів, було розроблено ранжування території України на 4 території (рис. 2.2.17). Однак, враховуючи неоднорідність меж областей України та наближеність деяких з них до зони прямих зіткнень (наприклад, Дніпропетровська має помірні значення повідомлень про вибухи, але високі загрози обстрілів артилерії), або до території ворога (наприклад, Чернігівська), то карту на рис. 2.2.17 було модифіковано:

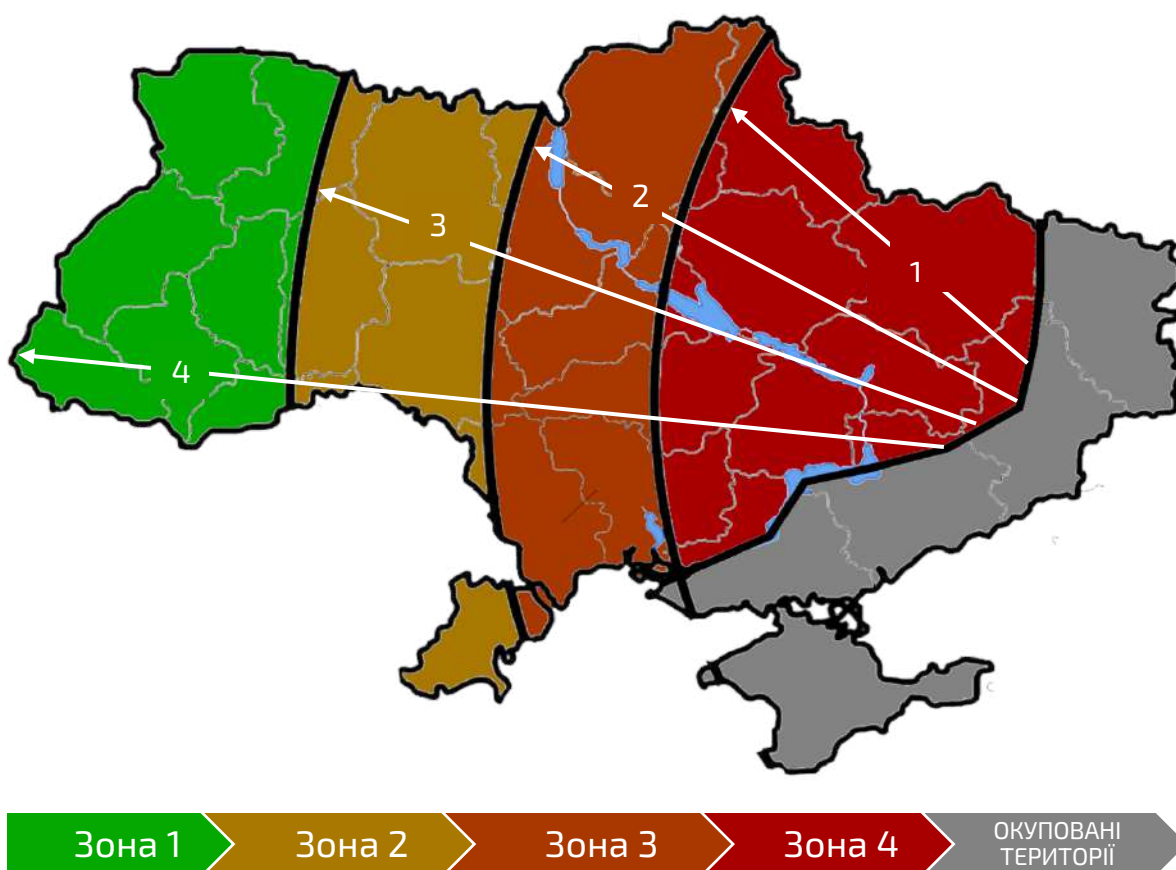


Рис. 4.3.1. Модифікована карта розподілу території України за загрозами внаслідок російської агресії (1 – 339 км; 2 – 620 км; 3 – 864 км; 4 - 1168 км)

Джерело: сформовано автором

Запропоновано поділ території України на: зона 1 – «умовно-безпечна (УБ)»; зона 2 – «небезпечна (НБ)»; зона 3 – «середньо-небезпечна (СНБ)»; зона 4 – «високо-небезпечна (ВНБ)».

Окрім того, було визначено шкалу індексу криміногенності території за допомогою сервісу Numbeo [247]: показник від 0 до 20 – «дуже малий (ДМК)»; від 20 до 40 – «малий (МК)»; від 40 до 60 – «помірний (ПК)»; від 60 до 80 – «високий» (ВК); від 80 до 100 - «дуже високий (ДВК)».

Обидва показники являють собою вхідні змінні класифікатора зовнішніх загроз D_h – відстані від лінії розмежування зони бойових дій; C_h – криміногенність території, в якій розташований транспортний вузол), які описані у (3.3.1). Результат занесення показників до Fuzzy Logic Toolbox програмного забезпечення MATLAB показано на рис. 4.3.2. Крім того, до зонування території було додано ще одну лінгвістичну оцінку – «безпечна (Б)», якщо транспортний вузол розташований за територією України.

Загалом, структурна схема процесу визначення оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла у MATLAB подана на рис. 4.3.2:

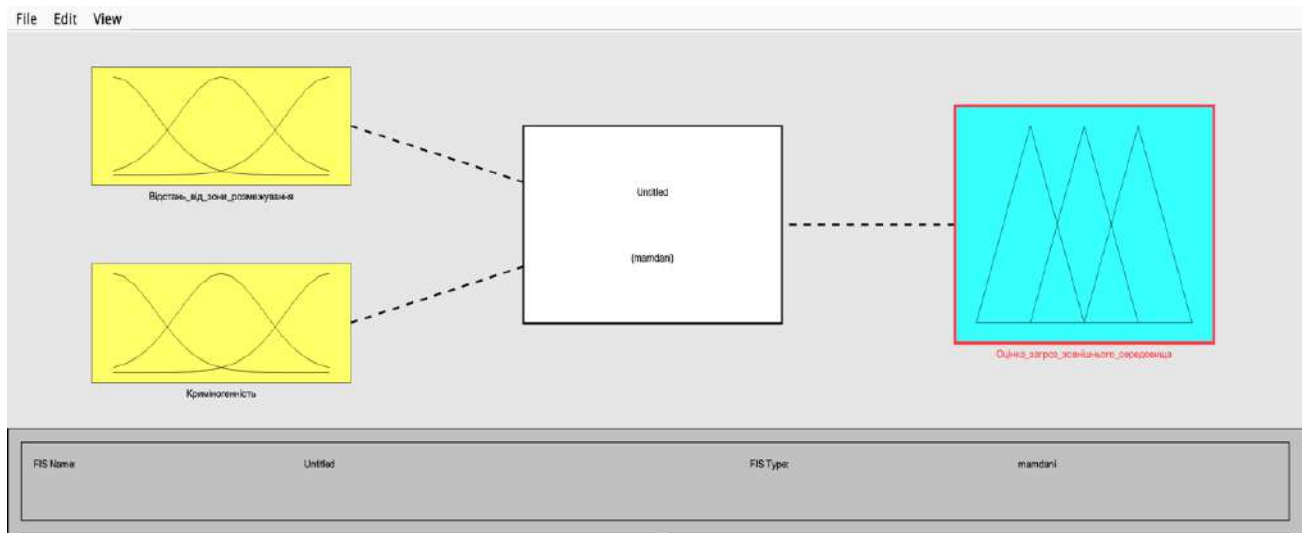
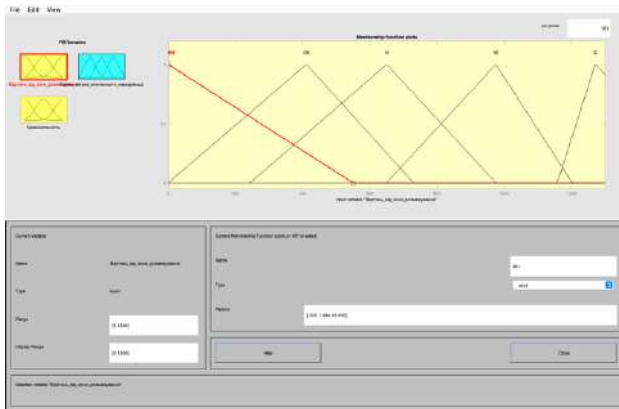


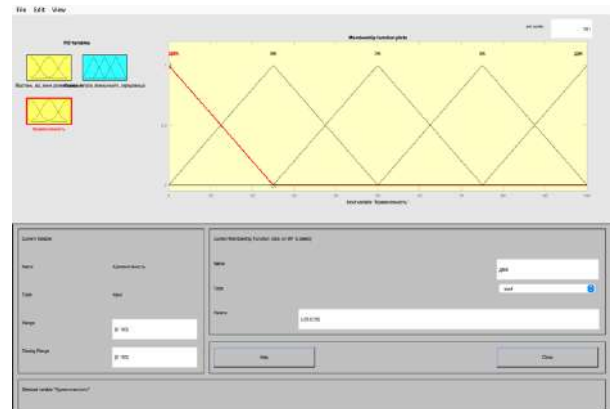
Рис. 4.3.2. Структурна схема процесу визначення оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла та його параметри

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB

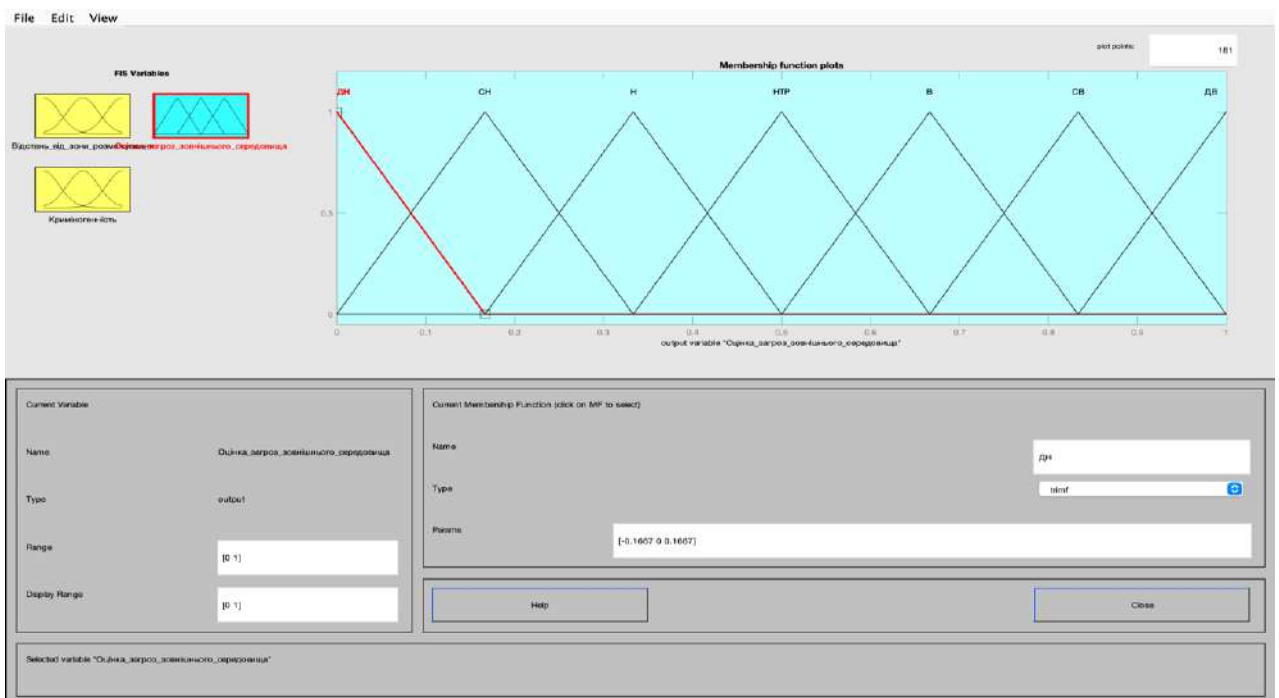
Трикутні функції належності для вхідних (відстань від лінії розмежування та криміногенності) та вихідної оцінки зовнішніх загроз можна зображено на рис. 4.3.3.



а) трикутна функція належності для вхідного параметру відстані від лінії розмежування



б) трикутна функція належності для вхідного параметру криміногенності зовнішнього середовища

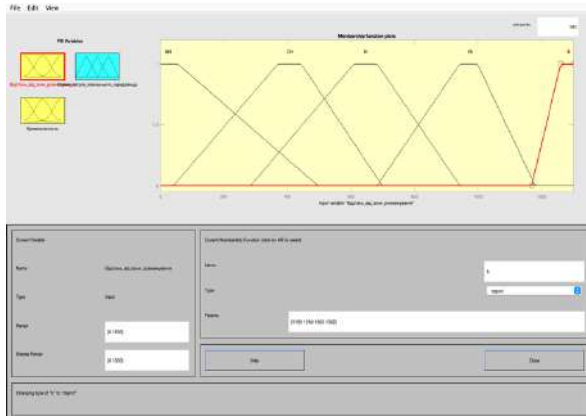


в) трикутна функція належності для параметру відстані від лінії розмежування

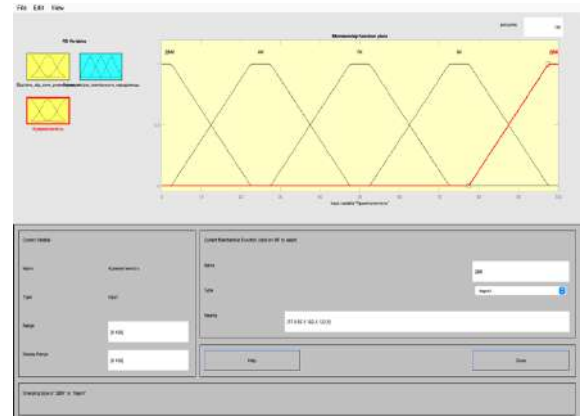
Рис. 4.3.3. Трикутні функції належності для вхідних (v_i) та вихідного w параметрів

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB

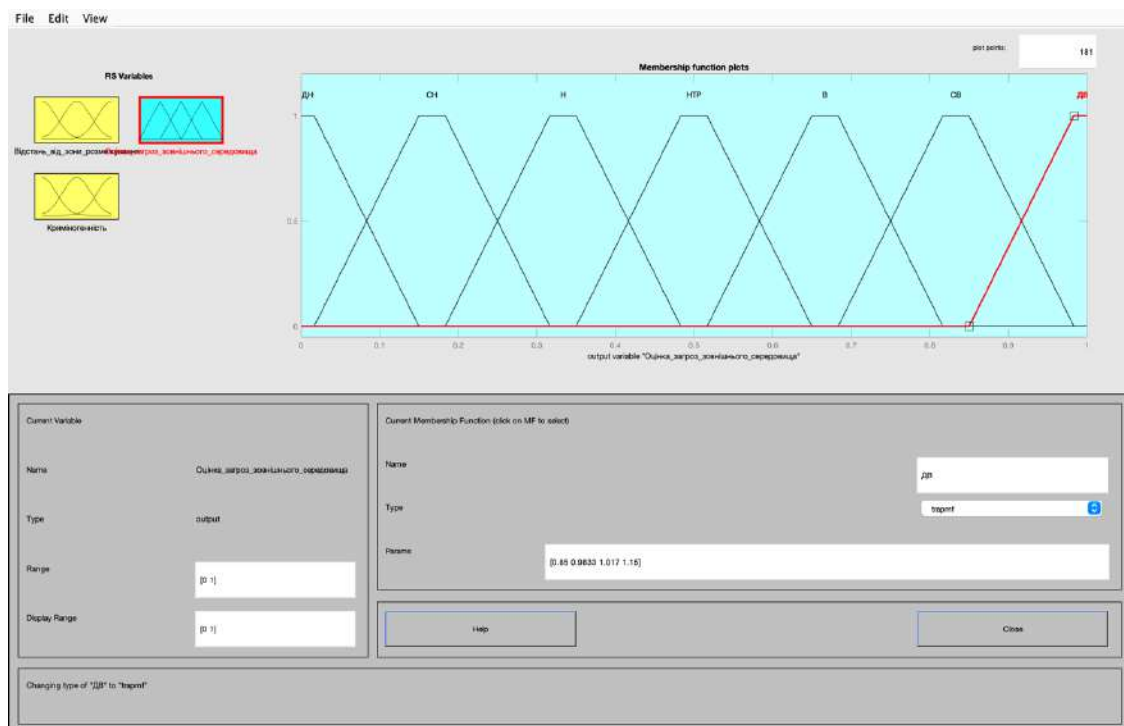
Однак, в контексті даного дослідження автор розглядає ще дві функції належності, які найбільш широко використовуються - трапецієвидну (рис. 4.3.4) та гаусову (див. рис. 4.3.5).



а) трапецієвидна функція належності для вхідного параметру відстані від лінії розмежування



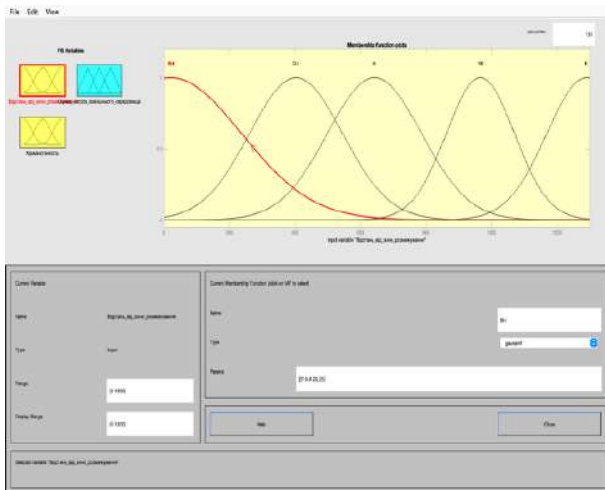
б) трапецієвидна функція належності для вхідного параметру криміногенності



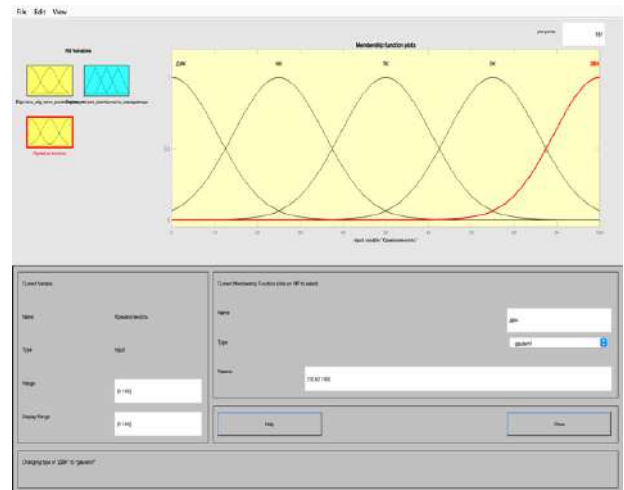
в) гаусова функція належності для параметру відстані від лінії розмежування

Рис. 4.3.4. Трапецієвидні функції належності для вхідних (v_i) та вихідного w параметрів

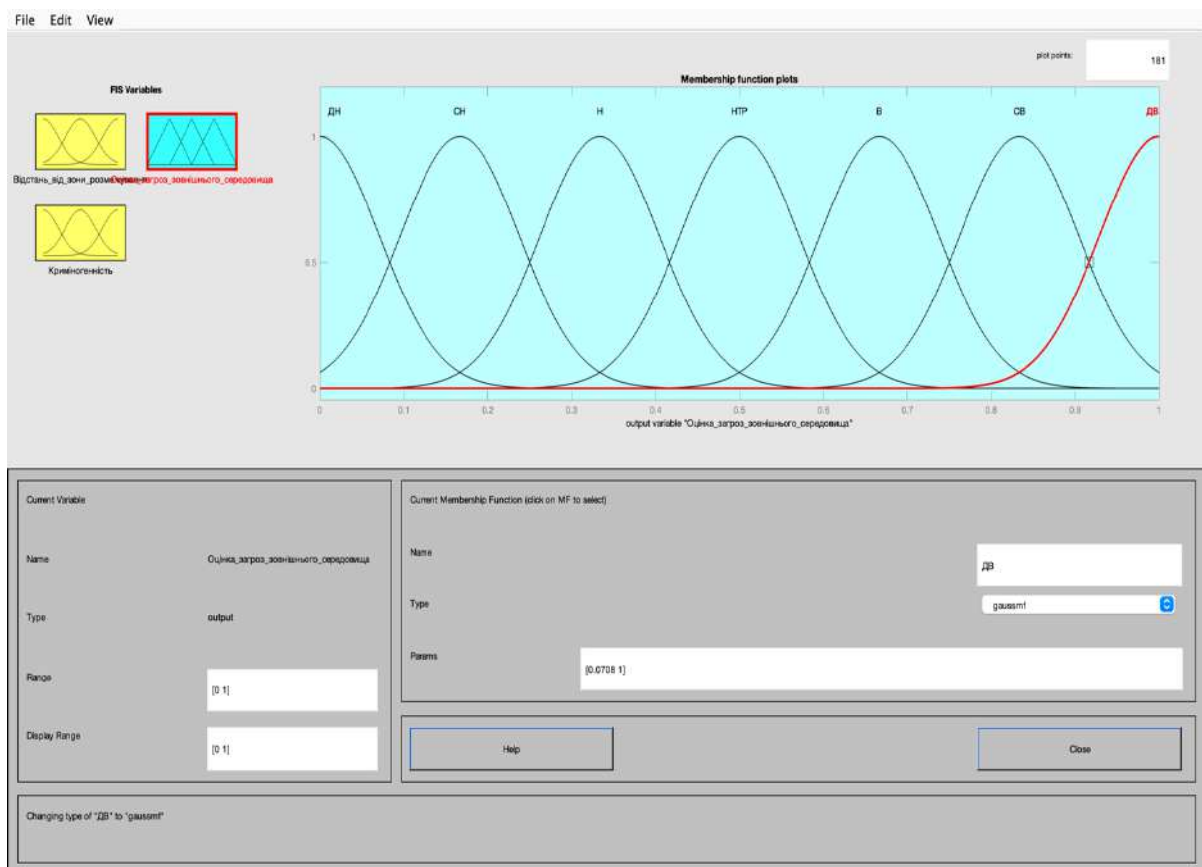
Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB



а) гаусова функція належності для вхідного параметру відстані від лінії розмежування



б) гаусова функція належності для вхідного параметру криміногенності



в) гаусова функція належності для параметру відстані від лінії розмежування

Рис. 4.3.5. Гаусові функції належності для вхідних (v_i) та вихідного w параметрів

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB

Визначення оптимального типу функції належності буде відбуватись шляхом порівняння результату ІКОЗЗУ та середньозваженою експертною оцінкою.

Формування бази знань експертних оцінок зовнішніх загроз транспортного вузла за допомогою методу Делфі

Математична репрезентація процесу формування бази знань для ІКОЗЗ представлена у (3.3.6). По-суті, така операція полягає в тому, щоб представити оцінки зовнішніх загроз у вигляді матриці, яка описує логічний взаємозв'язок у вигляді «ЯКЩО, ТО (IF, THEN)».

Опитування проводилось використовуючи метод Делфі за допомогою сервісу Google Forms (доступна за посиланням – [248]). В ньому взяли участь 10 експертів, з яких перша половина - представники наукового середовища, друга – практичного поля (Додаток А).

Сутність методу Делфі полягає у двокроковому анонімному опитуванні. Перший етап включає в себе початковий збір та систематизацію відповідей експертів, яким була надана інформація щодо вхідних параметрів нечіткого регулятора.

Задача полягала в тому, аби кількісно (за 100-бальною шкалою) оцінити рівень загроз, в залежності від показників криміногенності та зонування території України.

На другому ж етапі експертам надають всі результати опитування для можливості їх аргументованої зміни. Середні кількісні експертні оцінки (див. Додаток А) було переведено в якісні (лінгвістичні) оцінки.

Таким чином була сформована матриця знань для інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла (табл. 4.3.1), як включає в себе наступні оцінки загроз: дуже низькі (ДН), середньо низькі (СН), низькі (Н), нейтральні (НТР), високі (В), середні високі (СВ), дуже високі (ДВ).

Таблиця 4.3.1. База знань для інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла

БАЗА ЗНАНЬ ІКОЗЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла				
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	ДН	ДН	СН	Н	НТР
	УБ (умовно безпечна)	ДН	СН	Н	НТР	В
	НБ (небезпечна)	Н	Н	НТР	В	В
	СНБ (середня небезпечна)	НТР	В	СВ	СВ	ДВ
	ВНБ (велика небезпечна)	В	СВ	ДВ	ДВ	ДВ

Джерело: узагальнено автором на основі Додатку А

У програмному вигляді - середовищі MATLAB - дану базу знань подано наступним чином (рис. 4.3.6):

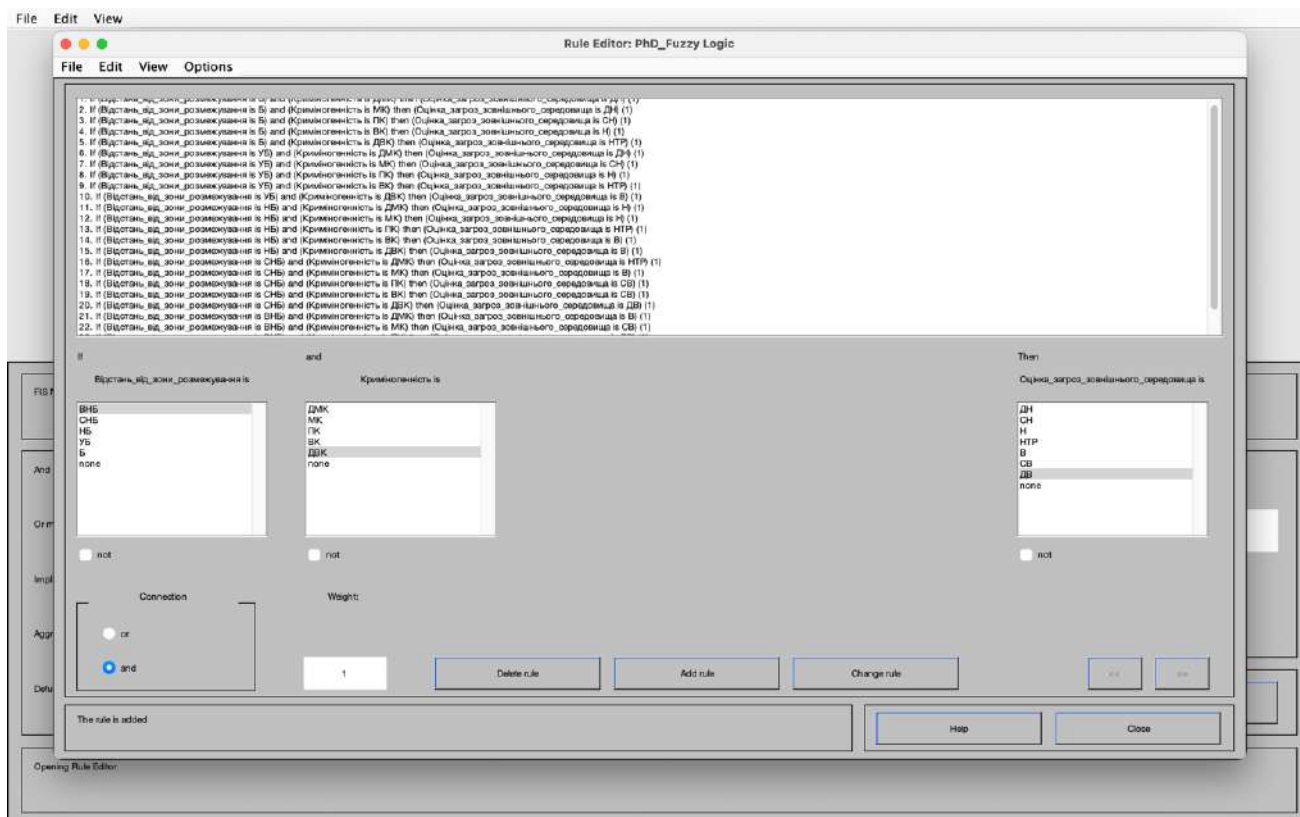


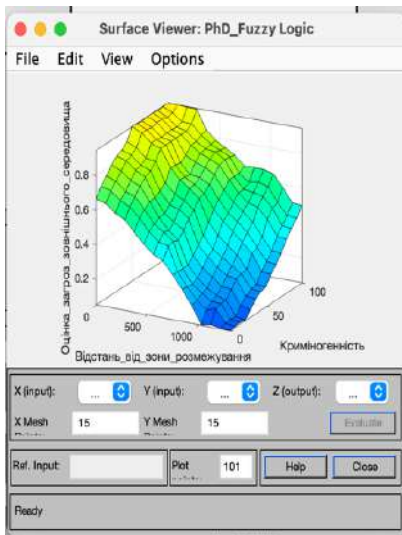
Рис. 4.3.6. База знань інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз на основі експертної думки

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB

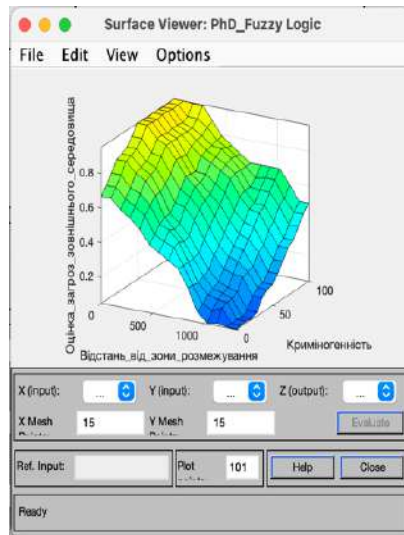
Сьогодні існують багато методів дефазифікації результатів моделювання: центроїдальна, бісектрисна і т.д (причому програмний пакет Fuzzy Logic Toolbox пропонує 5 способів).

Однак, в контексті даного дослідження автор розглядає виключно два методи дефазифікації: центроїдальний та бісектрисний, які найбільше використовуються.

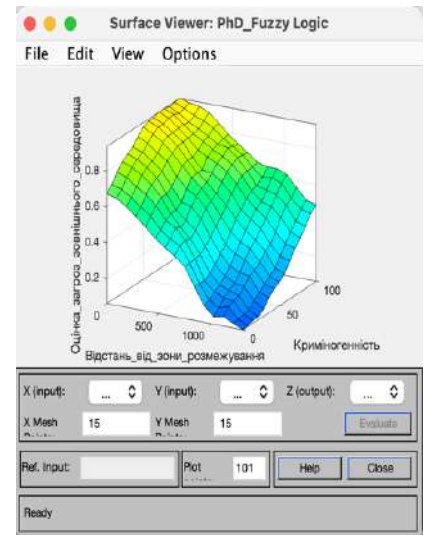
Таким чином, розроблено 6 поверхонь правил ІКОЗЗ: трикутна, трапецієвидна та гаусова за центроїдальним методом (див. рис. 4.3.7) та трикутна, трапецієвидна та гаусова за бісектрисним методом (див. рис. 4.3.8).



а) за трикутної функції належності



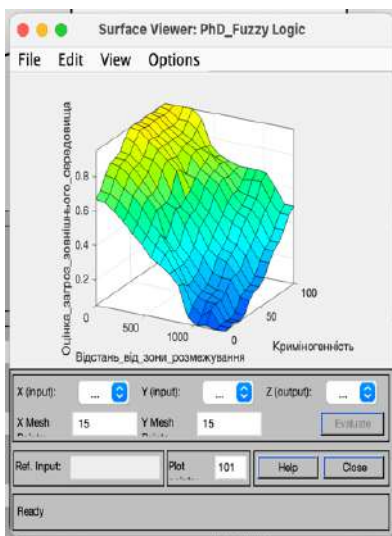
б) за трапецієвидної функції належності



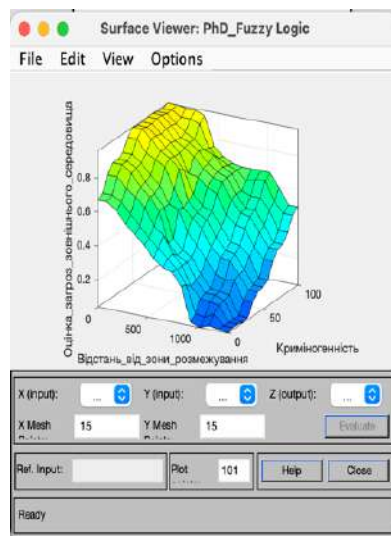
в) за гаусової функції належності

Рис. 4.3.7. Поверхні правил інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла за центроїдальним методом дефазифікації

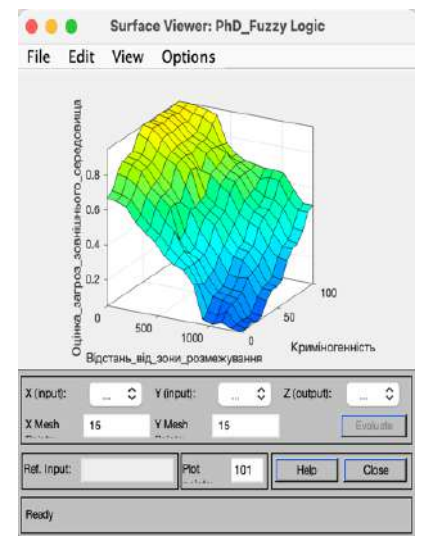
Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB



а) за трикутної функції належності



б) за трапецієвидної функції належності



в) за гаусової функції належності

Рис. 4.3.8. Поверхні правил інтелектуального класифікатора оцінки зовнішніх загроз транспортного вузла за бісектрисним методом дефазифікації

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB

Тестування функцій належності та безпосередній розрахунок оцінки рівня зовнішніх загроз транспортних вузлів

Використовуючи дані з табл. 4.1.5, автором дослідження було проведено розрахунки за усіма шістьма функціями варіантами ІКОЗЗ у програмному середовищі MATLAB для транспортного вузла (ТН1, м. Луцьк): центроїдальний та бісектрисний методи дефазифікації при трикутній функції належності (рис. 4.3.9), центроїдальний та бісектрисний методи дефазифікації при трапецевидній функції належності (рис. 4.3.10), центроїдальний та бісектрисний методи дефазифікації при гаусовій функції належності (рис. 4.3.11).

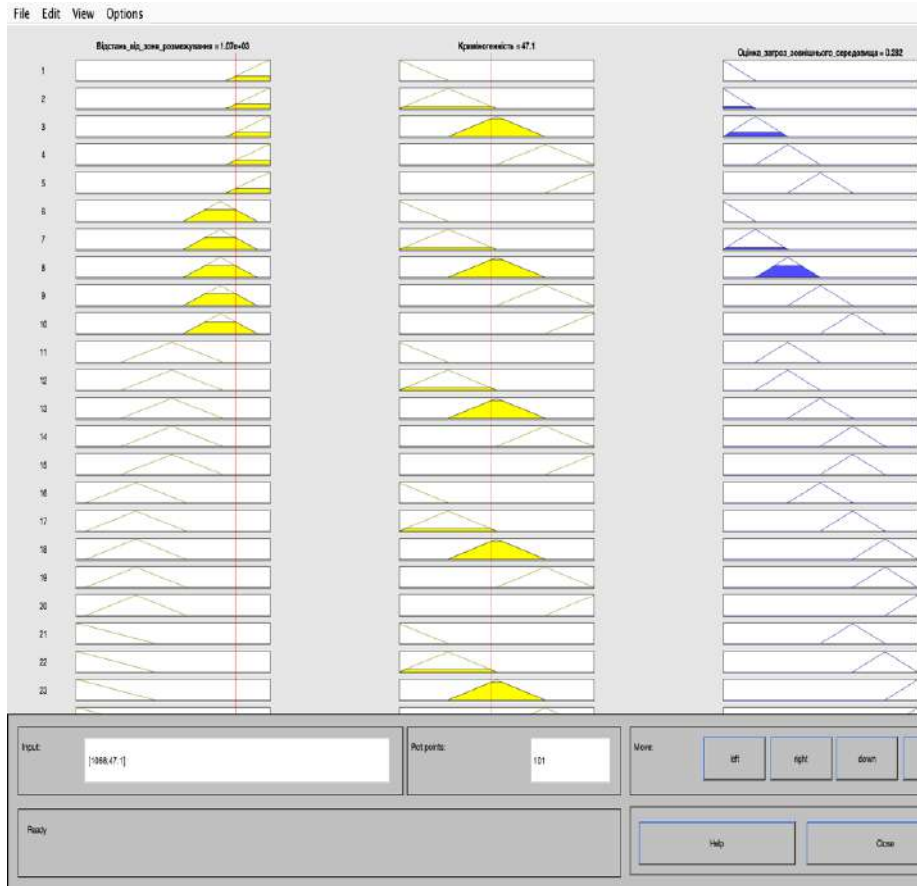
Окрім того, зведені результати оцінки загроз транспортного вузла за ІКОЗЗ подано у табл. 4.3.2.

Таблиця 4.3.2. Зведені результати оцінки загроз транспортного вузла за ІКОЗЗ

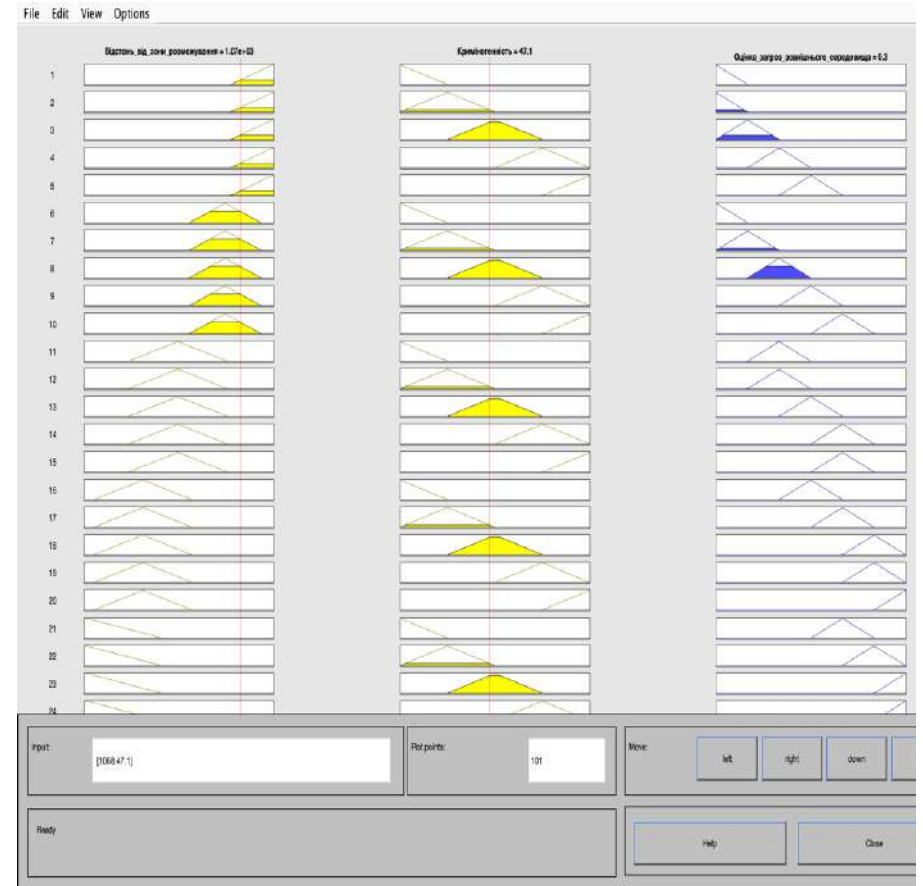
Функція належності	Метод дефазифікації	
	центроїдний	бісектрисний
трикутна	0,282	0,3
трапецевидна	0,317	0,33
гаусова	0,307	0,32

Джерело: сформоване автором з рис. 4.3.9-4.3.11

Враховуючи «ідеалізовану» середньозважену експертну оцінку загроз, що складає 0,26 (див. Додаток А), автором було обрано як оптимальну для подальших розрахунків трикутну функцію належності, а метод дефазифікації – центроїдний.



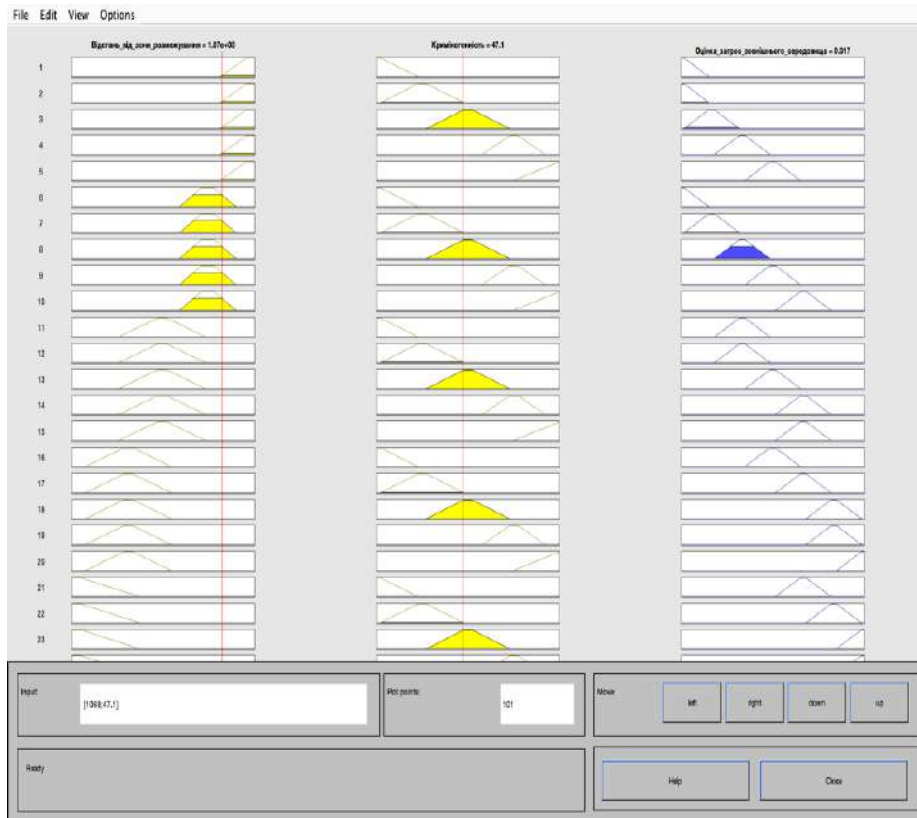
а) центроїдальний метод дефазифікації



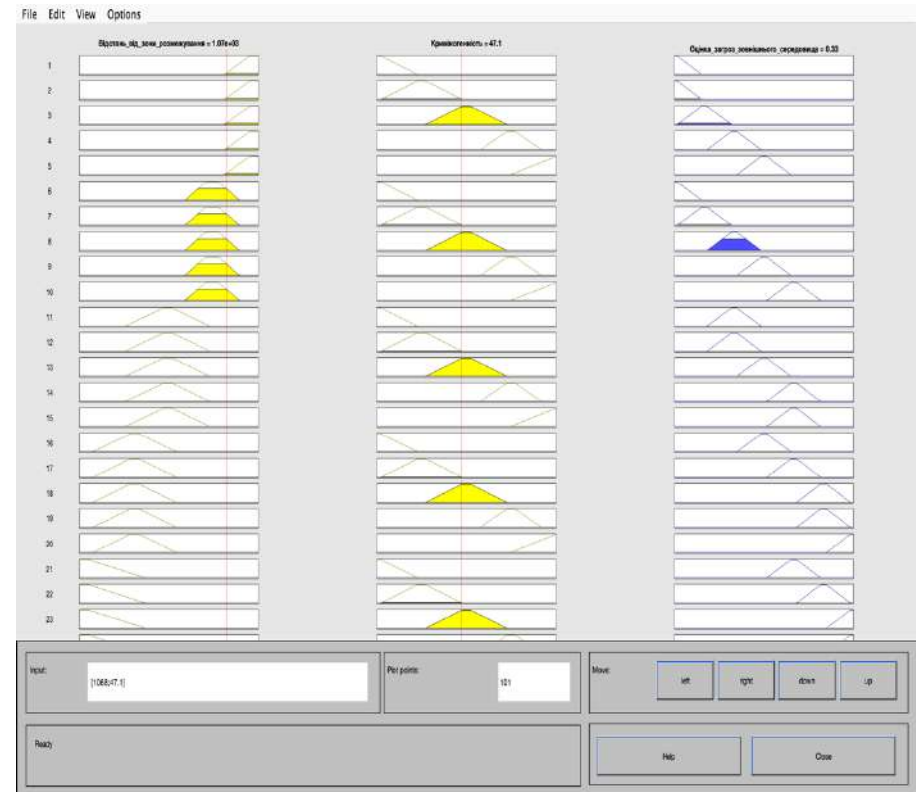
б) бісектрисний метод дефазифікації

Рис. 4.3.9. Результат розрахунку оцінки загроз транспортного вузла за центроїдальним та бісектрисним методами дефазифікації при трикутній функції належності

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB



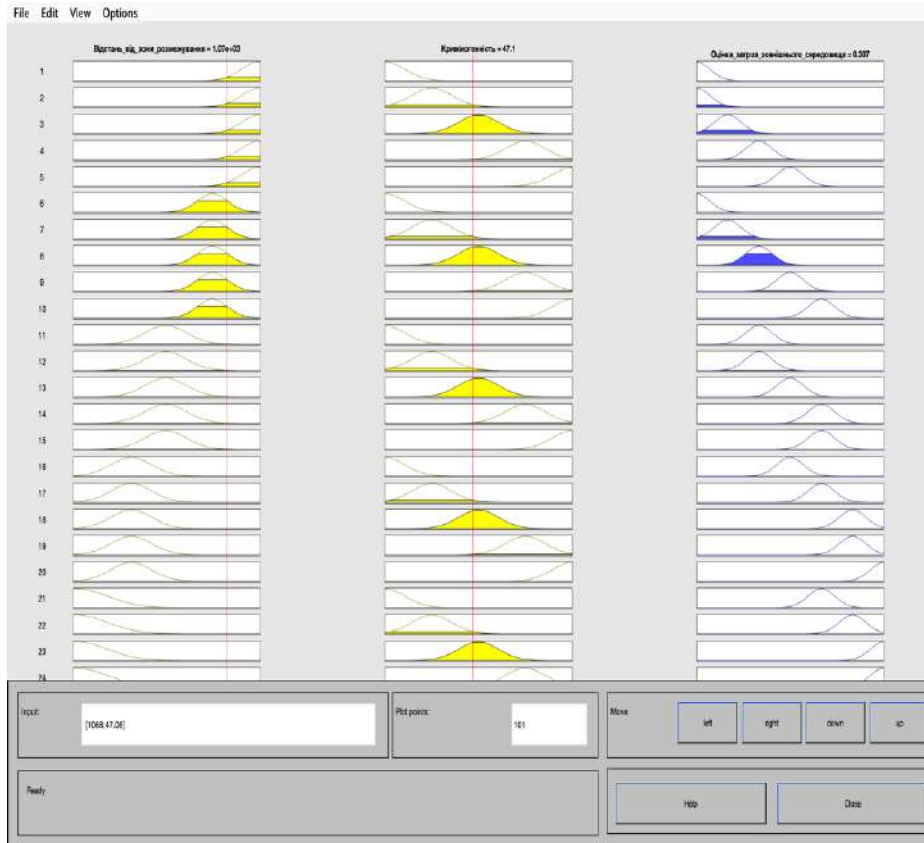
а) центроїдальний метод дефазифікації



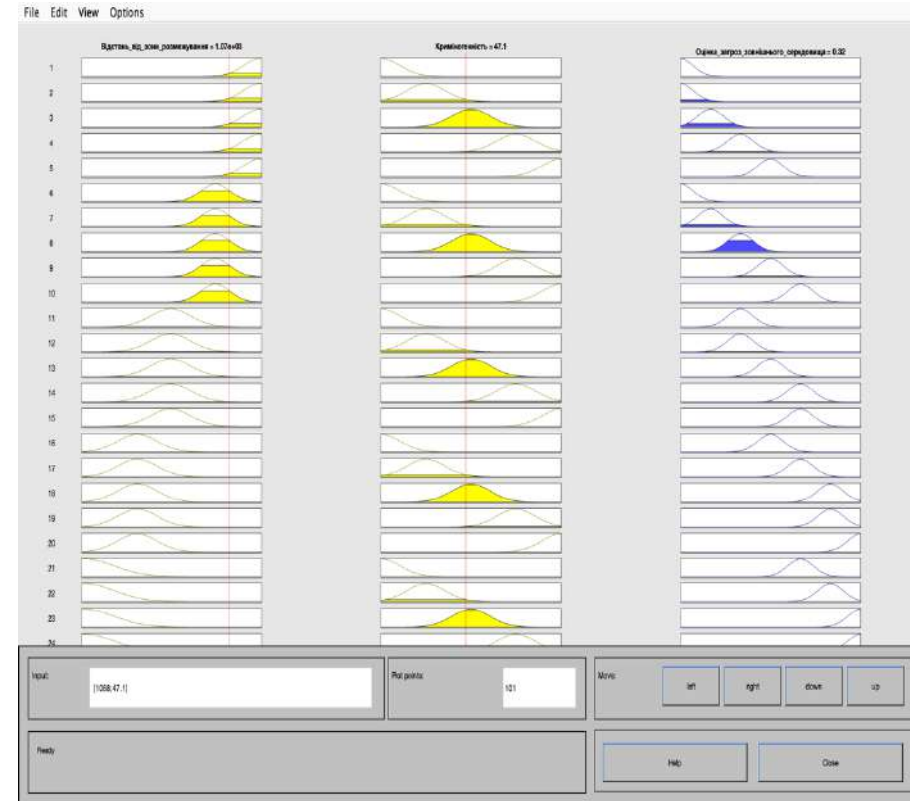
б) бісектрисний метод дефазифікації

Рис. 4.3.10. Результат розрахунку оцінки загроз транспортного вузла за центроїдальним та бісектрисним методами дефазифікації при трапецевидній функції належності

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB



а) центроїдальний метод дефазифікації



б) бісектрисний метод дефазифікації

Рис. 4.3.11. Результат розрахунку оцінки загроз транспортного вузла за центроїдальним та бісектрисним методами дефазифікації при гаусовій функції належності

Джерело: сформовано автором у програмному середовищі MATLAB

Результати розрахунку загроз зовнішнього середовища транспортної інфраструктури за допомогою ІКОЗЗ автором подано у табл. 4.3.3.

Таблиця 4.3.3. Зведені результати оцінки загроз зовнішнього середовища транспортних вузлів в інтегрованій транспортній системі

№	Транспортний вузол	Оцінка загрози за ІКОЗЗ
1	Міжнародний аеропорті Схіпгол (AMS)	0,0961
2	Міжнародний морський порт Роттердам (NL RTM)	0,0935
3	Транспортний вузол у м. Луцьк (ТН1)	0,282
4	Транспортний вузол у м. Хмельницький (ТН2)	0,288

Джерело: сформоване автором

Таким чином, можна зробити висновок, що з точки зору оцінки загроз зовнішнього середовища транспортного вузла, найбільш безпечним є Міжнародний морський порт Роттердам (NL RTM) з показником ІКОЗЗ у 0,0935.

4.4. Розрахунок оцінки ризиків настання надзвичайних подій під час транспортування вантажів в інтегрованих системах перевезення

Сьогодні, не зважаючи на значну кількість наукових публікацій з тематики оцінки ризиків у транспортних процесах і системах (див. п. 1.4), все ще спостерігається нестача кількісних та якісних статистичних даних про виникнення надзвичайних подій під час перевезення вантажів на маршрутах. Крім того, така інформація часто закрита для широкого загалу.

Беручи до уваги вищезазначене, в роботі з усього спектру ризикових ситуацій було зосереджено увагу на трьох групах (рис. 4.4.1):



Рис. 4.4.1. Розглянута автором група ризикових ситуацій в інтегрованих транспортних системах.

Джерело: розроблено автором

Схематичний розвиток настання надзвичайної ситуації подано на рис. 4.4.1:

Таким чином, за алгоритмом пропонованої моделі (див. рис. 3.4.6) оцінка ризику на маршруті інтегрованого перевезення вантажів – ризик настання подій групи [Г1, Г2, Г3] при виникненні надзвичайної ситуації.

Тут варто зробити ремарку – в запропонованій моделі, при неможливості проведення оцінки ризику настання надзвичайної ситуації через недостатчу набору статистичних даних, використовується апріорна експертна оцінка ризику за видом транспорту.

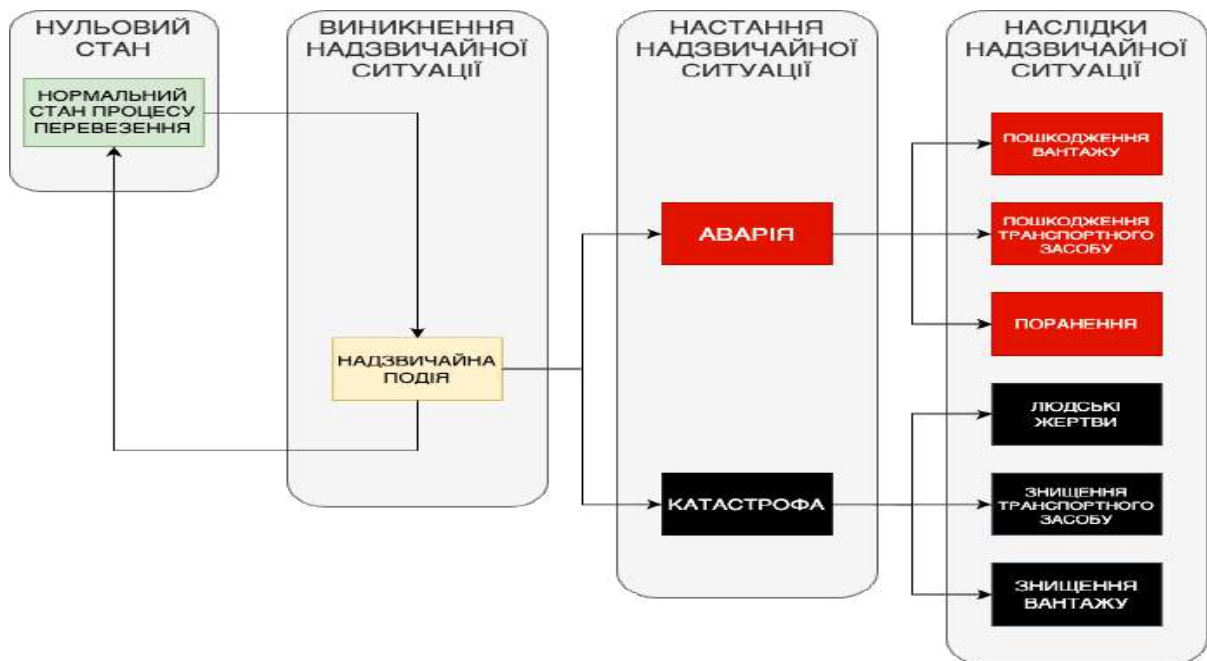


Рис. 4.4.2. Гіпотетична схема розвитку надзвичайної ситуації на маршруті перевезення вантажу в інтегрованих системах перевезення

Джерело: розроблено автором

Аналіз стану безпеки транспортної галузі в Європі (див. Додаток Б) дозволив встановити статистичні значення ймовірності виникнення надзвичайної ситуації за різними видами транспорту, що подано на рис. 4.4.1.

Розрахунок ризику настання надзвичайних подій продемонстровано на прикладі морського перевезення з Лондона (LDN) до Міжнародного морського порту Роттердам (NL RTM).

Подальші ж розрахунки за маршрутами перевезень у графі на рис. 4.4.1 виконані за допомогою програмного забезпечення MATLAB (рис. 4.4.4).

Зі звітів організації ЕСМА за 2022-2023 роки - які були проаналізовані у Додатку Б - було створено вихідну таблицю статистичних даних щодо кількості надзвичайних ситуацій на морському транспорті у Європейському Союзі у період з 2014 по 2022 роки (табл. 4.4.1).

Трактування понять «серйозні ситуації» та «дуже серйозні ситуації» подано у Додатку Б.

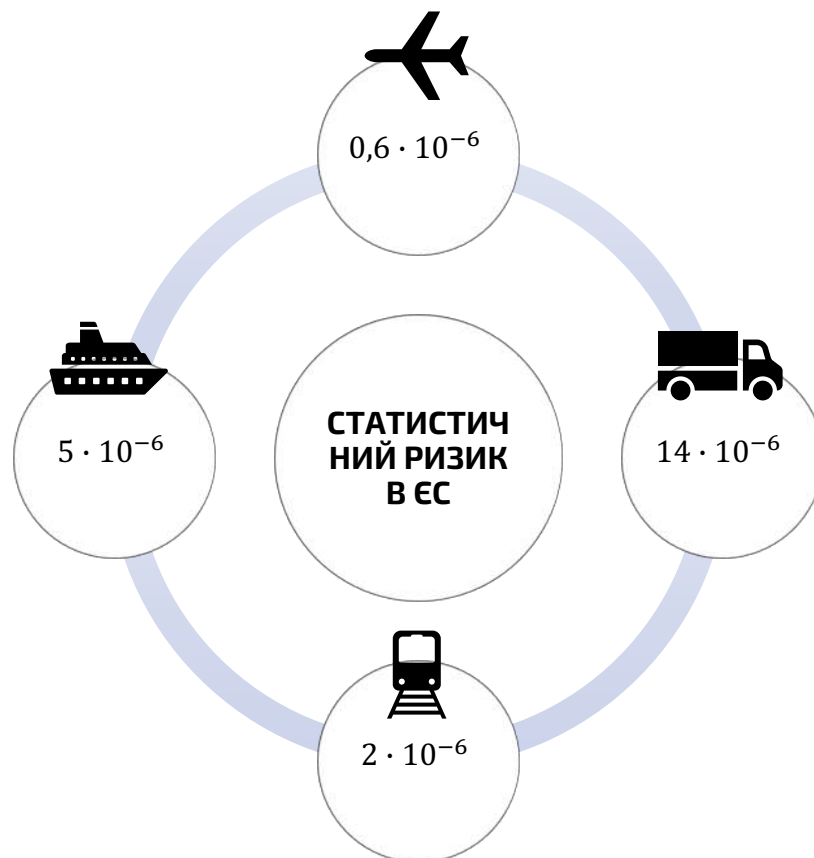


Рис. 4.4.3. Статистичні значення ймовірності виникнення надзвичайної ситуації за різними видами транспорту в Європейському Союзі

Джерело: сформовано автором у Додатку Б

Таблиця 4.4.1. Вихідна таблиця щодо кількості надзвичайних ситуацій на морському транспорті у Європейському Союзі у 2014-2022 роках:

Загальна кількість надзвичайних ситуацій	Втрата морського судна	Кількість «серйозних ситуацій»	Кількість «дуже серйозних ситуацій»	Кількість людей, що зазнали травм	Кількість людей, що загинули
23814	184	6784	638	6781	604

Джерело: сформовано автором на основі аналізу [194-202]

Тоді за формулами (3.4.1) – (3.4.7) оцінка ризику на морському маршруті LDN – NL RTM розрахована наступним чином.

Розрахунок зваженої імовірності виникнення надзвичайної ситуації під час перевезення за формулами (3.4.1 – 3.4.4):

$$P_{\text{нс}} = \frac{P^S + P^M + P^E}{\delta} = \frac{P^S + \frac{P^S + P^E}{2} + P^E}{3} = 6,5 \cdot 10^{-6}$$

Розрахунок інтенсивності виникнення аварій та катастроф за перевезенням за видом відмови (3.4.7) :

$$\gamma_{\text{п}} = \frac{N_{\text{п}}}{T_i \times S_T} = \frac{638}{23814 \times 8} = 0,0033;$$

де $\gamma_{\text{п}}$ – інтенсивність пошкодження транспортного засобу (або вантажу) при надзвичайній ситуації на перевезенні; $N_{\text{п}}$ – число транспортних засобів, які були пошкоджені при настанні надзвичайної ситуації під час перевезення; T_i – період вивчення системи; S_T – кількість транспортних засобів, що потрапили у надзвичайну ситуацію на маршруті перевезення.

Імовірність пошкодження транспортного засобу на перевезенні за умови настання надзвичайної ситуації подано наступним чином:

$$P_{\text{п}} = 1 - e^{(-\gamma_{\text{п}} \times T_i)} = 0,0264$$

Ризик пошкодження транспортного засобу під час перевезення:

$$R_{\text{п}} = R_{\text{апр}} \times P_{\text{п}} = 0,0000065 \times 0,0264 = 0,005 \cdot 10^{-5}$$

Аналогічно розраховано ризики: втрати ТЗ та/або вантажу, знищення ТЗ та/або вантажу, зазнання травм людей та смерті:

$$R_B = 0,005 \cdot 10^{-5}; R_3 = 0,1611 \cdot 10^{-5}; R_T = 0,1611 \cdot 10^{-5}; R_C = 0,0163 \cdot 10^{-5}$$

Ризик потрапляння транспортного судна у надзвичайну ситуацію, яка потягне за собою настання надзвичайних подій типу [Г1, Г2, Г3] на маршруті перевезення LDN – NLRTM визначено як суму ризику інших подій за умови настання надзвичайної ситуації:

$$R_E = \sum R = 3,6066 \cdot 10^{-6} = 0,0000036066$$

Розроблено код у програмному середовищі MATLAB для автоматизованого розрахунку ризику настання надзвичайних ситуацій:

```

clc
clear all

% модель оцінки ризиків настання надзвичайних подій при перевезенні на
% інтегрованих маршрутах перевезення маршрутах

% крок 1: формування вихідних даних

N = [184 6784 638 6781 604]; % кількість ситуацій, які призвели до подій системи [Г1, Г2, Г3]
K = 23814; % кількість транспортних засобів, що потрапило у надзвичайну ситуацію під час перевезень
T = 8; % період вивчення системи

S = [ 0.000005 ]; % статистична оцінка виникнення надзвичайної ситуації на маршруті під час перевезення
E = [ 0.000008 ]; % експертна оцінка виникнення надзвичайної ситуації на маршруті під час перевезення

% крок 2: розрахунок за моделлю

y = N ./ ( K * T ) % розрахунок вектору інтенсивності настання надзвичайної події під час перевезення
P = 1 - exp( -y .* T ) % розрахунок вектору імовірності настання надзвичайної події під час перевезення
W = ( S + ( S + E ) / 2 + E ) / 3 % розрахунок зваженої імовірності виникнення надзвичайної ситуації під час перевезення
R = P .* W % розрахунок вектору ризику настання надзвичайної події під час перевезення

sum(R)

```

Рис. 4.4.4. Програмний код у середовищі MATLAB для розрахунку ризику настання надзвичайних подій під час перевезення в інтегрованих транспортних системах

Джерело: сформовано автором у ПЗ MATLAB

На даному етапі дослідження розрахунок за усіма іншими можливими перевезеннями вантажів є недоцільним, оскільки спершу – за моделлю комплексної оцінки безпеки, що подана у п. 3.5 – визначається оптимальний з точки зору транспортний вузол, до якого обриється маршрут перевезення з наявних альтернатив окремою ітерацією моделі.

4.5. Розрахунок за алгоритмом побудови безпечних маршрутів перевезення вантажів, що базується на комплексній оцінці транспортної безпеки

Першим етапом розрахунку за комплексною моделлю (рис. 3.5.1) є визначення оптимального з точки зору безпеки транспортного вузла. Система оцінки для вибору такого вузла визначається формулою (3.51) та набуває вигляду:

$$F_{TH} = [K_i, W_i, T_i, C_i]$$

де K_i – коефіцієнт готовності системи ЗБВ у i -му транспортному вузлі (див. п. 4.2); W_i – оцінка рівня зовнішніх загроз i -го транспортного вузла отримана за допомогою ІКОЗЗ (п. 4.3); T_i, C_i – відповідно, час і витрати, які необхідні на обробку вантажів у i -му транспортному вузлі, що попередньо були визначені (див. табл. 4.1.5).

У табл. 3.5.2 подано формування матриці порівняння елементів системи оцінок F_{TH} , що впливають на вибір транспортного вузла. Перевагою даної моделі є той факт, що кожен потенційний оператор зможе самостійно оцінювати «важливість» того чи іншого фактору за баченням компанії.

В роботі автор самостійно сформував матриці попарного порівняння «важливості» факторів за ранжуванням: « надійність = загрози > час на перевезення > витрати на перевезення ».

Однак, тут варто зробити ремарку. Автор «дзеркально» відобразив показник надійності транспортного вузла за логікою «1 – надійність K_i = ненадійність K_i^{-1} », аби фактори, що впливають на вибір мали єдину направленість функції оптимізації - мінімізацію.

Таблиця 4.5.1. Оцінка «важливості» елементів системи оцінок F_{TH}

	K^{-1}	W	C	T	Σ
K^{-1}	1	1	3	3	8
W	1	1	3	3	8
C	0,333	0,333	1	0,5	2,1667
T	0,333	0,333	2	1	3,6667

Джерело: розроблено автором

Сформована за формулою (3.5.2) нова таблиця елементів системи оцінок (q_{ij}) шляхом ділення кожного елемента таблиці (матриці) (p_{ij}) на суму оцінок відповідного йому стовпця ($\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n$). Найбільш вагомим φ_{opt} буде фактор, середнє значення рядка якого буде максимальним :

Таблиця 4.5.2. Матриця вагових коефіцієнтів елементів системи оцінок F_{TH}

i	K^{-1}	W	C	T	φ
K^{-1}	0,37509377	0,37509377	0,33333333	0,4	0,49
W	0,37509377	0,37509377	0,33333333	0,4	0,49
C	0,12490623	0,12490623	0,11111111	0,06666667	1,76
T	0,12490623	0,12490623	0,22222222	0,13333333	1,25

Джерело: складено автором

За розрахунками, найбільш вагомими будуть фактори не-надійності та загроз зовнішнього середовища транспортного вузла, а найменш – витрати на перевезення.

З граф маршрутів на рис. 4.1.1 зроблено висновок, що першою ітерацією є вибір між транспортними вузлами AMS (Міжнародний аеропорт Схіпгол) та NL RTM (Міжнародний морський порт Роттердам). Сформована у табличному вигляді матриця порівнянь транспортних вузлів TH_n за системою оцінок F_{TH} подана у 4.5.3.

Таблиця 4.5.3. Матриця порівняння транспортних вузлів за елементами системи оцінок F_{TH}

K^{-1}			
	AMS	NL RTM	$\Sigma(1)$
AMS	1	0,025/0,0357	0,7003
NL RTM	0,0357/0,025	1	1,428
W_i			
	AMS	NL RTM	$\Sigma(2)$
AMS	1	1,02780749	2,02780749
NL RTM	0,97294485	1	1,997
T_i			
	AMS	NL RTM	$\Sigma(3)$
AMS	1	0,68454259	1,68454259
NL RTM	1,46082949	1	2,46082949
C_i			
	AMS	NL RTM	$\Sigma(4)$
AMS	1	1,495966785	2,495966785
NL RTM	0,66846404	1	1,66846404

Джерело: складено автором

Тоді за формулою (3.5.3) виходить:

$$TH_{opt} = TH \left(\min \left[\begin{pmatrix} 0,329 & 0,504 & 0,406 & 0,599 \\ 0,671 & 0,4962 & 0,594 & 0,400 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,49 \\ 0,49 \\ 1,76 \\ 1,25 \end{pmatrix} \right] \right),$$

Результат розрахунку подано у таблиці 4.5.4:

Таблиця 4.5.4. Результуюча таблиця порівняння AMS та NL RTM

AMS	NL RTM
1,87250394	2,11749606

Джерело: складено автором

З таблиці 4.5.4 зроблено висновок про те, що оптимальним транспортним вузлом є Міжнародний аеропорт Схіпгол (AMS). Всі розрахунки щодо комплексної моделі проводились за допомогою програмного забезпечення MS Excel, оскільки даний інструмент через свою «табличність» є найпростішим для використання у вирішенні даної задачі

Наступний крок – вибір маршруту перевезення у транспортний вузол міжнародний аеропорт Схіпхол. З графу на рис. 4.1.1 можна зробити висновок про 2 можливі маршрути переміщення: автомобільний та повітряний.

Дана процедура виконується аналогічно першому етапу, проте вже з урахуванням факторів, що впливають на вибір на маршруту перевезення, а саме:

$$F_{TR} = [R_j, E_j, T_j, C_j],$$

де R_j – ризик настання надзвичайних ситуацій на j -му маршруті перевезення (див. п. 3.4); E_j – кількість викидів шкідливих речовин в атмосферу на j -му маршруті перевезення; T_j – час, необхідний на фактичне перевезення за j -м маршрутом; C_i – витрати на фактичне перевезення за j -м маршрутом.

Розрахунок кількості викидів CO₂ під час перевезення вантажів було розраховано наступним чином: для викидів під час авіаційного перевезення був використано значення 550 г/ткм [250]; для автомобільних перевезень – 83 г/ткм [249]; під час морських перевезень була використана оцінка - 16 г/ткм [249]; для залізничного – 14 г/ткм [249].

Також було розраховано час на переміщення вантажів різними видами транспорту до транспортних вузлів. При цьому був використаний сервіс Google Maps, який показав, що тривалість рейсу на авіаційне перевезення складає 1 годину 15 хв [252]. Тривалість переміщення автотранспортом є значно довшим – 7 годин [251]. Автор зауважує, що калькуляція часу, який витрачає транспортний засіб під час перевезення не є коректним для розрахунку тривалості та подальшого порівняння, оскільки: а) термін зберігання вантажів між рейсами у вантажному терміналі аеропорту за експертною оцінкою складає 1-2 дні; б) таким чином не враховуються операції по розвантаженню та завантаженню на початкових (або на кінцевих) транспортних вузлах.

Тому за формулою (4.5.1) було визначено тривалість операції по розвантаженню/навантаженню повітряного судна:

$$t_{\text{ТД}} = t_{\text{СО}} + t_{\text{П1}} + t_{\text{КП}} \quad (4.5.1)$$

де $t_{\text{СО}}$ – тривалість початкових (стояночних) операцій у транспортному вузлі відправлення, год; $t_{\text{П1}}$ – перевезення між транспортними вузлами, год; $t_{\text{КП}}$ – кінцеві операції у транспортному вузлі прибуття, год.

Вихідні дані були отримані з табл. 2.3.4. Тоді час на перевезення складає:

$$t_{\text{авто}} = 50 \text{ хвилин} + 6 \text{ годин } 15 \text{ хвилн} + 50 \text{ хвилин} = 7 \text{ год } 55 \text{ хвилин}$$

$$t_{\text{авіа}} = 1 \text{ день} + 1 \text{ год } 15 \text{ хвилин} = 25 \text{ год } 15 \text{ хвилин}$$

Для визначення витрат на автомобільне перевезення було використане значення тарифу транспортної компанії DHL [253] – 2,5 EUR за 1 км для FTL перевезення. Тариф на авіаційне перевезення – середнє значення Європейських внутрішніх тарифів [254] на перевезення 1 кг вантажу - 3 USD, що складає приблизно 2,76 EUR.

Показники ризиків автором було розраховано з отриманих у Eurostat [255] даних щодо кількості інцидентів на автомобільному транспорті у країнах, через які відбувались перевезення, а саме: Англія [255, 258], Франція [255, 256], Бельгія [255] та Нідерланди [255, 257]. На рис. 4.5.1 подана зведена динаміка небезпек на автомобільному транспорті за останні роки за країнами:

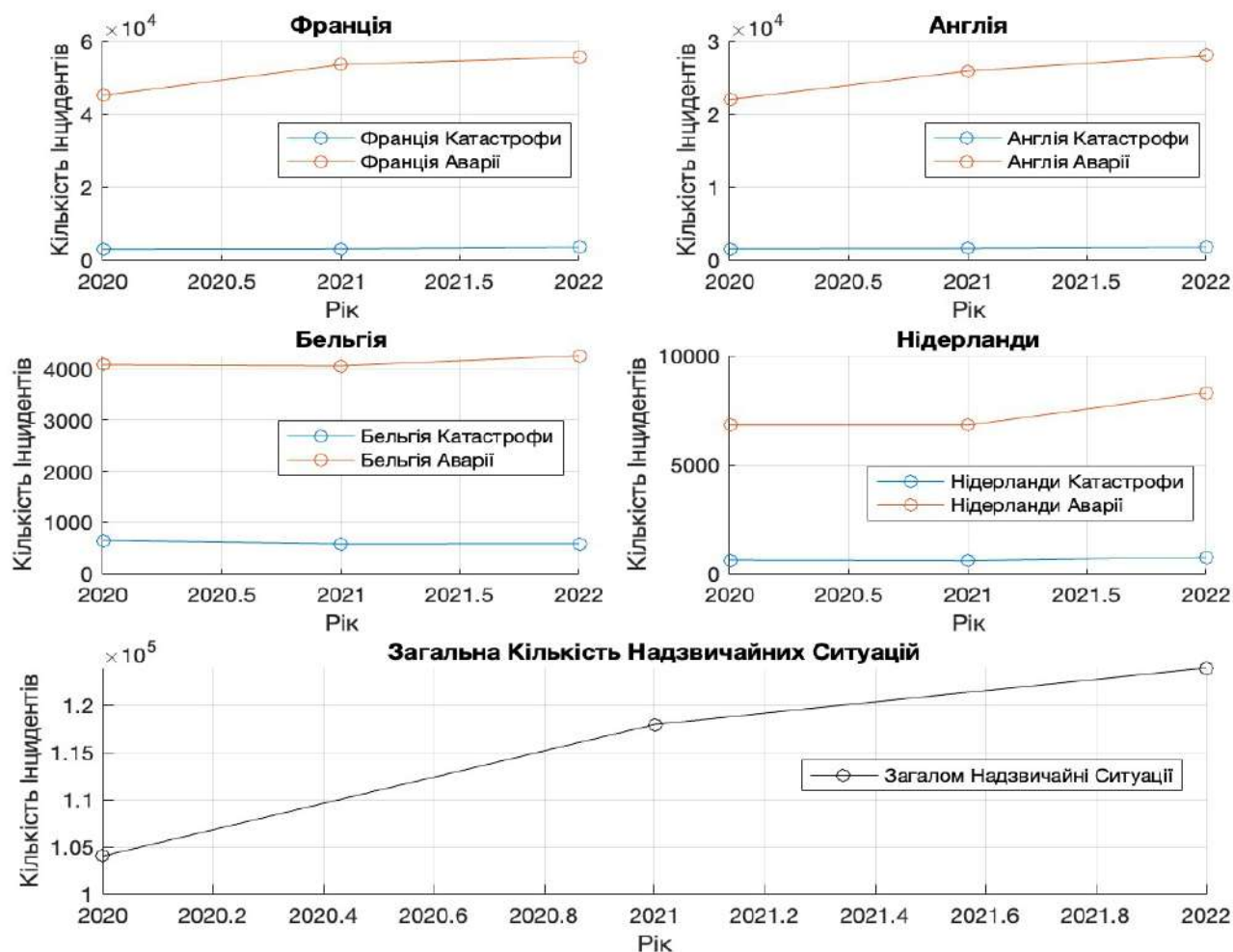


Рис. 4.5.1. Динаміка небезпек на автомобільному транспорті за такими країнами, як: Англія, Франція, Бельгія та Нідерланди.

Джерело: розроблено автором на основі [255-257]

Ризик настання надзвичайних ситуацій було розраховано за допомогою ПЗ MATLAB за кодом, поданим на рис. 4.4.4. Вищезазначені дані зведено у загальну таблицю для проведення моделювання (див. табл. 4.5.5):

Таблиця 4.5.5. Вихідні дані кількісних оцінок факторів, що впливають на вибір на маршрут перевезення

	R_j	E_j , кг	T_j , год	C_j , EUR
АВІА	$0,8 \cdot 10^{-6}$ *	56	25,4	2732,4
АВТО	$8,1865 \cdot 10^{-6}$	44,12	7,75	1379

* використане зважене значення ймовірності виникнення надзвичайної ситуації через відсутність інформації

Джерело: складено автором

Тоді матриці порівнянь системи оцінки (див. рис. 4.5.6):

Таблиця 4.5.6. Оцінка «важливості» елементів системи оцінок F_{TR}

	R	E	T	C
R	1	3	1	3
E	0,33	1	1	1
T	1	1	1	2
C	0,333	1	0,5	1

Джерело: розроблено автором

Для спрощення розрахунку автором було розроблено код у програмному середовищі MATLAB для автоматизованого розрахунку за моделлю (рис. 4.5.6.).

З рис. 4.5.2 можемо зробити висновок, що оптимальним маршрутом за визначеними критеріями є авіаційне перевезення до оптимального транспортного вузла Міжнародного аеропорту Схіпгол (AMS).

Подальші розрахунки були виконані аналогічно вищевказаному алгоритму. Визначений за допомогою комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем маршрут подано на рис. 4.5.3.

```

Editor - /Users/kostya_chero/ahp_example.m
modelRisk_PhDThesis.m  untitled.m  ahp_example.m  +
function ahp_example()
2
3 % крок 1: визначити матриці порівнянь важливості факторів та альтернатив
4 % маршрутів
5
6
7 criteriaMatrix = [1 3 1 3; 0.333 1 1 1; 1 1 1 2; 0.333 1 0.5 1];
8 riskMatrix = [1 (0.6*10^(-6))/(0.1865*10^(-6)); (0.1865*10^(-6))/(0.6*10^(-6)) 1];
9 ecologyMatrix = [1 56/44.12; 44.12/56 1];
10 timeMatrix = [1 25.4/7.75; 7.75/25.4 1];
11 costMatrix = [1 2732.4/1379; 1379/2732.4 1];
12
13 % крок 2: розрахувати вектори пріоритетів для факторів та альтернатив
14 % маршрутів
15
16
17 criteriaWeights = calculatePriority(criteriaMatrix);
18 alternativeRisk = calculatePriority(riskMatrix);
19 alternativeEcology = calculatePriority(ecologyMatrix);
20 alternativeTime = calculatePriority(timeMatrix);
21 alternativeCost = calculatePriority(costMatrix);
22
23 % крок 3: визначення загальних оцінок
24
25 alternativesMatrix = [alternativeRisk, alternativeEcology, alternativeTime, alternativeCost];
26 overallScores = alternativesMatrix * criteriaWeights;
27
28 % крок 4: виведення результату оцінювання
29
30 disp('Ваги критеріїв:');
31 disp(criteriaWeights);
32 disp('Загальні оцінки за альтернативами маршрутів:');
33 disp(overallScores);
34
35 end
36
37 function priorityVector = calculatePriority(matrix)
38
39 % крок 5: eigenvector та eigenvalue
40
41 [V, D] = eig(matrix);
42 [maxEigenvalue, index] = max(diag(D));
43 priorityVector = V(:, index);
44
45 % крок 6: eigenvector
46 priorityVector = priorityVector / sum(priorityVector);
47
48 % крок 7: перевірка консистентності результату
49 consistencyIndex = (maxEigenvalue - length(matrix)) / (length(matrix) - 1);
50 randomIndex = [0, 0, 0.58, 0.98, 1.12, 1.24, 1.32, 1.41, 1.45];
51 consistencyRatio = consistencyIndex / randomIndex(length(matrix));
52 if consistencyRatio > 0.1
53     warning('The consistency ratio is too high: %f', consistencyRatio);
54 end

```

```

Command Window
>> ahp_example
Ваги критеріїв:
0.3995
0.1781
0.2779
0.1444

Загальні оцінки за альтернативами маршрутів:
0.4358
0.5642

fx >>

```

Рис. 4.5.2. Розроблений автором код у програмному середовищі MATLAB для автоматизованого розрахунку за моделлю комплексної оцінки безпеки транспортних систем.

Джерело: розроблено автором

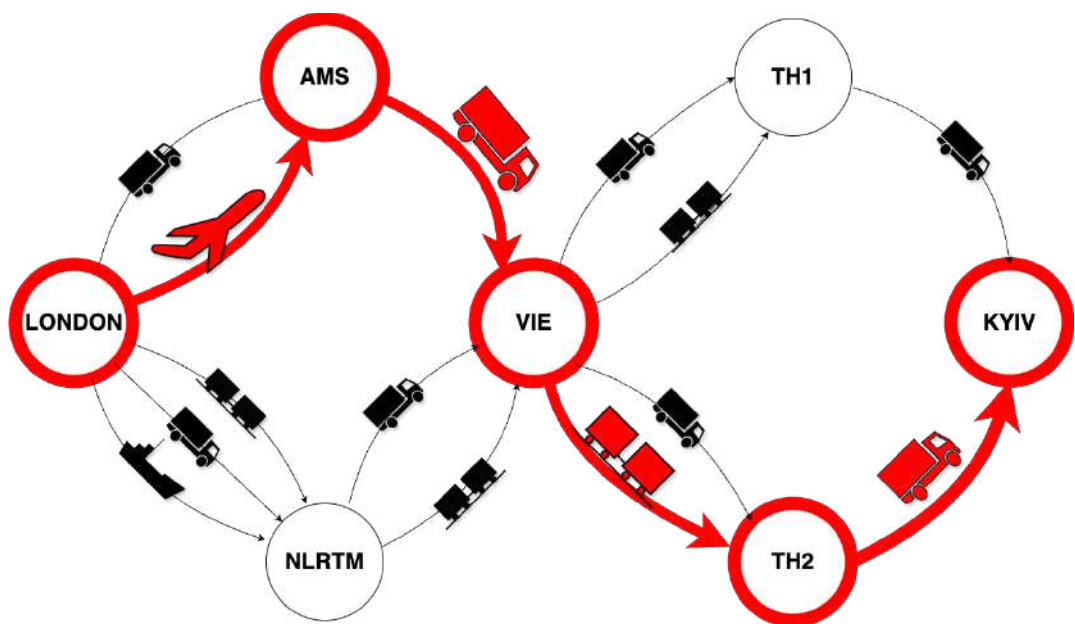


Рис. 4.5.3. Визначений моделлю комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем маршрут перевезення вантажу з Лондону до Києва.

Джерело: розроблено автором

При цьому фінансові витрати за встановленим маршрутом гіпотетичного графу інтегрованих систем перевезень складають 4230 EUR , а часові – 8,45 днів.

4.6. Висновки до розділу 4

У розділі 4 дослідження було апробовано модель комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем на прикладі гіпотетичного розробленого графу системи перевезення вантажів.

Концепція моделі полягає у багатокритеріальній оцінці системи перевезення, що складається з наступних кроків: 1) оцінки надійності (K_n) транспортного вузла (TH_n); 2) оцінки загрози зовнішнього середовища (W_n) транспортного вузла (TH_n); 3) вибору оптимального транспортного вузла (TH_{opt_n}) з урахуванням оцінки його безпеки за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті з доповненням таких параметрів, як себе час (T_n) та витрати (C_n), необхідні на обробку вантажів у транспортному вузлі; 4) оцінки ризику настання надзвичайних ситуацій на інтегрованому маршруті перевезення вантажів (R_m); 5) вибору оптимального маршруту перевезення (TR_{optn}) з урахуванням оцінки його безпеки за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті з доповненням таких параметрів, як: час (T_m) та витрати (C_m), необхідні на фактичне перевезення вантажів до транспортного вузла.

Першочергово, був розроблений гіпотетичний граф інтегрованого перевезення вантажу та визначені альтернативи маршрутів. Подані параметри партії вантажу, які будуть враховуватися під час розрахунку часу перевезення та витрат.

За результатами оцінки надійності транспортного вузла автор дійшов до висновку, що найбільш безпечним хабом на всьому графі інтегрованої транспортної системи є мультимодальний центр компанії у м. Хмельницький. Показник готовності системи безпеки до роботи (K_r) = 0,9977. Для автоматизованого розрахунку за моделлю був розроблений програмний код у

середовищі MATLAB.

За результатами аналізу середовища, в якому розташований транспортний вузол, було розроблено інтелектуальний класифікатор зовнішніх загроз, який враховує фактори криміногенності та відстані від лінії розмежування збройного конфлікту. Розрахунки показали, що найбезпечнішим вузлом у графі інтегрованої транспортної системи в межах території України виявився мультимодальний центр компанії у м. Луцьк ($W = 0,282$), а за межами - Міжнародний морський порт Роттердам ($W = 0,0935$).

Провівши розрахунки за першим етапом алгоритму побудови безпечних маршрутів перевезення вантажів, автор встановив що оптимальний транспортний вузол для перевезення вантажів – Міжнародний аеропорт Схіпгол. Тоді актуалізується задача вибору безпечного маршруту до даного транспортного вузла з наявних альтернатив: автомобільного та авіаційного. Для автоматизованого розрахунку за моделлю був розроблений програмний код у середовищі MATLAB.

Спершу, розроблена модель ризиків була протестована на прикладі перевезення до Міжнародного морського порту Роттердам морським транспортом. Результати показали, що ризик настання надзвичайної ситуації із груп подій (знищення/пошкодження/втрата вантажу, або транспортного засобу; каліцтво/смерть членів екіпажу або сервісного персоналу) (R) складає $2,7743 \cdot 10^{-6}$. Для автоматизованого розрахунку за моделлю був розроблений програмний код у середовищі MATLAB.

Наступний крок – апробація моделі для вибору оптимального маршруту перевезення. Тоді автором до безпосередньої оцінки ризику були додані такі параметри, як: шкідливі викиди CO₂ в атмосферу, витрати за перевезенням, час на перевезення. Розрахунок показав, що найбільш оптимальним є авіаційне перевезення до вже визначеного оптимального транспортного вузла МА Схіпгол.

Після цього процес вибору оптимальних транспортних вузлів та маршрутів до них зациклюється доти, доки перевезення не досягне фінального

місцезнаходження. Розрахунки показали, що оптимальним маршрутом на розробленому гіпотетичному графі інтегрованої системи перевезення вантажів є «Лондон –авіаційне перевезення→ Амстердам –автомобільне перевезення→ Відень –залізничне перевезення→ Хмельницький –автомобільне перевезення→ Київ». Фінансові витрати становлять 4230 EUR, а часові витрати – 8,45 днів.

Практичне застосування апробованої моделі дозволяє оцінювати альтернативні варіанти та розробляти найбезпечніший маршрут ще на етапі проектування транспортно-технологічних схем інтегрованих перевезень. Це забезпечує всебічну транспортну безпеку, що має вирішальне значення для ефективного функціонування транспортної інфраструктури, особливо в період війни в Україні. В умовах збройного конфлікту, коли загрози безпеці значно зростають, комплексний підхід до оцінки безпеки стає критично важливим для захисту людських життів, збереження ресурсів та забезпечення безперервності перевезень.

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Світовий досвід управління транспортними потоками на всіх рівнях свідчить, що розвиток інтегрованих систем перевезень є ефективним засобом зниження витрат і підвищення співпраці між учасниками доставки. Такі системи дозволяють об'єднати різні види транспорту в єдину гармонійну систему, що забезпечує їхню взаємодію. Тому питання створення інтегрованих транспортних систем є актуальним і потребує ретельного вивчення.

Сьогодні, особливо в Україні, питання безпеки та ефективності транспортних перевезень набуло виняткової важливості. Це зумовлено не лише економічними та соціальними факторами, але й військовими діями на території країни, які суттєво впливають на логістичні процеси та збільшують ризики для транспортної безпеки. Військовий конфлікт призводить до руйнування інфраструктури, ускладнює функціонування транспортних коридорів і створює додаткові загрози для пасажирів та вантажів.

У *першому розділі* дисертаційного дослідження автор аналізує функціонування інтегрованих транспортних систем і проблематику забезпечення безпеки на транспорті. Автор встановлює, що інтегровану транспортну систему слід розглядати як над-систему, що включає інтермодальні, мультимодальні та комбіновані перевезення, кожен з яких має свою специфічну технологію виконання доставки вантажів.

Зважаючи на невизначеність поняття транспортної безпеки в нормативно-правовому полі України та різнопланові погляди сучасних науковців, автор пропонує розуміти її як стан транспортної системи, при якому ймовірність завдання шкоди людям, залученим у транспортний процес, об'єктам інфраструктури та транспортним засобам знижена до прийняттого рівня завдяки безперервному процесу визначення та управління внутрішніми і зовнішніми загрозами. Таким чином, поняття «транспортна безпека» в контексті інтегрованої транспортної системи охоплює кілька галузей безпеки на

транспорті: авіаційну безпеку, безпеку залізничного, морського і річкового транспорту, а також безпеку автомобільного транспорту.

Забезпечення транспортної безпеки передбачає впровадження системи правових, економічних, організаційних та інших заходів у сфері транспортного комплексу, спрямованих на запобігання травматичним наслідкам для здоров'я і життя людей, уникнення збитків майну та навколишньому середовищу, а також мінімізацію економічних втрат у транспортній діяльності.

У сучасних підходах до оцінки транспортної безпеки в інтегрованих системах перевезень автором були виділені наступні недоліки:

- **однобічність оцінки безпеки перевезення вантажів:** більшість методів оцінки зосереджуються або на транспортних вузлах, або на транспортних маршрутах; оскільки інтегровані системи перевезення включають транспортні вузли, що обслуговують кілька видів транспорту, необхідно проводити комплексну оцінку безпеки на кожній ланці транспортного процесу.

- **проблеми управління транспортною безпекою:** більшість аналізованих методів застосовні лише до транспортних компаній, які контролюють транспортну інфраструктуру або транспортні засоби; для компаній, що користуються послугами перевізників, важливим є питання проектування оптимальних з точки зору безпеки перевезень;

- **відсутність врахування війни в Україні в системі оцінок безпеки як інфраструктурних об'єктів, так і маршрутів перевезення.**

У *другому розділі* автор досліджує вплив повномасштабного вторгнення росії в Україну на світові вантажні потоки. Виявлено, що Україна, яка розташована на важливому транзитному шляху між Європою та Азією, зазнала значних економічних і логістичних змін. Порушення транспортних коридорів, санкції проти росії, перебої в роботі українських портів, авіаційних та залізничних перевезень створили нові виклики та ризики для міжнародної логістики.

Також автор аналізує вплив криміногенного зовнішнього середовища транспортного вузла на кількість актів незаконного втручання. Розроблена

модель множинної лінійної регресії підтвердила гіпотезу про істотний вплив цього фактора на безпеку аеропорту.

Крім того, автор дисертаційного дослідження аналізує статистичні дані щодо повітряних тривог на території України, використовуючи відкриту інформацію із засобів масової інформації. За результатами аналізу було сформовано ранжування території України за рівнем загроз: зона 1 – умовно-безпечна (УБ); зона 2 – мало-безпечна (МБ); зона 3 – небезпечна (Н); зона 4 – середньо-небезпечна (СН); зона 5 – високо-небезпечна (ВН).

У *третьому розділі* автор дослідження розробив модель комплексної оцінки транспортної безпеки інтегрованих систем перевезення вантажів для побудови оптимальних маршрутів з точки зору безпеки, яка включає в себе наступні під-моделі: модель оцінки надійності (K_n) транспортного вузла (TH_n); модель оцінки загрози зовнішнього середовища (W_n) транспортного вузла (TH_n) - для розрахунку цього параметру був розроблений інтелектуальний класифікатор оцінки зовнішніх загроз ІКОЗЗ за допомогою нечіткої логіки; модель вибору оптимального транспортного вузла (TH_{opt_n}) за оцінкою рівня його безпеки, яке здійснюється за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті на основі вже розроблених моделей оцінки надійності (K_n) та загрози зовнішнього середовища (W_n) транспортного вузла (TH_n). Окрім того, модель включає в себе час (T_n) та витрати (C_n) на перевезення; модифікована модель оцінка ризиків настання надзвичайних подій на маршрутах (R_m); модель вибору оптимального маршруту перевезення (TR_{optn}) за оцінкою рівня його безпеки, яке здійснюється за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій Т. Сааті на основі вже розробленої моделі оцінки ризику настання надзвичайних подій (R_m). Окрім того, модель включає в себе час (T_m) та витрати (C_m) на перевезення.

Запропонована автором комплексна модель враховує недоліки, визначені у першому розділі, щодо моделювання оцінки безпеки в інтегрованих транспортних системах, а саме:

- для вирішення проблеми однобічності, оцінка безпеки проводиться на кожному етапі перевезення, як у транспортних вузлах, так і на маршрутах перевезення;

- процедура оцінки є комплексною і включає оцінку зовнішніх чинників, що впливають на роботу транспортного вузла, а також безпосередню оцінку системи забезпечення безпеки транспортного вузла, яка протидіє зовнішнім загрозам;

- розроблена модель враховує фактор війни, спричинений повномасштабним вторгненням російської федерації в Україну та масовими обстрілами її інфраструктурних об'єктів.

У четвертому розділі дослідження було апробовано модель комплексної оцінки безпеки інтегрованих транспортних систем на прикладі гіпотетичного розробленого графу системи перевезення вантажів.

Першочергово, був спроектований гіпотетичний граф інтегрованого перевезення вантажу та визначені альтернативи маршрутів. Подані параметри партії вантажу, які були враховані під час розрахунку часу перевезення та витрат.

Провівши розрахунки за першим етапом алгоритму побудови безпечних маршрутів перевезення вантажів, автор встановив що оптимальний транспортний вузол для перевезення вантажів – Міжнародний аеропорт Схіпгол. Тоді актуалізується задача вибору безпечного маршруту до даного транспортного вузла з наявних альтернатив: автомобільного та авіаційного. Для автоматизованого розрахунку за моделлю був розроблений програмний код у середовищі MATLAB.

Другий етап – апробація моделі ризику для вибору оптимального маршруту перевезення. Тоді автором були додані до моделі такі параметри, як: шкідливі викиди CO₂ в атмосферу, витрати за перевезенням, час на перевезення. Розрахунок показав, що найбільш оптимальним є авіаційне перевезення до визначеного транспортного вузла МА Схіпгол.

Після цього процес вибору оптимальних транспортних вузлів та маршрутів до них зациклюється доти, доки перевезення не досягне фінального

місцезнаходження. Розрахунки показали, що оптимальним маршрутом на розробленому гіпотетичному графі інтегрованої системи перевезення вантажів є «Лондон –авіаційне перевезення→ Амстердам –автомобільне перевезення→ Відень –залізничне перевезення→ Хмельницький –автомобільне перевезення→ Київ». Фінансові витрати становлять 4230 EUR, а часові витрати – 8,45 днів.

Практичне застосування апробованої моделі дозволяє оцінювати альтернативні варіанти та розробляти найбезпечніший маршрут ще на етапі проектування транспортно-технологічних схем інтегрованих перевезень. Це забезпечує всебічну транспортну безпеку, що має вирішальне значення для ефективного функціонування транспортної інфраструктури, особливо в умовах війни в Україні. В контексті збройного конфлікту, коли загрози безпеці значно зростають, комплексний підхід до оцінки безпеки стає критично важливим для захисту людських життів, збереження ресурсів та забезпечення безперервності перевезень.

Більше того, модель дозволяє швидко адаптуватися до змін у ситуації на місцях, оперативно коригуючи маршрути та методи перевезень відповідно до нових загроз і викликів. Такий підхід не тільки підвищує рівень безпеки, але й сприяє більш раціональному використанню ресурсів, що є важливим у контексті обмежених можливостей під час війни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Efficiency analysis of current repair procedures for aviation radio equipment / O. Solomentsev et al. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development*. Cham, 2024. P. 281–295. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_21.
2. Ivannikova V., Sokolova O., Cherednichenko K. How the war in Ukraine impacts global air transportation ecosystem: assessment and forecasting of consequences. *TRANSBALTICA XIV: Transportation Science and Technology*. Cham, 2024. P. 386–401. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-52652-7_38.
3. Self-organization technique with a norm transformation based filtering for sustainable infocommunications within cns/atm systems / O. Holubnychyi et al. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development*. Cham, 2024. P. 262–278. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_20.
4. Чередніченко К. В., Соколова О. Є. Концепція «театру безпеки» інтегрованих транспортних систем. *Політ. Сучасні проблеми науки : матеріали XXIII Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 4 квіт. 2023 р. Київ, 2023. С. 37–39.* URL: <https://bit.ly/42uGIpQ>.
5. Чередніченко К. В., Соколова О. Є. Проблематика оцінки рівня транспортної безпеки в інтегрованих системах перевезення вантажів. *Транспортні технології та безпека дорожнього руху : матеріали IV Всеукр. науково-практ. конф., м. Запоріжжя, 14 квіт. 2023 р. 2023. С. 59–62.* URL: <https://bit.ly/3MTDx55>.
6. Model of transport safety assessment in multimodal transportation systems / K. Cherednichenko et al. *Transport*. 2023. Vol. 38, no. 4. P. 204–213. URL: <https://doi.org/10.3846/transport.2023.20865>.
7. Sokolova O., Cherednichenko K., Ivannikova V. Mathematical model of airport aviation security. *Transbaltica Xiii: Transportation Science And Technology*. Cham, 2023. P. 773–781. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_75.

8. Sokolova O. Y., Cherednichenko K. V. Methods and models of short-term forecasting of the european air transport market. *Scientific Notes Of Taurida National V.i. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2023. No. 1. P. 306–316. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/46>.
9. Чередніченко К. В. Модель порушника авіаційної безпеки аеропорту. *Політ. Сучасні проблеми науки* : матеріали XXII Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 4 квіт. 2022 р. Київ, 2022. URL: <https://bit.ly/3Nfff7a>.
10. Cherednichenko K., Sokolova O. On prospects of analytic hierarchy process application for freight transportation safety management in integrated transport systems. *Electronics and Control Systems*. 2022. Vol. 2, no. 72. P. 64–68. URL: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.72.16945>.
11. Cherednichenko K. Urban transport network optimization modeling in integrated transport systems. *Dorogi i mosti*. 2022. Vol. 2022, no. 25. P. 259–269. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.259>.
12. Чередніченко К. В. Підвищення надійності перевезення вантажу в інтегрованих транспортних системах за рахунок оптимізації міської транспортної мережі. *Проблеми організації перевезень та управління на повітряному транспорті* : матеріали X Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 28 листоп. 2021 р. Київ, 2021. С. 34–36. URL: <https://bit.ly/3MT9rPq>.
13. Cherednichenko K., Miroshnikova J. Modeling of territorial differentiation by transport infrastructure level of development. *Electronic Scientific Journal Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management #1 2020*. 2021. No. 6. P. 48–54. URL: <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2021-6-4>.
14. The scientific-methodological approaches to transport risks management in multimodal freight transportations / M. B. Yanchuk et al. *Business Inform*. 2021. Vol. 2, no. 517. P. 198–209. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-2-198-209>.
15. Cherednichenko K. V., Yanchuk M. B. Mathematical formalization of transport safety assessment. *Ninth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY – Safety in Aviation and Space Technologies"* : матеріали IX

Міжнародного конгресу, Київ, 22–24 September 2020. Київ, 2020.
URL: <https://bit.ly/3OYxleQ>.

16. Чередніченко К. В., Янчук М. Б. Оцінювання авіаційної безпеки аеропортів у мультимодальних системах. *Проблеми організації авіаційних, мультимодальних перевезень та застосування авіації в галузях економіки* : матеріали VII Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 21 листоп. 2019 р. Київ, 2019. С. 12–17. URL: <https://bit.ly/3MWBLA9>.

17. Чередніченко К. В., Постоєнко А. О., Кіріоненко К. П. Оцінка ризику як етап діагностики транспортної безпеки при організації мультимодальних перевезень. *Проблеми організації авіаційних, мультимодальних перевезень та застосування авіації в галузях економіки* : матеріали VI Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 22 листоп. 2018 р. Київ, 2018. С. 75–80. URL: <https://bit.ly/3MVgp6v>.

18. Чередніченко К. В. Теоретичні аспекти діагностики авіаційної безпеки аеропорту. *Інформаційні технології, системний аналіз і моделювання соціоекологоекономічних систем* : матеріали IX Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 20–23 берез. 2018 р. Київ, 2018. С. 236–240. URL: <https://bit.ly/3MY8dCs>.

19. Проблематика оновлення та розширення парку транспортних засобів / К. В. Чередніченко та ін. *Удосконалення технології та технічного оснащення транспортних систем* : матеріали науково-техн. конф. молодих вчен., магістрантів та студентів, м. Дніпро, 29 берез. – 6 квіт. 2017 р. 2017. С. 24–25. URL: <https://bit.ly/45Ozsb9>.

20. Чередніченко К. В. Особливості лобізму в Україні. *Політ. Сучасні проблеми науки. Гуманітарні науки* : матеріали XVI Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ. 2016. С. 197. URL: <https://bit.ly/3JoCU2P>.

21. Чередніченко К. В., Павлишина О. О. Управління логістичними процесами та проблеми формування логістичних систем. *Сучасні підходи до креативного управління економічними процесами* : матеріали ІХ Всеукр. науково-практ. конф., м. Київ. 2016. С. 267–268. URL: <https://bit.ly/45UhFj0>.

22. Чередніченко К. В., Тимкович І. І. Юридична освіта як складова професійної підготовки фахівця у галузі логістики. *Інновації в юридичній освіті* : матеріали Всеукр. наукової-практ. конф. до Дня Науки, м. Київ. 2015. С. 40–43. URL: <https://bit.ly/43vqeic>.
23. Marukhovska-Kartunova O., Khromova O., Tsoi T. Філософія Науки Та Структура Наукового Знання: Еволюція Концептуальних Підходів. *Epistemological Studies in Philosophy Social and Political Sciences*. 2023. Т. 6, № 2. С. 36–44. URL: <https://doi.org/10.15421/342323>.
24. Філософія: теоретичний курс / Я. В. Шрамко та ін. Криворіз. держ. пед. ун-т, 2021. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/4392>.
25. Петрушенко В. Л. Філософія : корот. навч. слов.: терміни і поняття. Львів : Магнолія 2006, 2009. 148 с.
26. Сукач М. Основи наукових досліджень. МР Lesja, 2014. URL: <https://doi.org/10.26884/mks.t1423> (дата звернення: 06.06.2024).
27. Functional regions as a platform to define integrated transport system zones: The use of population flows data / S. Kraft et al. *Applied Geography*. 2022. Vol. 144. P. 102732. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102732>.
28. Musa M., Hashim N. F., Muhammad R. Integrated Transport System: Challenges and Potential Toward Sustainability in the Malaysian Transport System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 884. P. 012032. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/884/1/012032>.
29. Janic M. Integrated transport systems in the European Union: An overview of some recent developments. *Transport Reviews*. 2001. Vol. 21, no. 4. P. 469–497. URL: <https://doi.org/10.1080/01441640110042147>.
30. Kiba-Janiak M., Thompson R., Cheba K. An assessment tool of the formulation and implementation a sustainable integrated passenger and freight transport strategies. An example of selected European and Australian cities. *Sustainable Cities and Society*. 2021. Vol. 71. P. 102966. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102966>.

31. Adamski A. Integrated transportation systems. *Modeling and Management in Transportation*. 1999. P. 21–34. URL: https://www.researchgate.net/profile/Adamski-Andrzej/publication/285740733_Integrated_transportation_systems_Modelling_and_Management_in_Transportation/links/58bbfca8aca27261e528ad17/Integrated-transportation-systems-Modelling-and-Management-in-Transportation.pdf.
32. Hull A. Integrated transport planning in the UK: From concept to reality. *Journal of Transport Geography*. 2005. Vol. 13, no. 4. P. 318–328. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2004.12.002> (date of access: 06.06.2024).
33. Schwedes O., Hoor M. Integrated Transport Planning: From Supply- to Demand-Oriented Planning. Considering the Benefits. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, no. 21. P. 5900. URL: <https://doi.org/10.3390/su11215900> (date of access: 06.06.2024).
34. Глобальні тенденції розвитку транспорту: оцінка українських фахівців. *Центр транспортних стратегій*. URL: https://cfts.org.ua/articles/globalni_tendentsi_rozvitku_transportu_otsinka_ukrainskikh_fakhivtsiv_1956.
35. RESOURCE-SAVING AND RELIABILITY OF TRANSPORTATION SYSTEMS / E. I. Tkhoruk et al. *Resource-saving technologies of raw-material base development in mineral mining and processing*. 2020. P. 109–122. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/18350/>.
36. Ignatov A. On the Resource Allocation Problem to Increase Reliability of Transport Systems. *Mathematical Optimization Theory and Operations Research*. Cham, 2023. P. 169–180. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-35305-5_11.
37. Janić M. An approach to analysing and modelling the reliability of transport services. *Transportation Planning and Technology*. 2021. P. 1–32. URL: <https://doi.org/10.1080/03081060.2021.1943133>.
38. Voytov V., Berezchnaya N., Kutiya O. CRITERIA FOR ESTIMATING RELIABILITY OF TRANSPORT SERVICE LOGISTIC SYSTEM. *Automobile*

Transport. 2017. № 41. С. 96. URL: <https://doi.org/10.30977/at.2219-8342.2017.41.0.96>.

39. Katsman M., Matsyuk V., Myronenko V. Моделювання Надійності Транспорту В Екстремальних Умовах Функціонування Як Системи Масового Обслуговування З Пріоритетами. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2023. Т. 3, № 73. С. 10–17. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2023.3.010>.

40. Грибан М. М. Сутність Безпеки На Автомобільному Транспорті Загального Користування Як Об'єкту Державного Нагляду (Контролю). *Вісник Кримінологічної асоціації України*. 2023. Т. 28, № 1. С. 273–282. URL: <https://doi.org/10.32631/vca.2023.1.24>.

41. Averkyna M. F., Artiukh O. M. Estimation Of The Urban Transport Systems Stability. *Efektivna ekonomika*. 2018. No. 12. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2018.12.10>.

42. Physical foundations of vehicle stability when moving uphill and at longitudinal roll back / M. Kolisnyk et al. *Automobile transport*. 2023. No. 52. P. 5–13. URL: <https://doi.org/10.30977/at.2219-8342.2023.52.0.01>.

43. GOROBETS V., KOZACHENKO D., VERNYHORA R. Engineering of crises and risks of transportation of dangerous goods. *Transport systems and transportation technologies*. 2023. No. 24. P. 46–52. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272063>.

44. Русак Д. М., Резнікова Н. В., Іващенко О. А. Ризик-Менеджмент Глобальних Ланцюгів Поставок: Вразливість І Стійкість У Фокусі Стратегічного Управління В Умовах Глобальної Невизначеності Економічної Кон'юнктури. *Agrosvit*. 2022. № 21. С. 3–11. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.21.3>.

45. Wang N., Wu M., Yuen K. F. Modelling and assessing long-term urban transportation system resilience based on system dynamics. *Sustainable Cities and Society*. 2024. P. 105548. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105548>.

46. Analysis of onset-to-door time and its influencing factors in Chinese patients with acute ischemic stroke during the 2020 COVID-19 epidemic: a preliminary, prospective, multicenter study / Y. Liao et al. *BMC Health Services Research*. 2024. Vol. 24, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11088-8>.
47. Shevchenko I., Dmytriiev I., Dmytriieva O. Risk modeling in working out the plan of developing the road transport cargo enterprise. *Automobile transport*. 2022. No. 51. P. 96–101. URL: <https://doi.org/10.30977/at.2219-8342.2022.51.0.10>.
48. Гусак І. Л., Нікітін П. В. Метод Управління Ризиками Надзвичайних Ситуацій При Виконанні Морських Перевезень. *Vodnij transport*. 2023. № 2(38). С. 108–114. URL: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.12>.
49. Analysis of risks of international road cargo transportation / А. С. ДОРОШ et al. *Transport systems and transportation technologies*. 2020. No. 20. P. 12–19. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2020/217388>.
50. Tarashevskyi M. M. The Status of Risk Management in Transport Enterprises of Ukraine. *Business Inform*. 2020. Vol. 8, no. 511. P. 125–133. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-125-133>.
51. ASSESSMENT OF RISKS ON SORTING SLIDES ACCORDING TO EUROPEAN APPROACHES / M. BEREZOVYI et al. *Transport systems and transportation technologies*. 2022. No. 23. P. 89. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261662>.
52. Determination Of Transport And Customs Risks In International Truck Transportation Using The Method Of Expert Assessments / О. А. Chupaylenko et al. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2023. No. 1. P. 329–335. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/49>.
53. Фердман Г. Проблеми Та Перспективи Розвитку Транспортної Системи України. *Актуальні проблеми державного управління*. 2019. Т. 2, № 78. С. 93–97. URL: <https://doi.org/10.35432/1993-8330appa2782019179115>.

54. Panchenko N. The Formation Of The System Of Risk-Management On Railway Transport Of Ukraine. *Agrosvit*. 2018. No. 22. P. 34. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2018.22.34>.
55. Використання Методів Управління Ризиками Для Зменшення Аварійності На Транспорті / С. Андрусенко Та Ін. *Сучасні Технології В Машинобудуванні Та Транспорті*. 2021. Т. 2, № 17. С. 31–39. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.632>.
56. Russo F., Vitetta A. Risk evaluation in a transportation system. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2006. Vol. 1, no. 2. P. 170–191. URL: <https://doi.org/10.2495/sdp-v1-n2-170-191>.
57. Transportation risk analysis using probabilistic model checking / A. Soeanu et al. *Expert Systems with Applications*. 2015. Vol. 42, no. 9. P. 4410–4421. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.052>.
58. Підвищення Ефективності Системи Обслуговування Пасажирів Аеропорту В Процесі Взаємодії Повітряного, Автомобільного Та Залізничного Транспорту / S. Turpak та ін. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. 2023. Т. 26. С. 88–96. URL: <https://doi.org/10.32447/20784643.26.2022.11> (дата звернення: 07.06.2024).
59. Савченко Л. Взаємодія видів транспорту : навч. посіб. Київ : Нац. авіац. ун-т, 2010. 96 с.
60. Yarova N., Vorkunova O. Basic Forms Of International Integration Interaction. *Development of Management and Entrepreneurship Methods on Transport (ONMU)*. 2022. Vol. 80, no. 3. P. 16–25. URL: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2022-3-16-25> (date of access: 07.06.2024).
61. Про мультимодальні перевезення : Закон України від 17.11.2021 р. № 1887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text> (дата звернення: 07.06.2024).
62. Multimodal Transportation As A Basic Segment Of The Transit Potential Of Ukraine / P. B. Вернигора et al. *Transport systems and transportation*

technologies. 2017. No. 14. P. 20–29.

URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2017/123148> (date of access: 07.06.2024).

63. Кузнєцова К., Ченуша О., Петренко Д. Мультимодальні Перевезення Як Інструмент Ефективної Міжнародної Логістики. *Economic Synergy*. 2022. № 1;2. С. 81–91. URL: <https://doi.org/10.53920/es-2022-1;2-6> (дата звернення: 07.06.2024).

64. Petrenko O. I., Korniiiko Y. R. The Role of Transport Operators in the Organization of Multimodal Transportation. *Business Inform*. 2021. Vol. 8, no. 523. P. 61–67. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-8-61-67> (date of access: 07.06.2024).

65. Chayka-Petegyrych L. Multimodal And Intermodal Cargo Transportation In The System Of International Transport Logistics. *Herald UNU. International Economic Relations And World Economy*. 2020. No. 33. URL: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-33-41> (date of access: 07.06.2024).

66. Березовий М. І., Малашкін В. В., Лаушник С. В. Current State And Prospects Of Development Combined Transportation In Ukraine. *Transport systems and transportation technologies*. 2018. No. 15. P. 12–18. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2018/150192> (date of access: 07.06.2024).

67. Рекомендація N 5 Європейської економічної комісії ООН "Скорочення для "ІНКОТЕРМС". Алфавітний код для ІНКОТЕРМС 1990" : Рек. Орг. Об'єдн. Націй від 01.01.1996 р. № 5. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_984#Text (дата звернення: 07.06.2024).

68. Development of conceptual provisions to effectively manage the activities of a multimodal transport operator / O. Sokolova et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1, no. 3 (109). P. 38–50. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225522> (date of access: 07.06.2024).

69. Про дорожній рух : Закон України від 30.06.1993 р. № 3353-ХІІ : станом на 1 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

70. Про залізничний транспорт: Закон України від 04.07.1996 р. № 273/96-ВР : станом на 1 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/273/96-вр#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

71. Про транспорт: Закон України від 10.11.1994 р. № 232/94-ВР : станом на 28 трав. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

72. Про автомобільний транспорт: Закон України від 05.04.2001 р. № 2344-III : станом на 1 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

73. Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період: Закон України від 20.10.1998 р. № 194-XIV : станом на 23 квіт. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/194-14#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

74. Повітряний кодекс України: Кодекс України від 19.05.2011 р. № 3393-VI : станом на 1 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

75. Кодекс торговельного мореплавства України: Кодекс України від 23.05.1995 р. № 176/95-ВР : станом на 1 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176/95-вр#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

76. Про трубопровідний транспорт: Закон України від 15.05.1996 р. № 192/96-ВР : станом на 27 лип. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/192/96-вр#Text> (дата звернення: 07.06.2024).

77. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2016/679 від 27 квітня 2016 року про захист фізичних осіб у зв'язку з опрацюванням персональних даних і про вільний рух таких даних, та про скасування Директиви

95/46/ЄС (Загальний регламент про захист даних) : Регламент Європ. Союзу від 27.04.2016 р. № 2016/679. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_008-16#Text (дата звернення: 07.06.2024).

78. Регламент - 1254/2009. *EUR-Lex*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/1254/oj/bul?uri=CELEX:32009R1254>.

79. Implementing regulation - 2020/910. *EUR-Lex*. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2020/910/oj.

80. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2019/1020 від 20 червня 2019 року про ринковий нагляд та відповідність продуктів, а також про внесення змін до Директиви 2004/42/ЄС та Регламенту (ЄС) № 765/2008 і Регламенту (ЄС) № 305/2011 : Регламент Європ. Союзу від 20.06.2019 р. № 2019/1020. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_012-19#Text.

81. Implementing regulation - 2019/1583. *EUR-Lex*. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/1583/oj.

82. Директива Ради 2008/114/ЄС від 8 грудня 2008 року про ідентифікацію і визначення європейських критичних інфраструктур та оцінювання необхідності покращення їх охорони та захисту : Директива Європ. Союзу від 08.12.2008 р. № 2008/114/ЄС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-08#Text.

83. Reliability Analysis of Technical Means of Transport / J. Žurek et al. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, no. 9. P. 3016. URL: <https://doi.org/10.3390/app10093016> (date of access: 07.06.2024).

84. Матвеева А. В. Транспортна безпека держави як складова національної транспортної політики. *Право та інновації*. 2017. Т. 3, № 19. С. 30–35. URL: <https://ndipzir.org.ua/wp-content/uploads/2018/07/Matveeva19.pdf>.

85. Аверічев І. М. Транспортна безпека як особливий вид економічної безпек. *Водний транспорт*. 2013. № 2. С. 53–57. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodt_2013_2_11.

86. Клепікова О. В. Транспортна безпека як засіб державного регулювання. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*.

URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/34842/1/ТРАНСПОРТНА%20БЕЗПЕКА%20ЯК%20АСП%20Б.pdf>.

87. Бесчастний В., Собакаръ А. Державна політика транспортної безпеки України: актуальні питання реалізації. *Віче*. 2010. № 4. С. 2–5. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/viche_2010_4_2.

88. Чабанов А. М. Поняття та змістовне наповнення транспортної безпеки в державно-управлінському вимірі. *Expert Paradigm of Law and Public Administration*. 2023. № 3(27). С. 68–77. URL: [https://doi.org/10.32689/2617-9660-2023-3\(27\)-70-79](https://doi.org/10.32689/2617-9660-2023-3(27)-70-79).

89. Ferdman G. THE ESSENCE OF THE CONCEPT OF TRANSPORT SAFETY: PUBLIC ADMINISTRATION ASPECT. *Law and public administration*. 2020. No. 2. P. 231–236. URL: <https://doi.org/10.32840/pdu.2020.2.34>.

90. Zhao P., Zeng L. Transport Safety. *Transport Efficiency and Safety in China*. Singapore, 2023. P. 313–343. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-99-1055-7_12.

91. Vulnerability and resilience of transportation systems: A recent literature review / S. Pan et al. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2021. Vol. 581. P. 126235. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126235>.

92. Mattsson L.-G., Jenelius E. Vulnerability and resilience of transport systems – A discussion of recent research. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2015. Vol. 81. P. 16–34. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.06.002>.

93. A random-key genetic algorithm-based method for transportation network vulnerability envelope analysis under simultaneous multi-link disruptions / Y. Gu et al. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 248. P. 123401. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123401>.

94. Development of a method for assessing the security of cyber-physical systems based on the Lotka–Volterra model / S. Yevseiev et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 5, no. 9 (113). P. 30–47. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241638>.

95. Lyulyov O. V., Pimonenko T. V. Lotka-Volterra model as an instrument of the investment and innovative processes stability analysis. *Marketing and Management of Innovations*. 2017. No. 1. P. 159–169. URL: <https://doi.org/10.21272/mmi.2017.1-14>.
96. Валько А. М. Формування інтегрованої системи авіаційної безпеки в аеропорту : дисертація на здобуття ступеня доктор філософії. Київ, 2024.
97. Structural optimization of multimodal routes for cargo delivery / I. Taran et al. *Archives of Transport*. 2023. Vol. 67, no. 3. P. 49–70. URL: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7076>.
98. Torres-Rubira J. L., Escrig-Tena A. B., López-Navarro M. A. Internalization of the ‘Safety & Quality Assessment for Sustainability’ System Motivations and performance in Spanish road transport firms. *Research in Transportation Business & Management*. 2023. Vol. 49. P. 100990. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2023.100990>.
99. Towards the Integration of Safety Assessment and Systems Engineering Methods for Rail Transport Systems Development / E. Duurland et al. *INCOSE International Symposium*. 2004. Vol. 14, no. 1. P. 273–287. URL: <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2004.tb00495.x>.
100. Sitarz M., Chruzik K. Safety Management System of Poland's Railway Transport. *Journal of Konbin*. 2008. Vol. 4, no. 1. URL: <https://doi.org/10.2478/v10040-008-0033-7>.
101. Woropay M., Bojar P., Hoppe G. Proposal of a Method to Evaluate Safety of the Road Transport Systems Operation. *Journal of Konbin*. 2008. Vol. 4, no. 1. URL: <https://doi.org/10.2478/v10040-008-0027-5>.
102. RISK ASSESSMENT DURING THE TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS CONSIDERING THE FUNCTIONAL STATE OF THE DRIVER / Y. FORMALCHYK et al. *Transport Problems*. 2021. Vol. 16, no. 1. P. 139–152. URL: <https://doi.org/10.21307/tp-2021-012>.
103. Savage I. A structural model of safety and safety regulation in the truckload trucking industry. *Transportation Research Part E: Logistics and*

Transportation Review. 2011. Vol. 47, no. 2. P. 249–262.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.10.001>.

104. Okoro C. S., Musonda I., Agumba J. N. Validity and reliability of a transportation infrastructure sustainable performance framework: a study of transport projects in South Africa. *Construction Economics and Building*. 2019. Vol. 19, no. 2. URL: <https://doi.org/10.5130/ajceb.v19i2.6730>.

105. Gangi M. D., Luongo A. Measures of network vulnerability indicators for risk evaluation and exposure reduction. *Environmental Health Risk 2005*, Bologna, Italy, 14–16 September 2005. Southampton, UK, 2005. URL: <https://doi.org/10.2495/ehr050061>.

106. Performance-driven vulnerability analysis of infrastructure systems / M. Vatenmacher et al. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2022. Vol. 76. P. 103031. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103031>.

107. Integrated System of Transport Safety / R. Krystek et al. *Journal of Konbin*. 2008. Vol. 4, no. 1. URL: <https://doi.org/10.2478/v10040-008-0030-x>.

108. Zhao Y.-T., Wang Y.-D., Li Y.-F. Research on safety analysis and assessment control of dangerous materials transportation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1043, no. 3. P. 032027. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1043/3/032027>.

109. Carlos Güémez Shedden. Study on the Impact of Heavy Transport Vehicles Braking System Requirements on Road Safety in Costa Rica. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 2016. Vol. 4, no. 2. URL: <https://doi.org/10.17265/2328-2142/2016.02.004>.

110. Monitoring of transport infrastructure exposed to multiple hazards: a roadmap for building resilience / D. V. Achillopoulou et al. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 746. P. 141001. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141001>.

111. Risk Assessment of Terrestrial Transportation Infrastructures Exposed to Extreme Events / U. Eidsvig et al. *Infrastructures*. 2021. Vol. 6, no. 11. P. 163. URL: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6110163>.

112. What is violent extremism?. *Living Safe Together*. URL: <https://www.livingsafetogether.gov.au/Documents/what-is-violent-extremism.PDF>.
113. Cook A. N., Vargen L. M. The empirical grounding of a framework for the risk assessment of violent extremism and other forms of group-based violence. *Journal of Threat Assessment and Management*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1037/tam0000189>.
114. Phillips P. J. Terrorism and Climate Change. *SSRN Electronic Journal*. 2010. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.1603676>.
115. Radicalization in the Ranks / J. Yates et al. *START: College Park*. 2022. URL: <https://www.start.umd.edu/publication/radicalization-ranks>.
116. Truth and significance: a 3N model (needs, narratives, networks) perspective on religion / E. Szumowska et al. *The Science of Religion, Spirituality, and Existentialism*. 2020. P. 225–242. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817204-9.00017-2>.
117. Wiktorowicz Q. *Radical Islam Rising: Muslim Extremism in the West*. Rowman & Littlefield Publishers, Inc., 2004. 248 p.
118. Karagiannis E. European Converts to Islam: Mechanisms of Radicalization. *Politics, Religion & Ideology*. 2012. Vol. 13, no. 1. P. 99–113. URL: <https://doi.org/10.1080/21567689.2012.659495>.
119. Contributors to Wikimedia projects. SHELL model. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SHELL_model.
120. Ткаченко І. О. Ризики у транспортних процесах. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2017. 114 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/154806543.pdf>.
121. Використання матриці Хеддона для оцінки ризику дорожньо-транспортної пригоди / В. ЦОПА та ін. *СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ*. 2022. Т. 2, № 19. С. 221–233. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.921>.

122. Thomas P., Bratvold R. B., Bickel J. E. The Risk of Using Risk Matrices. *SPE Economics & Management*. 2014. Vol. 6, no. 02. P. 056–066. URL: <https://doi.org/10.2118/166269-pa> (date of access: 08.06.2024).
123. Safety Management System. *ICAO*. URL: https://www.icao.int/MID/Documents/2018/Aerodrome%20SMS%20Workshop/M2-1-SMS_Aerodrome_Risk%20Assessment.pdf.
124. Ivashchuk O., Ostroumov I. Impact of Closed Ukrainian Airspace on Global Air Transport System. Information Technology for Education, Science, and Technics. Cham, 2023. P. 51–64. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_4.
125. Assessing impacts of the Russia-Ukraine conflict on global air transportation: From the view of mass flight trajectories / C. Chu et al. *Journal of Air Transport Management*. 2024. Vol. 115. P. 102522. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102522>.
126. War in Ukraine and air transport. *IATA Airlines*. URL: <https://airlines.iata.org/2022/03/25/war-ukraine-and-air-transport>.
127. The impact of the war in Ukraine on the aviation industry. *IATA Factsheet*. URL: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/the-impact-of-the-conflict-between-russia-and-ukraine-on-aviation/>.
128. The Impact on European Aviation. Eurocontrol, 2022. 13 p. URL: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-03/presentation-eurocontrol-dg-strategic-webinar-25032022_0.pdf.
129. Lufthansa holds hope for a “good year”. *Air Cargo News*. URL: <https://www.aircargonews.net/monthly-exclusive/lufthansa-holds-hope-for-a-good-year/>.
130. Impact of the Russian offensive in Ukraine on international tourism. *UN Tourism | Bringing the world closer*. URL: <https://www.unwto.org/impact-russian-offensive-in-ukraine-on-tourism>.
131. The impact of the military confrontation between Russia and Ukraine on air cargo shipments. *Röhlig Logistics*.

URL: <https://www.rohlig.com/company/blog/impact-of-russia-ukraine-conflict-on-air-cargo>.

132. Air cargo helps Finnair restore some Asia service flying around Russia. *FreightWaves*. URL: <https://www.freightwaves.com/news/air-cargo-helps-finnair-restore-some-asia-service-flying-around-russia>.

133. Air Cargo Market Analysis. *IATA*. URL: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-cargo-market-analysis-december-2023/>.

134. Monthly Traffic Monitor. *IATA*. URL: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Air-Traffic-Monitor.aspx>.

135. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/main/data/database> (date of access: 05.06.2023).

136. Worldwide air cargo traffic. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/564668/worldwide-air-cargo-traffic/>.

137. Air Cargo Market Analysis. *IATA Air Cargo Market Analysis*. URL: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-cargo-market-analysis-december-2023/>.

138. 2023 Air Freight Market Rebounds: Strong Demand in Middle East and Latin America, Challenges Remain in North America and Europe - Sobel Network Shipping Co., Inc. *Sobel Network Shipping Co., Inc.* URL: <https://www.sobelnet.com/2023-air-freight-market-rebounds-strong-demand-in-middle-east-and-latin-america-challenges-remain-in-north-america-and-europe/>.

139. Russia's war on Ukraine: Maritime logistics and connectivity. *European Parliament*. URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733603/EPRS_ATAG\(2022\)733603_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733603/EPRS_ATAG(2022)733603_EN.pdf).

140. Maritime Trade Disrupted: The war in Ukraine and its effects on maritime trade logistics. *UNCTAD*. URL: <https://unctad.org/publication/maritime-trade-disrupted-war-ukraine-and-its-effects-maritime-trade-logistics>.

141. Ships, Trains, and Trucks: Unlocking Ukraine's Vital Trade Potential. *CSIS | Center for Strategic and International Studies*. URL: <https://www.csis.org/analysis/ships-trains-and-trucks-unlocking-ukraines-vital-trade-potential>.

142. JUNE 2022: THE WAR IN UKRAINE AND ITS EFFECT ON MARITIME TRADE. *Perez Albros*. URL: <https://perezalbros.com/3898-2/>.

143. What is Going on With Shipping?. The War in Ukraine and Its Effects on Maritime Trade Logistics: Maritime Trade Disrupted, 2022. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Y-BfPoB5hhI>.

144. Kormych B., Averochkina T. Ukrainian Maritime Industry under Fire: Consequences of Russian Invasion. *Lex Portus*. 2022. Vol. 8, no. 2. URL: <https://doi.org/10.26886/2524-101x.8.2.2022.1> (date of access: 06.06.2024).

145. Як вплинула війна на перевезення українською залізницею. *Судновплавство*. URL: <https://ua.sudohodstvo.org/yak-vplynula-vijna-na-perevezennya-ukrayinskoyu-zaliznyczeyu/>.

146. Dmytriv D., Dmytriv O., Repak O. Analysis of the international road freight transport market in Ukraine under martial law. *Socio-Economic Problems and the State*. 2023. Vol. 29, no. 2. P. 48–60. URL: <https://doi.org/10.33108/sepd2023.02.048> (date of access: 06.06.2024).

147. Ukraine crisis impact on freight and global supply chains. *TPS Global*. URL: <https://tps-global.com/ukraine-crisis-impact-on-freight-and-global-supply-chains/>.

148. Кузьо Н., Косар Н. Вплив війни на ринок автомобільних вантажних перевезень України та його подальший розвиток. *Вісник Львівського університету. Серія економічна*. 2023. № 65. С. 10–24. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/economics/article/view/12025/12383>.

149. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного

вторгнення. Київська школа Економіки, 2023. 50 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf.

150. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. Київ. шк. економіки, 24. 39 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf.

151. DeepStateMAP. *DeepStateMap*. URL: <https://deepstatemap.live/> (date of access: 06.06.2024).

152. Карта доріг, якими можуть пересуватися великоваговики загальною вагою до 40 тонн. *Міністерство інфраструктури України*. URL: <https://mtu.gov.ua/news/23647.html> (дата звернення: 06.06.2024).

153. «Укравтодор» оцінює збитки від руйнування доріг та мостів у 900 млрд грн. *Мінфін*. URL: <https://minfin.com.ua/ua/2022/05/07/84975212/>.

154. В Україні бої зруйнували понад 20 тисяч кілометрів доріг. *Кореспондент*. URL: https://ua.korrespondent.net/ukraine/4462922-v-ukraini-boi-zruinuvaly-ponad-20-tysiach-kilometriv-dorih?_gl=1*xj6yel*_ga*MjIyNjEwNzk4LjE3MTc2MzUyMjI.*_ga_HCSJ3J3LKX*MTcxNzYzNTIyMS4xLjEuMTcxNzYzNTIyOS41Mi4wLjExMzYwMDY1Mjk.

155. Перевернуті залізничні вагони. *Фотобанк УНІАН*. URL: <https://photo.unian.ua/photo/1158729-perevernuty-zheleznodorozhnye-vagony>.

156. "Південна залізниця" відновлює інфраструктуру та сполучення з деокупованими ОТГ. *Суспільне* | *Новини*. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/309280-pivden-na-zaliznica-pid-cas-vijni-vidnovlue-infrastrukturu-ta-spolucenna-z-deokupovanimi-mistami/>.

157. «Найстрашніше сьогодні – ніч», – розповіді з Вінниці про війну - Молодь дебатує. *Молодь* дебатує. URL: <https://ukraineyouthdebates.de/2022/03/nastrashnishe-sogodni-nochi-rozpovidi-z-vinnyczi-pro-vijnu/>.

158. Finance.UA. Відбудова «Мрії»: «Антонов» веде переговори з іноземними авіакомпаніями та потенційними замовниками рейсів – NYT – Finance.ua. *Новини фінансів України та світу - Finance.ua.*
URL: <https://news.finance.ua/ua/vidbudova-mrii-antonov-vede-perehovory-z-inozemnyy-aviakompaniyamy-ta-potenciynymy-zamovnykamy-reysiv-nyt>.
159. Три чверті торгівлі: скільки грошей втрачає Україна через блокаду портів росією. *Телеграф.* URL: <https://war.telegraf.com.ua/ukr/ukraina/2022-05-10/5704740-tri-chverti-torgivli-skilki-groshey-vtrachae-ukraina-cherez-blokadu-portiv-rosieyu>.
160. Удар по Николаєву сприяє продовольчій кризі – представник ЄС. *ФОКУС.* URL: <https://focus.ua/uk/voennye-novosti/518130-ataka-nikolaeva-sposobstvuyut-prodovolstvennomu-krizisu-predstavitel-es>.
161. Стрельцова В. Ракетний удар РФ по терміналу "Нової пошти" на Харківщині: серед загиблих є неідентифіковане тіло. *ТСН.ua.*
URL: <https://tsn.ua/exclusive/raketniy-udar-rf-po-terminalu-novoyi-poshti-na-harkivschini-sered-zagiblih-ye-neidentifikovane-tilo-2434642.html>.
162. Руйнування Укрпошти. *Гвара Медіа.*
URL: <https://gwaramedia.com/tag/rujnuvannya-ukrposhti/>.
163. Impact of the Russia–Ukraine Conflict on Global Marine Network Based on Massive Vessel Trajectories / L. Cong et al. *Remote Sensing.* 2024. Vol. 16, no. 8. P. 1329. URL: <https://doi.org/10.3390/rs16081329> (date of access: 06.06.2024).
164. Статистика повітряних тривог. *Київ Цифровий.*
URL: <https://kyiv.digital/storage/air-alert/stats.html> (дата звернення: 06.06.2024).
165. Тривожна статистика: у яких областях найчастіше лунали сирени протягом двох років великої війни. *TrueUA.info.*
URL: <https://trueua.info/news/trivozhna-statistika-u-yakih-oblastyakh-najchastishe-lunali-sireni-protyagom-dvoh-rokiv-vijni>.
166. Мапа тривог України. *Карта повітряних тривог України.*
URL: <https://alerts.in.ua/>.

167. Статистика повітряних тривог. *air-alarms.in.ua*. URL: <https://air-alarms.in.ua/>.
168. Дацюк В. Б. Особливості Розуміння Змісту Та Сутності Понять "Криміногенні Процеси" І "Криміногенні Прояви" В Сучасних Кримінологічних Дослідженнях. *Наука і правоохорона*. 2016. Т. 1, № 31. С. 212–217. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/10483/1/Наука%20i%20правоохорона%201.%202016.pdf>.
169. Annual Report 2023. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2024. 260 p. URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1708066095/6FIsfJ3Ab26LkQNXZrsMsC.pdf>.
170. Annual Report 2022. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2023. 241 p. URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1678892591/6KuDXV8tLObOnmmEyuvtoB.pdf>.
171. Annual Report 2021. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2022. 231 p. URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1677075261/2eFwazvcfkxTRY0wL2Kwxp.pdf>.
172. Annual Report 2020. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2021. 215 p. URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1676614274/1uOk0L1PDJNLhT70QAT6Z1.pdf>.
173. Annual Report 2019. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2020. 255 p. URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1646301200/6luJPjF2YRIcG7IYF1j9eS.pdf>.
174. Annual Report 2018. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2019. 260 p. URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1646301200/6luJPjF2YRIcG7IYF1j9eS.pdf>.
175. Annual Report 2017. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2018. 268 p. URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1615199219/qjHBHQWb4zbJ4ta0lAYzq.pdf>.

176. Annual Report 2016. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2017. 222 p.
URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1583491422/2h5EgiXOt1Qx93tGQowl.pdf>.
177. Annual Report 2015. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2016. 222 p.
URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1551779320/6HbokVdTbcf5AQcQRfPumo.pdf>.
178. Annual Report 2014. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2015. 184 p.
URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1551779252/6q2uJAfyu13G47A5uLjaOg.pdf>.
179. Annual Report 2013. Amsterdam : Royal Schiphol Group, 2014. 245 p.
URL: <https://www.schiphol.nl/en/download/b2b/1551779194/3oaV4ESN6l0kSukqvAkabY.pdf>.
180. Annual Reports 2001-2012. *Schiphol Airport*.
URL: <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/page/archive-annual-reports/>.
181. Amsterdam public violence 2022. *Statista*.
URL: <https://www.statista.com/statistics/1287072/amsterdam-public-violence/>.
182. Чередніченко К. В. Обґрунтування умов підвищення транспортної безпеки в мультимодальних перевезеннях : магістерська робота. Київ, 2020. 229 с. URL: <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/41722>.
183. truTV. Adam Ruins Everything - Why the TSA Doesn't Stop Terrorist Attacks, 2015. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=QKEdKdgi2hg>.
184. Учасники проєктів Вікімедіа. Театр безпеки – Вікіпедія. *Вікіпедія*.
URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Театр_безпеки.
185. Undercover DHS Tests Find Security Failures at US Airports. *ABC News*.
URL: <https://abcnews.go.com/US/exclusive-undercover-dhs-tests-find-widespread-security-failures/story?id=31434881>.
186. Molotch H. Against Security: How We Go Wrong at Airports, Subways, and Other Sites of Ambiguous Danger - Updated Edition. Princeton University Press, 2014. 288 p.

187. Lapidos J. Does the TSA ever catch terrorists?. *Slate Magazine*.
URL: <https://slate.com/news-and-politics/2010/11/does-the-tsa-ever-catch-terrorists.html>.

188. Jenkins B. M. Aviation Security: After Four Decades, It's Time for a Fundamental Review. RAND Corporation, 2012. 12 p.
URL: https://www.rand.org/pubs/occasional_papers/OP390.html.

189. Annual Aviation Safety Report. *IATA*.
URL: <https://www.iata.org/contentassets/a8e49941e8824a058fee3f5ae0c005d9/safety-report-executive-and-safety-overview-2023.pdf>.

190. Aviation Safety Report 2022. *IATA*.
URL: <https://www.iata.org/contentassets/a8e49941e8824a058fee3f5ae0c005d9/safety-report-executive-and-safety-overview.pdf>.

191. Aviation Safety Report 2021. *IATA*.
URL: <https://www.iata.org/contentassets/4d18cb077c5e419b8a888d387a50c638/iata-safety-report-2021.pdf>.

192. Aviation Safety Report 2020. *IATA*.
URL: <https://community.wmo.int/en/activity-areas/aviation/news/2021-03-25>.

193. Aviation Safety Report 2019. *IATA*.
URL: <https://www.iata.org/contentassets/4d18cb077c5e419b8a888d387a50c638/iata-safety-report-2019.pdf>.

194. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2023. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.
URL: <https://emsa.europa.eu/publications/item/5052-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents.html>.

195. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2022. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.
URL: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4867-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2021.html>.

196. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2020. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.

URL: <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/4266-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2020.html>.

197. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2019. *Home - EMSA - European Maritime Safety Agency*.

URL: <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/3734-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2019.html>.

198. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2018. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.

URL: <https://www.emsa.europa.eu/emcip/items.html?cid=141&id=3406>.

199. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2017. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.

URL: <https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/3156-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2017.html>.

200. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2016. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.

URL: <https://www.emsa.europa.eu/publications/reports/item/2903-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2016.html>.

201. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2015. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.

URL: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/2551-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2015.html>.

202. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2014. *EMSA - European Maritime Safety Agency*.

URL: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/2303-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2014.html>.

203. Rail Safety Overview 2023. *European Union Agency for Railways*.

URL: <https://www.era.europa.eu/system/files/2023-03/Safety%20Overview%202023.pdf>.

204. Railway Safety and Interoperability: the 2022 Report. *European Union Agency for Railways*. URL: https://www.era.europa.eu/content/railway-safety-and-interoperability-2022-report_en.
205. Rail Safety Overview 2021. *European Union Agency for Railways*. URL: <https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/Safety%20Overview%202021.pdf>.
206. Report on Railway Safety and Interoperability in the EU 2020. *European Union Agency for Railways*. URL: https://www.era.europa.eu/content/report-railway-safety-and-interoperability-eu-2020_en.
207. Road Safety Annual Report 2023. *The International Road Traffic and Accident Database (IRTAD)*. URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2023.pdf>.
208. Road Safety Annual Report 2022. *The International Road Traffic and Accident Database (IRTAD)*. URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2022.pdf>.
209. Road Safety Annual Report 2021. *The International Road Traffic and Accident Database (IRTAD)*. URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2021.pdf>.
210. Road Safety Annual Report 2020. *The International Road Traffic and Accident Database (IRTAD)*. URL: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2020_0.pdf.
211. Road Safety Annual Report 2019. *The International Road Traffic and Accident Database (IRTAD)*. URL: <https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2019>.
212. Павлюк О. М., Медиковський М. О., Ізонін І. В. Основи теорії надійності технічних систем. Львів : Львів. політехніка, 2021. 208 с.
213. Аналіз методичних підходів до оцінювання надійності авіаційної техніки державної авіації за експлуатаційними даними / V. Golub та ін. *Наукові праці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації*

- озброєння та військової техніки. 2019. № 2. С. 53–61.
URL: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.2.2019.08>.
214. Халмурадов Б. Д. Працехоронні Аспекти Підвищення Надійності Машин Та Механізмів. *Construction, materials science, mechanical engineering*. 2018. № 105. С. 236–240.
URL: <https://doi.org/10.30838/p.cmm.2415.250918.238.159>.
215. Аулин В. Оцінка працездатності автомобільних транспортних систем на основі математичних методів. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів»*. 2021. № 22. С. 262–271. URL: <https://doi.org/10.37700/ts.2020.22.262-271>.
216. Струтинський В. Б., Веселовська Н. Р., Зелінська О. В. Оцінка ефективності та надійності вихідного контролю параметрів технологічних систем. *Технологія і техніка друкарства*. 2008. № 1(19). С. 42–46.
URL: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(19\).2008.60615](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(19).2008.60615).
217. Sakovich L., Krykhoveretskyi G., Nebesna Y. Оцінка Надійності Багаторежимних Технічних Об'єктів. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2019. Т. 1, № 53. С. 153–157.
URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2019.1.153>.
218. Nagorny Y., Orda A. Reliability's Estimation Of Intermodal Container Transportation In The Supply Chains. *Municipal economy of cities*. 2018. Vol. 7, no. 146. P. 60–64. URL: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-60-64>.
219. Klir G. J. Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications. Upper Saddle River, N.J : Prentice Hall PTR, 1995. 574 p.
220. Bandemer H. Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy methods with applications. Chichester : J. Wiley, 1995. 239 p.
221. Applications of Fuzzy Sets Theory / ed. by F. Masulli, S. Mitra, G. Pasi. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2007.
URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73400-0> (date of access: 08.06.2024).

222. Novák v. Fuzzy logic, fuzzy sets, and natural languages. *International Journal of General Systems*. 1991. Vol. 20, no. 1. P. 83–97. URL: <https://doi.org/10.1080/03081079108945017> (date of access: 08.06.2024).
223. Thakur S. S., Philip A. Pairwise fuzzy connectedness between fuzzy sets. *Mathematica Bohemica*. 1997. Vol. 122, no. 4. P. 375–380. URL: <https://doi.org/10.21136/mb.1997.126217> (date of access: 08.06.2024).
224. Tuan H.-W., Chao H. C.-J. Non-fuzzy sets for intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*. 2018. Vol. 21, no. 7-8. P. 1509–1514. URL: <https://doi.org/10.1080/09720529.2017.1367467>.
225. Lee S. J., Lee E. P. Fuzzyr-continuous and fuzzyr-semicontinuous maps. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*. 2001. Vol. 27, no. 1. P. 53–63. URL: <https://doi.org/10.1155/s0161171201010882>.
226. Zimmermann H. J. Fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*. 2003. Vol. 133, no. 2. P. 273–274. URL: [https://doi.org/10.1016/s0165-0114\(02\)00360-3](https://doi.org/10.1016/s0165-0114(02)00360-3).
227. Virgil Negoita C. Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*. 2003. Vol. 133, no. 2. P. 275. URL: [https://doi.org/10.1016/s0165-0114\(02\)00361-5](https://doi.org/10.1016/s0165-0114(02)00361-5).
228. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень : Навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2004. 614 с.
229. Учасники проєктів Вікімедіа. Система нечіткого виведення. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_нечіткого_виведення.
230. Пожежа в аеропорту Амстердама: 11 загиблих. Кореспондент. URL: <https://ua.korrespondent.net/world/262415-pozhezha-v-aeroportu-amsterdama-11-zagiblih>.
231. Amsterdam Cargo Terminal Charges. *Amsterdam Schiphol Airport*. URL: <https://c.ekstatic.net/ecl/documents/dnata/amsterdam-cargo-terminal-charges-01-23.pdf>.
232. Crime in Amsterdam. *Cost of Living*. URL: <https://www.numbeo.com/crime/in/Amsterdam>.

233. Annual Report 2023. Port of Rotterdam, 2024. 82 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40305112534/PoR_AR_2023_Annual_Report_Highlights.pdf.
234. Annual Report 2022. Port of Rotterdam, 2023. 75 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40307105349/@SGlnaGxpZ2h0cy1hbm51YWwtcmVwb3J0LTIwMjltUG9ydC1vZi1Sb3R0ZXJkYW0tQXV0aG9yaXR5IGdvZWQucGRm.
235. Annual Report 2021. Port of Rotterdam, 2022. 82 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40307105350/Highlighths-Annual-Report-2021-Port-of-Rotterdam-Authority.pdf.
236. Annual Report 2020. Port of Rotterdam, 2021. 23 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40307105347/Annual-report-highlights-Port-of-Rotterdam-2020.pdf.
237. Annual Report 2019. Port of Rotterdam, 2020. 223 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40307105355/Jaarverslag-2019-Havenbedrijf-Rotterdam.pdf.
238. Annual Report 2018. Port of Rotterdam, 2019. 208 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40307105354/Jaarverslag-2018-Havenbedrijf-Rotterdam.pdf.
239. Annual Report 2017. Port of Rotterdam, 2018. 245 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40307105353/Jaarverslag-2017-Havenbedrijf-Rotterdam.pdf.
240. Annual Report 2016. Port of Rotterdam, 2017. 229 p.
URL: https://reporting.portofrotterdam.com/FbContent.ashx/pub_1018/downloads/v2_40307105353/Jaarverslag-2016-Havenbedrijf-Rotterdam.pdf.
241. Port of Rotterdam: Small decrease in accidents in 2022. SAFETY4SEA.
URL: <https://safety4sea.com/port-of-rotterdam-small-decrease-in-accidents-in-2022/>.
242. Crime in Rotterdam. Cost of Living. URL:
<https://www.numbeo.com/crime/in/Rotterdam>.

243. Cargo Tariff. Port of Rotterdam. URL: <https://www.weclines.com/wp-content/uploads/sheets/Rotterdam%20Port%20Tariff.pdf>.
244. Vienna Airport - Traffic results. Flughafen Wien - Passagiere. URL: https://www.viennaairport.com/en/company/investor_relations/news/traffic_results_1.
245. Марінцева К. В. Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем : монографія. Київ : Нац. авіац. ун-т, 2014. 504 с.
246. Vienna Airport Cargo Tariff. Vienna Airport. URL: <https://www.viennaairport.com/jart/prj3/va/uploads/data-uploads/Entgelte/Vienna%20Airport%20Charges%20Regulations%202024.pdf>.
247. Numbeo - Criminality Index. Cost of Living. URL: <https://www.numbeo.com/cost-of-living/>.
248. Опитування експертів транспортної галузі щодо оцінки загроз зовнішнього середовища. Google Docs. URL: <https://forms.gle/Mg5X5vjVQbgNFw4HA>.
249. Rail CO2 Emissions. ORR Data Portal. URL: <https://dataportal.orr.gov.uk/media/1993/rail-emissions-2020-21.pdf#:~:text=URL:%20https://dataportal.orr.gov.uk/media/1993/rail>.
250. ICAO Carbon Emissions Calculator (ICEC). ICAO. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>.
251. Автомобільний маршрут Лондон - Амстердам. Google Maps. URL: <https://bit.ly/3VyOFtO>.
252. Авіарейс Лондон - Амстердам. Google Maps. URL: <https://bit.ly/3Vg8g0D>.
253. DHL Freight Rates. DHL. URL: <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/local/de/dhl-global-forwarding/documents/pdf/de-loc-dgf-afr-surcharges-de-en.pdf>.
254. Freightos - Freight Rates. Freightos. URL: <https://www.freightos.com/may-1-2024-update/>.

255. EU Road Accidents. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tran_sf_roadnu/default/table?lang=en&category=tran_sf.tran_sf_road.
256. 2022 Road Safety Annual Report | French road safety observatory. Accueil | Observatoire national interministériel de la sécurité routière. URL: <https://www.onisr.securite-routiere.gouv.fr/en/road-safety-performance/annual-road-safety-reports/2022-road-safety-annual-report>.
257. Road Safety of Netherlands. EU Mobility & Transport - Road Safety. URL: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-02/erso-country-overview-2023-netherlands_0.pdf.
258. Department for Transport. Reported road casualties Great Britain, annual report: 2022. GOV.UK. URL: <https://www.gov.uk/government/statistics/reported-road-casualties-great-britain-annual-report-2022/reported-road-casualties-great-britain-annual-report-2022>.
259. Road Safety Annual Report 2022. International Transport Forum. URL: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2022.pdf>.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 1

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	25	8	18	41	52	22
	УБ (умовно безпечна)	14	16	34	57	72	
	НБ (небезпечна)	31	43	48	76	79	
	СНБ (середня небезпечна)	58	70	81	85	93	
	ВНБ (велика небезпечна)	83	87	91	95	100	

Експерт 1 – Шевчук Дмитро Олегович, д.т.н., професор, завідувач кафедри організації авіаційних перевезень ФТМЛ НАУ

Таблиця А.2. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 2

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	24	10	20	43	54	26
	УБ (умовно безпечна)	12	18	35	55	74	
	НБ (небезпечна)	28	46	49	75	81	
	СНБ (середня небезпечна)	55	69	84	87	99	
	ВНБ (велика небезпечна)	81	84	98	99	100	

Експерт 2 – Соколова Олена Євгенівна, к.е.н., доцент кафедри організації авіаційних перевезень ФТМЛ НАУ

Таблиця А.3. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 3

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	26	12	23	39	49	27
	УБ (умовно безпечна)	11	18	39	55	74	
	НБ (небезпечна)	29	48	52	72	85	
	СНБ (середня небезпечна)	58	67	87	90	100	
	ВНБ (велика небезпечна)	79	81	95	100	100	

Експерт 3 – Габрієлова Тетяна Юріївна, к.е.н., доцент кафедри організації авіаційних перевезень ФТМЛ НАУ

Таблиця А.4. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 4

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	25	11	24	46	55	25
	УБ (умовно безпечна)	14	21	35	42	75	
	НБ (небезпечна)	26	40	51	75	85	
	СНБ (середня небезпечна)	54	71	84	87	99	
	ВНБ (велика небезпечна)	81	84	98	100	100	

Експерт 4 – Іваннікова В.Ю., к.т.н., доцент кафедри організації авіаційних перевезень ФТМЛ НАУ

Таблиця А.5. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 5

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	14	9	20	42	51	27
	УБ (умовно безпечна)	10	17	31	38	71	
	НБ (небезпечна)	22	36	47	71	81	
	СНБ (середня небезпечна)	50	67	80	83	95	
	ВНБ (велика небезпечна)	77	80	94	96	96	

Експерт 5 – Василенко І.В., к.е.н., директор логістичної компанії ТОВ «ФТП»

Таблиця А.6. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 6

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	15	7	21	40	52	22
	УБ (умовно безпечна)	11	15	32	36	72	
	НБ (небезпечна)	23	34	48	69	82	
	СНБ (середня небезпечна)	51	65	81	81	96	
	ВНБ (велика небезпечна)	78	78	95	94	97	

Експерт 6 – Хайнацький Є.Б., директор авіакомпанії «Bees Airlines»

Таблиця А.7. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 7

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	17	6	23	39	54	24
	УБ (умовно безпечна)	13	14	34	35	74	
	НБ (небезпечна)	25	33	50	68	84	
	СНБ (середня небезпечна)	53	64	83	80	98	
	ВНБ (велика небезпечна)	80	77	97	93	99	

Експерт 7 – Джиджора О.П., директор авіакомпанії «Bees Airlines»

Таблиця А.8. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 9

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	6	11	20	44	55	26
	УБ (умовно безпечна)	14	11	35	55	74	
	НБ (небезпечна)	29	46	43	75	81	
	СНБ (середня небезпечна)	56	69	84	85	99	
	ВНБ (велика небезпечна)	81	85	98	100	100	

Експерт 8 – Окулов Є.В., директор логістичної компанії ТОВ «ФТП»

Таблиця А.9. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 9

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	1	10	23	45	54	29
	УБ (умовно безпечна)	13	20	34	41	74	
	НБ (небезпечна)	25	39	50	74	84	
	СНБ (середня небезпечна)	53	70	83	86	98	
	ВНБ (велика небезпечна)	80	83	97	99	99	

Експерт 9 – Лазарець В.І., директор авіакомпанії «АeroViz»

Таблиця А.10. Матриця оцінки загрози зовнішнього середовища транспортного вузла за 100-бальною шкалою за Експертом 10

ОЦІНКА ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ		Криміногенність зовнішнього середовища транспортного вузла					Оцінка ТВ у м. Луцьк
		ДМК (дуже мала криміногенність)	МК (мала криміногенність)	ПК (помірна криміногенність)	ВК (висока криміногенність)	ДВК (дуже висока криміногенність)	
Відстань транспортного вузла від лінії розмежування	Б (безпечна)	5	8	27	43	58	31
	УБ (умовно безпечна)	17	18	38	39	78	
	НБ (небезпечна)	29	37	54	72	88	
	СНБ (середня небезпечна)	57	68	87	84	100	
	ВНБ (велика небезпечна)	84	81	97	99	100	

Експерт 10 – Семенченко В.В., директор Міжнародного аеропорту Одеси

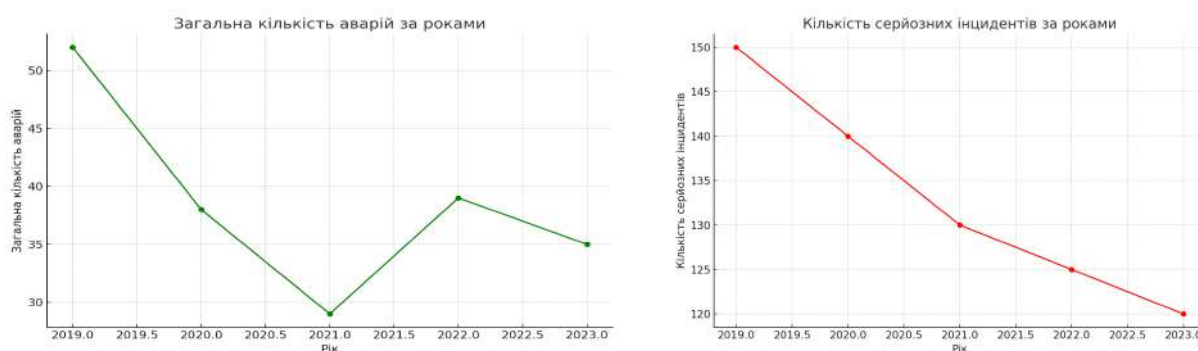
АНАЛІТИКА СТАНУ ЗАГАЛЬНОСВІТОВОЇ БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА ВИДАМИ ТРАНСПОРТУ

Аналіз показників безпеки на транспорті за різними його видами був здійснений на основі звітів IATA Safety Report 2019-2023 [189-193], EMSA Annual Overview 2014-2023 [194-202], ERA Safety Report 2020-2023 [203-206] та IRTAD Road Safety Annual Report 2019-2023 [207-211].

Аналітика безпеки перевезень на авіаційному транспорті

Автором було проведено детальний аналіз стану безпеки в авіаційній галузі за 2019-2023 роки за щорічними звітами IATA [189-193]. Отримані дані свідчать про загальне покращення показників безпеки, зниження кількості аварій та серйозних інцидентів, хоча в окремих регіонах спостерігалися виклики, що потребують підвищеної уваги.

На рис. Б.1 подано графіки загальної кількості аварій на повітряному транспорті останні 4 роки.



а) аварій на повітряному транспорті

Б) серйозні інциденти

Рис. Б.1. Графік загальної кількості аварій та серйозних інцидентів на повітряному транспорті за 2019-2023 роки за звітами IATA

Джерело: розроблено автором на аналізі документів [189-193]

За період з 2019 по 2023 рік спостерігалася змінна динаміка кількості аварій: у 2019 році було зафіксовано 52 аварії, у 2020 році - 38, у 2021 році - 29, у 2022 році - 39, а у 2023 році - 30. Такі дані свідчать про загальне покращення стандартів безпеки, попри тимчасове збільшення кількості аварій у 2022 році.

Водночас, кількість серйозних інцидентів має тенденцію до зниження. Зокрема, у 2019 році було зафіксовано 150 серйозних інцидентів, тоді як у 2023 році цей показник зменшився до 120. Аналіз регіональних даних також виявив суттєві відмінності у рівнях безпеки між різними континентами (рис. Б.2):

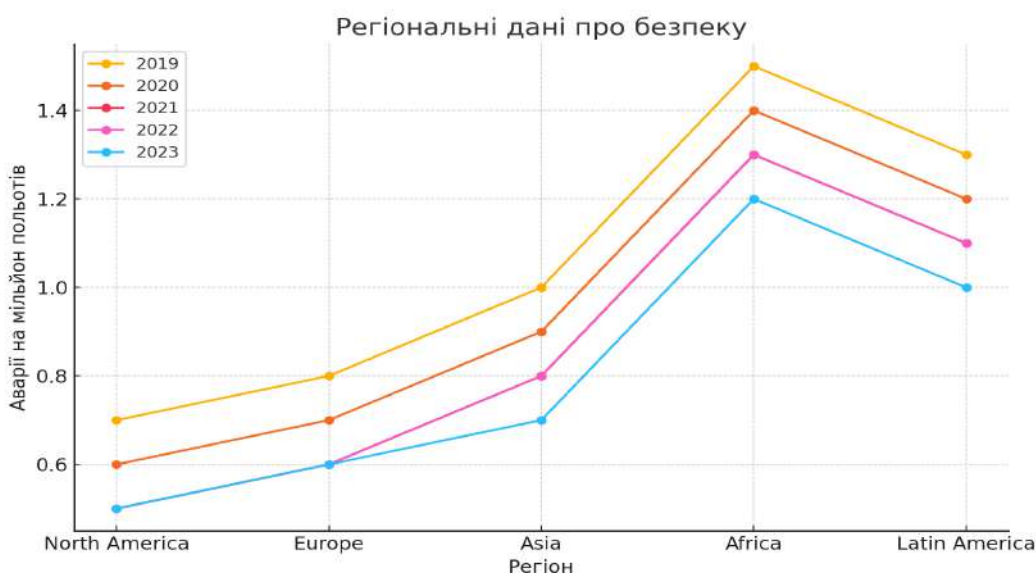


Рис. Б.2. Регіональні дані про безпеку на повітряному транспорті за 2019-2023 роки за звітами IATA

Джерело: розроблено автором на аналізі документів [189-193]

Загальні висновки, представлені на рис. Б.2, відображають наступні тенденції. Північна Америка демонструє зниження рівня аварійності, що зменшився з 0,7 у 2019 році до 0,5 у 2023 році. Європа також показує позитивну динаміку, зі зниженням аварійності з 0,8 до 0,6 аварій на мільйон польотів за аналогічний період. Азія демонструє схожий тренд, зменшивши рівень аварійності з 1,0 до 0,7. Хоча Африка та Латинська Америка мають вищі показники аварійності, вони також показують покращення: в Африці рівень

аварійності знизився з 1,5 до 1,2, а в Латинській Америці – з 1,3 до 1,0 аварій на мільйон кілометрів.

На рис. Б.3 представлено зміну рівня аварійності з 2019 по 2023 рік. У 2019 році рівень аварійності становив 1,13 аварій на мільйон польотів, у 2020 році цей показник зріс до 1,58, проте у 2021 році знизився до 1,01. У 2022 році рівень аварійності дещо підвищився до 1,30, але в 2023 році знову зменшився до 0,8. Ці дані свідчать про систематичне покращення стандартів безпеки в авіаційній галузі, що відображає загальну тенденцію до зниження кількості аварій.

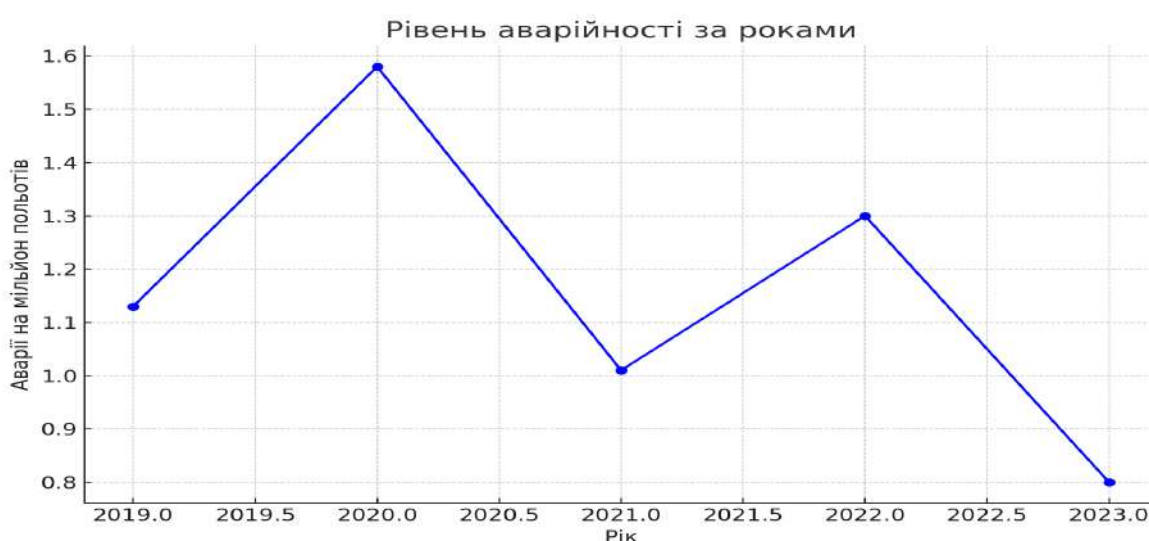


Рис. Б.3. Рівень аварійності на повітряному транспорті за 2019-2023 роки за звітами IATA

Джерело: розроблено автором на аналізі документів [189-193]

Оскільки граф інтегрованої системи перевезень (рис. 4.1.1) проходить територією Європи, то в рамках даного дослідження автор приймає рівень аварійності у ЄС як статистичну оцінку ризику на повітряному транспорті, що дорівнює $0,6 \cdot 10^{-6}$. Експертна оцінка ризику виникнення НС була отримана автором під час опитування експертів галузі та є рівною $1 \cdot 10^{-6}$.

Аналітика безпеки перевезень на морському транспорті

Автор провів детальний аналіз стану безпеки у морській галузі за 2022-2023 роки на основі щорічних звітів EMSA [194-202]. Загалом, у 2022 році було зареєстровано 2510 морських аварій та інцидентів, що на 182 менше, ніж у 2021 році. Загальна кількість морських аварій та інцидентів за період з 2014 по 2022 рік склала 23814 із середньорічним показником 2646. У 2022 році загальна кількість кораблів, залучених у морські аварії та інциденти, склала 2701, що на 212 менше, ніж у 2021 році.

У 2023 році тенденція до зменшення кількості морських аварій та інцидентів продовжилася.

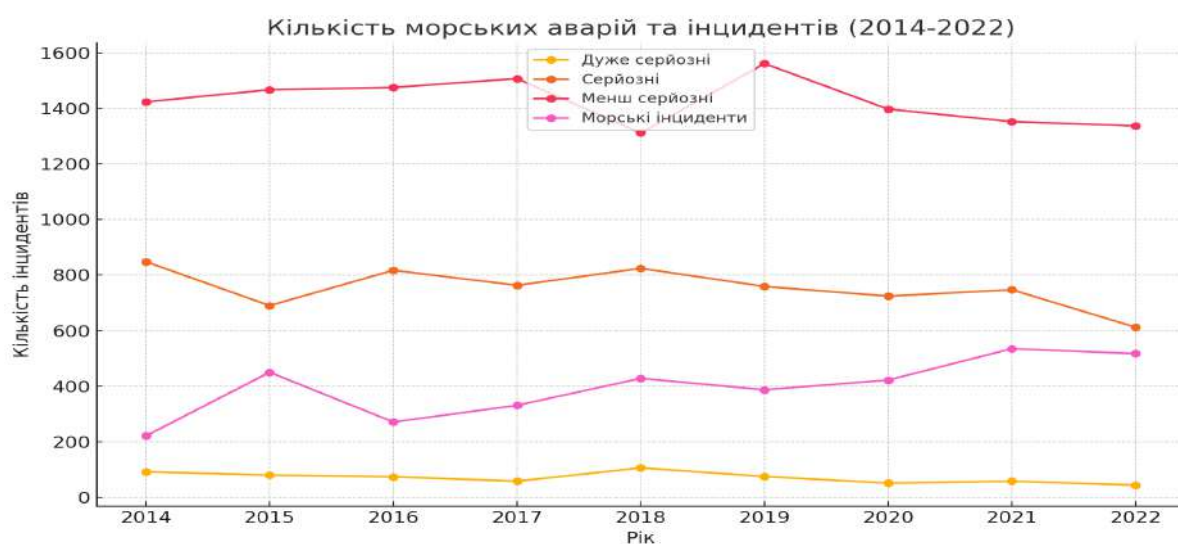


Рис. Б.4. Кількість інцидентів аварійності на морському транспорті за 2022-2022 роки за звітами EMSA

Джерело: розроблено автором на аналізі документів [194-202]

Зокрема, було зафіксовано зниження кількості "дуже серйозних аварій" з 58 у 2021 році до 44 у 2022 році.

Крім того, кількість кораблів, які потребували допомоги на березі, також зменшилася, що свідчить про покращення стандартів безпеки в морській галузі.

При цьому автор зазначає, що «дуже серйозні аварії» включають загибель людей, втрату судна або значні пошкодження, що суттєво впливають на його працездатність. «Серйозні аварії» викликають пошкодження судна, забруднення

або потребу в буксируванні, але не є дуже серйозними. «Менш серйозні аварії» включають пошкодження судна, які не потребують негайного ремонту і не впливають на працездатність. «Морські інциденти» - це події, які могли б поставити під загрозу безпеку судна, пасажирів або навколишнє середовище, але не призвели до аварій.

На рис. Б.5 представлено акваторіальний розподіл морських аварій та інцидентів.

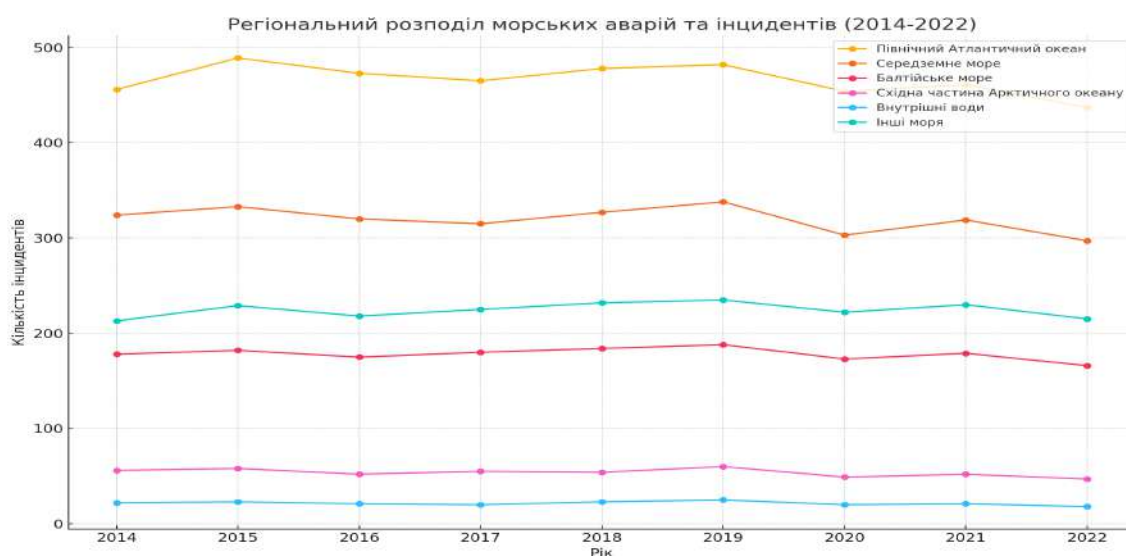


Рис. Б.5. Акваторіальний розподіл морських аварій та інцидентів за 2014-2022 роки за звітами EMSA

Джерело: розроблено автором на аналізі документів [194-202]

Аналіз першопричин аварійних ситуацій показав, що 59,1% подій були спричинені діями людей, а 50,1% сприяючих факторів були пов'язані з людською поведінкою. Таким чином, людський фактор був причетний до 80,7% розслідуваних морських аварій та інцидентів. З проаналізованих документів можна зробити висновок, що статистичне значення ризику P_j^S настання надзвичайної ситуації на морському транспорті в ЄС є рівним $5 \cdot 10^{-6}$. Експертна оцінка ризику виникнення НС була отримана автором під час опитування експертів галузі та є рівною $6,3 \cdot 10^{-6}$.

Аналітика безпеки перевезень на залізничному транспорті

У 2019 році було зафіксовано 1,552 значних аварій, 824 загиблих та 618 серйозних травм [203-206]. Це був найбезпечніший рік, зафіксований в історії залізничної безпеки в ЄС. У 2020 році кількість значних аварій залишилася на рівні 1,552, з 824 загиблими та 618 серйозними травмами. У 2021 році кількість значних аварій знизилася до 1,389, з 683 загиблими та 513 серйозними травмами.

Загальна вартість залізничних аварій у 2019 році оцінюється приблизно в 3.5 мільярда євро на рік. У 2021 році ця сума знизилася до 3.2 мільярда євро на рік.

Зниження кількості значних аварій протягом останнього десятиліття було здебільшого зумовлене зниженням "зовнішніх" аварій, за участю третіх осіб, таких як порушники та користувачі переїздів, тоді як "внутрішні" аварії, такі як зіткнення, сходження з рейок та пожежі в рухомому складі, залишаються стабільними. У 2019 році зовнішні аварії, зокрема на залізничних переїздах, знизилися на 10% порівняно з попереднім роком. У 2021 році збільшення зовнішніх аварій було зумовлене зростанням кількості аварій на залізничних переїздах, тоді як кількість аварій з постраждалими особами залишилася майже на тому ж рівні.

Існують великі відмінності у рівнях безпеки між країнами-членами ЄС. Наприклад, різниця в рівнях смертності між країнами з найнижчими та найвищими показниками перевищує десятикратний розрив. У країнах з найвищими показниками аварійності на переїздах зазвичай спостерігається низька щільність населення та низький обсяг залізничного руху, що, можливо, не стимулює до впровадження комплексних стратегій управління безпекою переїздів.

Безпека на залізничних переїздах покращилася в період з 2010 по 2016 рік, але з 2017 по 2021 рік спостерігалася стабільність у показниках аварійності на переїздах. У 2019 році кількість аварій на переїздах зменшилася на 10% порівняно з 2018 роком, але у 2021 році кількість таких аварій зросла.



Рис. Б.6. Тренди у безпеці залізниць за 2014-2021 роки за звітами ERA
Джерело: розроблено автором на аналізі документів [203-206]

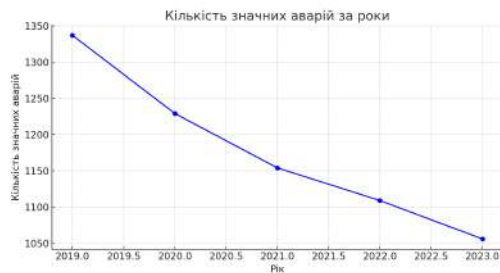
Спостерігається збільшення кількості інцидентів, пов'язаних з проїздом на червоне світло (Signal Passed at Danger, SPAD), що потребує посилення заходів для запобігання таким випадкам. У 2019 році зафіксовано 2800 випадків SPAD, з яких лише одна п'ята становили інциденти, коли була пройдена точка небезпеки. У 2021 році кількість інцидентів SPAD не зменшилася, а навпаки, зросла, причому інциденти, де була пройдена точка небезпеки, склали менше однієї четвертої від загальної кількості SPAD.

Хоча жоден вид транспорту не є абсолютно безпечним, залізничний транспорт в ЄС демонструє високий рівень безпеки з низьким ризиком потрапляння в надзвичайну ситуацію. Відповідні органи продовжують роботу над покращенням безпеки на залізницях, що сприяє зниженню ризиків для пасажирів. Аналізуючи відповідні документи, автор встановив статистичний ризик виникнення надзвичайної ситуації на залізничному транспорті в ЄС є на

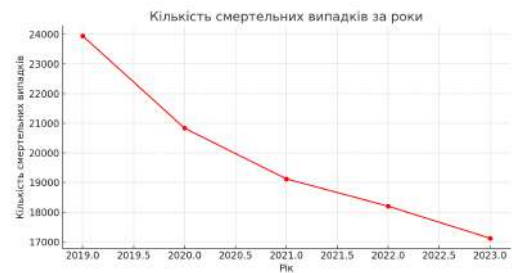
рівні $2 \cdot 10^{-6}$. Експертна оцінка ризику виникнення НС була отримана автором під час опитування експертів галузі та є рівною $3,1 \cdot 10^{-6}$.

Аналітика безпеки перевезень на автомобільному транспорті

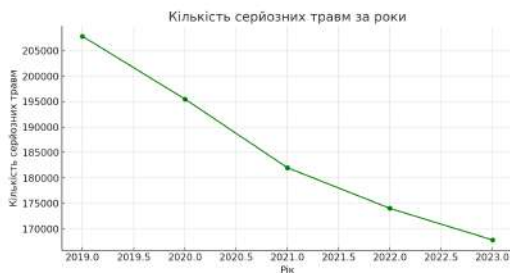
У звітах IRTAD Road Safety Annual Report за 2019-2023 роки [207-211] розглядаються ключові тенденції, статистичні дані та аналіз дорожньої безпеки у різних країнах. Ці звіти містять детальну інформацію про кількість смертельних випадків, серйозних травм та загальні витрати, пов'язані з дорожньо-транспортними пригодами (ДТП), а також аналізують вплив різних факторів на безпеку дорожнього руху.



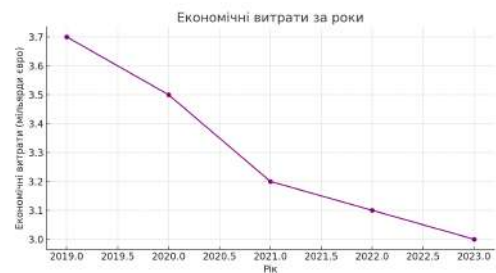
а) кількість значних аварій



б) смертельні випадки



в) кількість серйозних травм



г) економічні витрати (втрати)

Рис. Б.8. Динаміка зміни показників безпеки на автомобільному транспорті за 2019-2022 роки за звітами IRTAD

Джерело: розроблено автором на аналізі документів [207-211]

З 2010 року спостерігається загальне зниження кількості значних аварій та смертельних випадків. Наприклад, у 2019 році кількість значних аварій зменшилася на 10% порівняно з 2018 роком. У 2020 році кількість значних ДТП

становила 1229, що є найнижчим показником з 2010 року, причому було зафіксовано 20834 смертельні випадки та 195491 серйозних травм.

Загальні витрати склали 3,5 мільярда євро. У 2021 році кількість значних ДТП знизилася до 1154, що призвело до 19125 смертельних випадків і 182012 серйозних.

В рамках даного дослідження автор приймає рівень аварійності як статистичну оцінку ризику на автомобільному транспорті в ЄС, що дорівнює $14 \cdot 10^{-6}$. Експертна оцінка ризику виникнення НС була отримана автором під час опитування експертів галузі та є рівною $18,2 \cdot 10^{-6}$.

**ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ
ТРАНСПОРТНОГО ВУЗЛА В ІНТЕГРОВАНІЙ ТРАНСПОРТНІЙ
СИСТЕМІ**

```

clc
clear all

% Модель надійності транспортного вузла в інтегрованих
% системах перевезення

% крок 1: задання інтенсивності відмов та відновлення елементів системи ЗБВ
a = [0.000428082 0.0000285388 0.000428082 0.000827626] % інтенсивності відмов
m = [0.33 0.33 0.33 0.5] % інтенсивності відновлення

% крок 2: знаходження статичних показників надійності: T, Tv, Kr
Kr = 1 / ( 1+ sum (a./m) ) % коефіцієнт готовності системи ЗБВ
T = 1 / sum (a) % напрацювання на відмову
Tv = sum (a./m) / sum(a) % середній час відновлення системи

% крок 3: визначення функції готовності системи ЗБВ

t = 0:1:168 % крок табуляції
mc = sum(a) / sum(a./ m) % постійна величина інтенсивності відмови
Kf = ( mc / ( mc + sum(a) )) + ( sum(a) / ( mc + sum(a) )) *
2.721828.^(-(mc + sum(a)) * t);

plot(t, Kf, 'green', 'linewidth', 1.5)
xlabel ('ГОДИНИ')
ylabel ('КОЕФІЦІЄНТ ГОТОВНОСТІ')
hold on
plot(22, Kr, 'xk', 'linewidth', 2, 'MarkerSize', 15)
title('ФУНКЦІЯ ГОТОВНОСТІ СИСТЕМИ ЗБВ', 'fontsize', 20)
legend ('КОЕФІЦІЄНТ ГОТОВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗЛА', 'КІНЕЦЬ ПЕРЕХІДНОГО
ПРОЦЕСУ')
grid on

```


ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКУ НАСТАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ІНТЕГРОВАНИХ МАРШРУТАХ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ

```
clc
clear all

% модель оцінки ризиків настання надзвичайних подій при перевезенні на
% інтегрованих маршрутах перевезення маршрутах

% крок 1: формування вихідних даних

N = [184 6784 638 6781 604]; % кількість ситуаційн, які призвели до подій
системи [Г1, Г2, Г3]
K = 23814; % кількість транспортних засобів, що потрапило у надзвичайну
ситуацію під час перевезень
T = 8; % період вивчення системи

S = [ 0.000005 ]; % статистична оцінка виникнення надзвичайної ситуації на
маршруті під час перевезення
E = [ 0.000008 ]; % експертна оцінка виникнення надзвичайної ситуації на
маршруті під час перевезення

% крок 2: розрахунок за моделлю

y = N./ ( K * T ) % розрахунок вектору інтенсивності настання надзвичайної
події під час перевезення

P = 1 - exp( ( -y ).* T ) % розрахунок вектору імовірності настання
надзвичайної події під час перевезення

W = ( S + ( S + E)/2 + E)/3 % розрахунок зваженої імовірності виникнення
надзвичайної ситуації під час перевезення

R = P.* W % розрахунок вектору ризику настання надзвичайної події під
час перевезення

sum(R)
```

ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ ТА МАРШРУТІВ ДО НИХ

```
function ahp_example()

    % крок 1: визначити матриці порівнь важливості факторів та альтернатив
    % маршрутів
    criteriaMatrix = [1 3 1 3; 0.333 1 1 1; 1 1 1 2; 0.333 1 0.5 1];
    riskMatrix = [1 (0.6*10^(-6))/(8.1865*10^(-6)); (8.1865*10^(-
6))/(0.6*10^(-6)) 1];
    ecologyMatrix = [1 56/44.12; 44.12/56 1];
    timeMatrix = [1 25.4/7.75; 7.75/25.4 1];
    costMatrix = [1 2732.4/1379; 1379/2732.4 1];

    % крок 2: розрахувати вектори пріоритетів для факторів та альтернатив
    % маршрутів
    criteriaWeights = calculatePriority(criteriaMatrix);
    alternativeRisk = calculatePriority(riskMatrix);
    alternativeEcology = calculatePriority(ecologyMatrix);
    alternativeTime = calculatePriority(timeMatrix);
    alternativeCost = calculatePriority(costMatrix);

    % крок 3: визначення загальних оцінок
    alternativesMatrix = [alternativeRisk, alternativeEcology,
alternativeTime, alternativeCost];
    overallScores = alternativesMatrix * criteriaWeights;

    % крок 4: виведення результату оцінювання

    disp('Ваги критеріїв:');
    disp(criteriaWeights);

    disp('Загальні оцінки за альтернативами маршрутів:');
    disp(overallScores);
end

function priorityVector = calculatePriority(matrix)

    % крок 5: eigenvector та eigenvalue
    [V, D] = eig(matrix);
    [maxEigenvalue, index] = max(diag(D));
    priorityVector = V(:, index);

    % крок 6 eigenvector
    priorityVector = priorityVector / sum(priorityVector);

    % крок 7: перевірка консистентності результатів
    consistencyIndex = (maxEigenvalue - length(matrix)) / (length(matrix) -
1);
    randomIndex = [0, 0, 0.58, 0.90, 1.12, 1.24, 1.32, 1.41, 1.45];
    consistencyRatio = consistencyIndex / randomIndex(length(matrix));
    if consistencyRatio > 0.1
        warning('The consistency ratio is too high: %f', consistencyRatio);
    end
end
```

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ У ТОВ «ФТП»

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Директор

«25» травня

2024 р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи на тему
«Комплексна оцінка безпеки перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах»
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі 27 «Транспорт», за спеціальністю 275 «Транспортні технології
(за видами)», спеціалізації 04 «на повітряному транспорті»
Чередніченка Костянтина Валентиновича

Цим актом підтверджуємо, що результати наукового дослідження Чередніченка К.В. за темою «Комплексна оцінка безпеки перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах» є актуальними, становлять практичний інтерес та можуть бути використані в практичній діяльності.

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий практичний ефект
1. Методика визначення оптимального транспортного вузла для перевезення із врахуванням комплексної оцінки його безпеки	Розроблена методика визначення оптимального транспортного вузла у мультимодальних системах перевезення вантажів, яка враховує оцінки рівня надійності та зовнішніх загроз, а також - часу і витрат на обробку вантажів. Запропонований підхід дозволяє забезпечити стійкість до ризиків, безперервність бізнес-процесів та ефективне управління логістикою.
2. Методика визначення оптимального маршруту для перевезення з врахуванням комплексної оцінки його безпеки	Розроблена методика вибору оптимального маршруту транспортування у мультимодальних системах перевезення вантажів на основі оцінок ризику настання надзвичайних подій, викидів CO ₂ , часу і витрат на перевезення. Використання методики дозволяє підвищити ефективність планування та здійснення перевезень вантажів, що сприяє оптимізації ресурсів компанії, зменшенню негативного впливу на довкілля та підвищенню збереженості партії вантажу на кожній ділянці перевізного процесу.

Підтверджую, що вище перераховані наукові результати висвітлені в дисертаційній роботі Чередніченка К.В

Комерційний директор ТОВ «ФТП»


 Ігор ВАСИЛЕНКО

«25» травня 2024 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ У ТОВ «МІЖНАРОДНИЙ АЕРОПОРТ «ОДЕСА»»



товариство з обмеженою відповідальністю
МІЖНАРОДНИЙ АЕРОПОРТ «ОДЕСА»
65054, Україна, м. Одеса
Центральний аеропорт, буд. 2
тел./факс: (048) 790-03-54
info@odessa.aero

limited liability company
ODESA INTERNATIONAL AIRPORT
65054, Ukraine, Odessa
Central airport, 2
tel/fax: (048) 790-03-54
info@odessa.aero

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи на тему
«Комплексна оцінка безпеки перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах»
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі 27 «Транспорт», за спеціальністю 275 «Транспортні технології
(за видами)», спеціалізації 04 «на повітряному транспорті»
Чередніченка Костянтина Валентинівича

Цим актом підтверджую, що результати наукового дослідження Чередніченка К.В. за темою «Комплексна оцінка безпеки перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах» є актуальними, становлять практичний інтерес та можуть бути використані в практичній діяльності ТОВ Міжнародний аеропорт «Одеса».

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий практичний ефект
1. Метод комплексної оцінки безпеки аеропортової інфраструктури для Міжнародного аеропорту «Одеса», що складається з оцінки надійності системи забезпечення безпеки та оцінки зовнішніх загроз аеропорту.	Розроблений метод комплексної оцінки безпеки об'єктів аеропортової інфраструктури включає в себе оцінювання надійності системи забезпечення безпеки аеропорту за інформацією щодо відмов її роботи та оцінку загроз зовнішнього середовища аеропорту, що відбувається за допомогою інтелектуального класифікатора та включає в себе показники криміногенності та інформацію з відкритих джерел масової інформації щодо кількості повітряних тривог, їх характеру та наслідків. Використання такого підходу дозволило комплексно оцінити рівень безпеки Міжнародного аеропорту «Одеса», а сама оцінка може бути використана після відновлення його роботи для забезпечення ефективного функціонування як служб авіаційної безпеки, так і аеропорту загалом.

Підтверджую, що вище
перераховані наукові
результати висвітлені в
дисертаційній роботі
Чередніченка К.В.



Директор ТОВ Міжнародний аеропорт «Одеса»
Володимир СЕМЕНЧЕНКО

20.05. 2024 р.

Поштова адреса для листування: вул. Центральний аеропорт, 2, м. Одеса, 65036, Україна
Address for lettering: 2 Central airport str., Odessa, 65036, Ukraine

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС НА КАФЕДРІ ОРГАНІЗАЦІЇ АВІАЦІЙНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ФТМЛ НАУ

<p>ПОГОДЖЕНО Проректор з навчальної роботи</p> <p><i>Анатолій ПОЛУХІН</i> 17.04 2024р.</p>	<p>ЗАТВЕРДЖЕНО В.о. проректора з наукової роботи</p> <p><i>Сергій ЛИТВИНЕНКО</i> 18.04 2024р.</p> 	
<p>АКТ впровадження результатів дисертаційної роботи ЧЕРЕДНІЧЕНКА Костантина Валентиновича «Комплексна оцінка безпеки перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах» на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі 27 «Транспорт», та спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)», спеціальності 04 «на повітряному транспорті».</p>		
<p>Комісія у складі: Голова комісії: МОСТЕНСЬКОЇ Тетяни Леонідівни</p>		
	<p>- декан факультету транспорту, менеджменту і логістики Національного авіаційного університету д-ра економ. наук, професора</p>	
<p>членів комісії: ШЕВЧУКА Дмитра Олеговича</p>		
	<p>- завідувач кафедри організації авіаційних перевезень, Факультету транспорту, менеджменту і логістики Національного авіаційного університету</p>	
<p>ЛИТВИНЕНКО Сергія Леонідовича</p>		
	<p>к.т.н. с.н.с., професора - к.е.н., доцента кафедри організації авіаційних перевезень, Факультету транспорту, менеджменту і логістики Національного авіаційного університету</p>	
<p>Засвідчує, що результати дисертаційного дослідження Чередніченка К.В. «Комплексна оцінка безпеки перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах», впроваджені на факультеті транспорту, менеджменту і логістики в навчальний процес кафедри організації авіаційних перевезень під час проведення лекційних і практичних занять з навчальних дисциплін «Аналітика даних на повітряному транспорті» та «Авіаційна безпека та безпека польотів» при підготовці фахівців ОС Бакалавр спеціальності 275 «Транспортні технології (на повітряному транспорті)», освітньо-професійної програми «Організація перевезень та управління на транспорті (повітряному)» у 2023-2024 навчальному році.</p> <p>Автором запроваджено на лекційному і практичному заняттях за темою «Аналіз даних для прийняття ефективних рішень в авіатранспортній галузі» дисципліни «Аналітика даних на повітряному транспорті» методи та моделі комплексної оцінки безпеки об'єктів аеропортової інфраструктури за рахунок аналізу надійності системи забезпечення безпеки та оцінки зовнішніх загроз аеропорту (за відкритими даними з джерел масової інформації</p>		
<p>шло криміногенності території та кількості повітряних тривог, їх характеру та наслідків). На лекційному та практичному заняттях за темою «Оцінка рівня безпеки польотів» Класифікація авіаційних подій» дисципліни «Авіаційна безпека та безпека польотів» розглянуто методики та моделі формування оцінок ризиків настання надзвичайних подій під час перевізного процесу. Запропоновані автором методи та моделі дозволяють комплексно оцінити безпеку транспортних операцій на кожній ланці перевізного процесу, що в умовах війни в Україні виходить на новий рівень актуальності та має вирішальне значення для ефективного функціонування транспортної галузі.</p> <p>Запропоновані методи та моделі сприяли розширенню і поглибленню змісту навчання здобувачів вищої освіти, забезпечили апробацію запропонованих у дослідженні Чередніченка К.В. теоретико-практичних напрацювань, підвищили якість оцінювання рівня транспортної безпеки для побудови безпечних маршрутів перевезення вантажів в інтегрованих транспортних системах.</p> <p>Досвід впровадження результатів дисертаційного дослідження Чередніченка К.В. був розглянутий та схвалений на засіданні кафедри організації авіаційних перевезень ФТМЛ Національного авіаційного університету (протокол №67 від 26.03.2024 року), що дає підстави для висновків щодо ефективності їх застосування у навчальному процесі.</p>		
<p>Голова комісії: <i>Тетяна МОСТЕНСЬКА</i> Тетяна МОСТЕНСЬКА</p> <p>Декан ФТМЛ НАУ</p> <p>члени комісії: <i>Дмитро ШЕВЧУК</i> Дмитро ШЕВЧУК</p> <p>завідувач кафедри ОАП</p> <p>секретар комісії: <i>Сергій ЛИТВИНЕНКО</i> Сергій ЛИТВИНЕНКО</p>		