

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління експлуатаційною роботою

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПРИКОРДОННОЇ СТАНЦІЇ "У"
НА ОСНОВІ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

УТРПС.300.00.00.000 ПЗ

Розробив здобувач групи 215-МКТ-Д23
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)


Сергій ГАКОВЕЦЬ
(підпис)

Керівник: професор, докт. техн. наук

Тетяна БУТЬКО

Рецензент: професор, д-р техн.

Денис ЛОМОТЬКО

2024

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління експлуатаційною роботою

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

 Тетяна БУТЬКО

« 30 » грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гаковцю Сергію Михайловичу

1 Тема роботи «Удосконалення технології роботи прикордонної станції "У" на основі ризик-менеджменту»

керівник Буцько Тетяна Василівна, доктор техн. наук, професор

затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень від 30 вересня 2024 року № 12/24

2 Строк подання роботи (проекту) 30 грудня 2024 року



3 Вихідні дані до роботи: техніко-експлуатаційна характеристика станції У, технологічний процес роботи станції, статистичні дані щодо основних техніко-експлуатаційних показників роботи станції У.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; технічна та експлуатаційна характеристики станції "У"; аналіз технології роботи станції; дослідження основних показників роботи прикордонної станції "У"; формування підходів щодо забезпечення надійності функціонування системи залізничних транскордонних перевезень в умовах ризику на основі інтеперабельності; формалізація процесу функціонування прикордонно-передавальної станції на основі ризик-орієнтованих технологій; інтеграція задач ризик-менеджменту до складу інформаційно-керуючої системи; економічна оцінка впровадження запропонованих рішень; висновки; список використаних джерел.

5 Перелік графічного матеріалу: тема магістерської кваліфікаційної роботи; мета і задачі дослідження, об'єкт дослідження, предмет дослідження; наукова новизна отриманих результатів; аналіз динаміки основних показників роботи станції;

модель функціонування станції в умовах ризику; структура інформаційно-керуючої системи; економічні розрахунки; висновки.

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування запропонованого проектного рішення	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 30 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Аналіз техніко-експлуатаційних характеристик і технології роботи станції Ч.	07.09.2024	
2. Аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи	14.10.2024	
3. Формалізація процесу функціонування прикордонної передавальної станції Ч в умовах ризику на основі інтероперабельності	30.11.2024	
4. Проведення моделювання	30.11.2024	
5. Оцінка економічної ефективності від впроваджених рішень	15.12.2024	
Оформлення роботи	30.12.2024	

Здобувач  Сергій ГАКОВЕЦЬ

Керівник  Тетяна БУТЬКО

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 13 слайдів презентації, 104 аркуша пояснювальної записки формату А4, що включає 13 рисунків, 6 таблиць, 32 літературних джерела.

Ключові слова: ПРИКОРДОННА ПЕРЕДАВАЛЬНА СТАНЦІЯ, ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНІСТЬ, РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ.

Об'єктом дослідження є процес функціонування прикордонно-передавальної станції.

Метою дослідження є удосконалення роботи прикордонної передавальної станції за умов можливих ризиків руйнування її інфраструктури, з урахуванням вимог інтеоперабельності для забезпечення стабільності транспортних потоків.

В рамках роботи було проведено детальний аналіз технічної і експлуатаційної характеристик прикордонної станції "У", визначено особливості її функціонування та існуючі проблеми у технології обробки вагонопотоків. Виявлено, що значна частина складнощів пов'язана з недостатньою координацією між залізничними адміністраціями суміжних країн, невідповідністю технічних параметрів та непередбачуваністю вагонопотоків. Ці фактори спричиняють зниження ефективності роботи станцій, збільшення часу обробки вантажів і створення значних додаткових витрат.

На основі проведеного аналізу розроблено нові підходи до забезпечення надійності функціонування прикордонних передавальних станцій, що ґрунтуються на інтеграції принципів інтеоперабельності, ризик-орієнтованого управління та застосування сучасних математичних моделей. В роботі запропоновано формалізацію технологічного процесу функціонування прикордонної станції з урахуванням ризиків, які можуть виникати на етапах координації, передачі вантажів, узгодження графіків руху поїздів і зміни параметрів вагонопотоків.

ABSTRACT

This qualification work includes 13 presentation slides, 104 pages of explanatory notes in A4 format, comprising 13 figures, 6 tables, and 32 references.

Keywords: BORDER TRANSFER STATION, INTEROPERABILITY, RISK MANAGEMENT.

The object of the research is the operational process of the border transfer station.


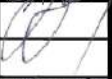


The purpose of the research is to improve the operation of the border transfer station under the potential risks of infrastructure damage, considering interoperability requirements to ensure the stability of transport flows.

As part of the work, a detailed analysis of the technical and operational characteristics of the border station "U" was conducted, identifying the features of its functioning and existing issues in the technology of handling wagon flows. It was found that a significant portion of challenges is associated with insufficient coordination between the railway administrations of neighboring countries, discrepancies in technical parameters, and unpredictability in wagon flows. These factors result in reduced station efficiency, increased cargo processing times, and significant additional costs.

Based on the conducted analysis, new approaches to ensuring the reliability of border transfer stations have been developed, focusing on the integration of interoperability principles, risk-oriented management, and the application of modern mathematical models. The work proposes the formalization of the technological process of border station operation, taking into account risks that may arise during coordination, cargo transfer, train schedule synchronization, and changes in wagon flow parameters.

Зміст

Вступ	8
1 Технічна та експлуатаційна характеристики станції "У"	10
1.1 Технічна характеристика станції "У"	10
1.2 Експлуатаційна характеристика станції "У"	26
2 Дослідження існуючої технології обробки вагонопотоків на прикордонній передавальній станції "У"	28
3 Дослідження основних показників роботи прикордонної станції "У"	70
4 Формування підходів щодо забезпечення надійності функціонування системи залізничних транскордонних перевезень в умовах ризику на основі інтероперабельності	74
5 Формалізація процесу функціонування прикордонно-передавальної станції на основі ризик-орієнтованих технологій	78
5.1 Формалізація технології функціонування прикордонних передавальних станцій на основі підходів інтероперабельності та ризик-менеджменту	78
5.2 Вибір методу оптимізації моделі	80
5.3 Оптимізація моделі	83
5.3 Формування заходів забезпечення належного рівня інтероперабельності як основи функціонування розробленої моделі	84
6 Інтеграція задач ризик-менеджменту до складу інформаційно-керуючої системи прикордонної передавальної станції	86
7 Економічна оцінка впровадження запропонованих рішень	90
7.1 Методичний підхід до оцінки економічного ефекту	90

УТРПС 300.00.00 ПЗ				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розроб.</i>		Гаковець		
<i>Перевір.</i>		Бутько		
<i>Н. контр.</i>		Малахова		
<i>Затв.</i>		Бутько		
Удосконалення технології роботи прикордонної станції "У" на основі ризик-менеджменту				
		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
		6	6	105
УкрДУЗТ				

7.2 Розрахунок економічного ефекту	93
Висновки	97
Список використаних джерел	100

					УТРС 300.00.00 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата		7

Вступ

Прикордонно-передавальні залізничні станції відіграють ключову роль у забезпеченні транспортних потоків між Україною та іншими країнами, особливо в умовах сучасного воєнного стану. Їх значення особливо зросло на кордонах із державами Європейського Союзу, де обсяги вантажообігу збільшилися майже на 30%. Однак зростання обсягів перевезень супроводжується істотними викликами, серед яких — збільшення часу простою транзитних вагонів іноземного парку.

Причини цього явища багатофакторні. По-перше, значний вплив має інфраструктурна складова: необхідність змінювати візки вагонів для переходу між коліями шириною 1520 мм і 1435 мм. По-друге, інформаційна складова, зокрема, затримки, пов'язані з обробкою даних, та митні процедури, також значно впливають на тривалість передавання вагонопотоків. Ці аспекти є критичними для забезпечення відповідності роботи прикордонних станцій сучасним вимогам інтеоперабельності, що стає визначальним фактором у їхній ефективності.

Окрім того, в умовах воєнного стану зростає ризик руйнування інфраструктури таких станцій внаслідок бойових дій. Це може значно обмежити їхню пропускну здатність, що ускладнює підтримання стабільності логістичних потоків та адаптацію до динамічного зростання обсягів перевезень. Таким чином, забезпечення надійності, швидкості та стійкості роботи прикордонно-передавальних станцій є не лише актуальним завданням, а й стратегічним викликом для залізничної системи України в сучасних умовах.

Обрана тема магістерської кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки вона спрямована на вирішення проблем, пов'язаних із функціонуванням прикордонних передавальних залізничних станцій у сучасних умовах, коли зростає роль інтеоперабельності та управління ризиками.

Мета дослідження полягає в удосконаленні роботи прикордонної передавальної станції за умов можливих ризиків руйнування її інфраструктури, з

урахуванням вимог інтероперабельності для забезпечення стабільності транспортних потоків.

Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких завдань:

- аналіз існуючої техніко-експлуатаційної характеристики прикордонної станції, зокрема її інфраструктурної складової;
- вивчення поточного технологічного процесу обробки вагонів;
- дослідження змін основних техніко-експлуатаційних показників роботи станції;
- розробка та удосконалення технологічних процесів відповідно до вимог інтероперабельності;
- формалізація технології функціонування станції в умовах ризиків руйнування інфраструктури на основі методів ризик-менеджменту;
- оптимізація задач, які вирішуються інформаційно-керуючою системою прикордонної станції;
- проведення техніко-економічного обґрунтування запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження: процес функціонування прикордонно-передавальної станції.

Предмет дослідження: управління вагонопотоками на прикордонно-передавальній станції.

Наукова новизна роботи полягає у формалізації технології функціонування прикордонної передавальної станції з використанням підходів ризик-менеджменту, представленої у вигляді оптимізаційної математичної моделі.

Публікації. За результатами дослідження опубліковано одну тезу доповіді [1], яка була докладена на 5-ій міжнародній науково-технічній конференції "Інтелектуальні Транспортні Технології".

Висновки

Прикордонно-передавальні станції є важливим елементом у залізничній транспортній системі України, бо саме вони забезпечують передавання вагонопотоків закордон та в зворотному напрямку. В теперішній час воєнного стану їх роль ще більше зросла. Особливо це стосується станцій, що знаходяться на кордоні з країнами Євросоюзу, обсяги обміну з якими зросли на 30 %. Магістерська кваліфікаційна робота виконана в умовах функціонування станції У. Станція У входить до складу структурного підрозділу регіональної філії "Львівська залізниця". За характером роботи вона є вантажною станцією, а за об'ємом роботи – позакласною. Головною особливістю станції є те, що вона є міждержавною прикордонно-передавальною станцією, яка працює з двома закордонними передавальними станціями різних держав: Словаччини– Чиєра над Тисою та Угорщини – Захонь, як по колії 1520 мм так і по колії 1435 мм.

Для досягнення поставленої в роботі мети було проаналізовано існуючу техніко-експлуатаційну характеристику (інфраструктурну складову) та діючий технологічний процес обробки вагонів на станції У. З метою оцінки відповідності існуючої інфраструктури станції У, яка забезпечує передавання вагонів з колії шириною 1520 мм на колію 1435 мм та в зворотному напрямку і діючої технології її роботи було проведено дослідження основних техніко-експлуатаційних показників за перше півріччя 2023 року у вигляді динамік розподілу кількості відправлених вагонів (місцевих, транзитних та загальних), кількості прийнятих та зданих поїздів, величини вагоно-годин простою іновагонів (місцевих та транзитних), величини середнього часу простою іновагонів (місцевого, транзитного, загального). Аналіз наведених динамік свідчить про наступне:

– щодо кількості відправлених вагонів – коефіцієнт нерівномірності для загальної кількості вагонів $k_{H_3} = 1,34$, а для транзитних вагонів $k_{H_T} = 1,43$.

Це свідчить про те, що станція У працює у значно нерівномірних умовах. Існуючий тренд свідчить про значне збільшення кількості відправлених вагонів по лініях, що мають ширину колії 1435 мм, тобто про значні збільшення обсягів роботи станції;

– щодо кількості прийнятих і зданих поїздів – коефіцієнта нерівномірності по прийнятих і зданих поїздах відповідно складають $k_{H_{\pi}} = 1,29$ та $k_{H_3} = 1,45$. Це також свідчить про значну нерівномірність в роботі станції, а існуючі тренди свідчать про значне підвищення обсягів роботи;

– щодо динаміки кількості простою вагоно-годин місцевих та транзитних іновагонів та середнього часу простою цих вагонів – спостерігається тенденція зменшення цих показників для місцевих іновагонів при наявності значних коливань ($k_{H_{\text{ПрМіст}}} = 1,42$). Для транзитних іновагонів на фоні коливань цих показників спостерігається тенденція до їх збільшення.

На підставі даного аналізу можна зробити висновки про доцільність впровадження і удосконалення технології роботи станції на основі вимог інтероперабельності. Враховуючи що прикордонна станція Ч є складним динамічним хабом, в період воєнного стану для підвищення безпеки її функціонування виникає необхідність розробки та впровадження ризик-орієнтованих технологій при управлінні її роботою.

В магістерській роботі функціонування станції У розглядається з позиції системного підходу, тобто не ізольовано, а з урахуванням її взаємодії з такою великою підсистемою як ДН У регіональної філії "Львівська залізниця". Такий підхід дозволяє управляти вагоно- та поїздопотоками відповідно до умов інтероперабельності, тобто зменшувати нерівномірності в роботі станції.

Для реалізації розвитку інтероперабельності на рівні прикордонних передавальних станцій та на рівні відповідних регіональних філій пропонуються наступні заходи: побудова додаткової колії шириною 1520 мм; побудова додаткової колії шириною 1435 мм; електрифікація; закупівля рухомого складу з розсувними

колiсними парами; подовження тягових плiч локомотивiв в умовах жорсткого графiку руху поїздiв; поповнення локомотивного парку; оснащення лiнii пристроями ETCS рiвня 1; оснащення лiнii пристроями ETCS рiвня 2; оснащення лiнii пристроями ETCS рiвня 3; подовження колiй на технiчнiй станцiї; заходи спрощення митних операцiй (електронне декларування вантажiв).

Крiм того, функцiонування станцiї супроводжується такими факторами, як наявнiсть вагонiв з небезпечними вантажами та наявнiсть потенцiйної небезпеки руйнування її iнфраструктури в перiод воєнного стану в країнi. З метою формалiзацiї такого складного процесу функцiонування прикордонно-передавальнiй станцiї розроблено оптимiзацiйну математичну модель з використанням теорiї ризику. У якостi цiльового критерiю моделi виступають сумарнi витрати, а аргументами функцiї (тобто керуючими змiнними) є загальна кiлькiсть вагонiв в момент t та кiлькiсть вагонiв з НВ. Система обмежень вiдбиває iнфраструктурнi та технологiчнi обмеження. Для вирiшення сформованої оптимiзацiйної моделi використано апарат генетичних алгоритмiв та доведено iснування мiнiмуму цiльової функцiї.

Запропоновано iнтеграцiю задач ризик-менеджменту до складу iнформацiйно-керуючої системи прикордонно-передавальнiй станцiї на АРМi оперативних працiвникiв. Проведене технiко-економiчне обгрунтування запропонованих заходiв на перiод 10 рокiв. Дисконтований економiчний ефект складе 4,52 млн грн.

Список використаних джерел

- 1 Бутько Т.В., Процик М.М., Гаковець С.М. Формування транспортно-логістичного ланцюга при перевезенні залізної і марганцевої руди та чорних металів в експортному сполученні. *Тези доповідей 5-ої міжнародної міжнародної науково-технічної конференції "Інтелектуальні транспортні технології"*, ІТТ. 2024. (Харків, 25–27 листопада 2024 р), Харків, 2024. С. 30–31.
- 2 Butko T., Prokhorov V., Chekhunov D. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №85(3Pt1). P. 55–61.
- 3 Чехунов Д.М. Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із використанням математичних апаратів нечіткої логіки та байєсових мереж. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. №1. С. 35–41.
- 4 Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Формалізація технології переробки вагонопотоків із небезпечними вантажами на сортувальній станції на основі експозиції ризику. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. №2. С.18–22.
- 5 Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Технологія інтелектуального управління сортувальною станцією на основі багатоцільової оптимізації із використанням генетичних алгоритмів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. №4. С.45–55.
- 6 Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Інтелектуальне управління сортувальними станціями при перевезеннях небезпечних вантажів на основі багатоцільової оптимізації. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. №5(77). С.41–52.
- 7 Prokhorov V., Kalashnikova T., Rybalchenko L., Riabushka Yu., Chekhunov D. Solution of the problem of empty car distribution between stations and planning of way-

freight train routeu genetic algorithms. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. №7 (4.3). P. 275–278.

8 Бутько Т.В., Чехунов Д.М., Удосконалення планування роботи сортувальної станції в умовах ризиків. *Матеріали 30-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»* (26–27 жовтня 2017 р., Харків). ІКСТ №4 (додаток). 2017. С. 55–56.

9 Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М. Формування системи управління ризиками при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами на основі моделі оцінювання ризиків. *Матеріали 80-ї міжнародної науково-технічної конференції* (24–28 квітня 2018 р.). Збірник наукових праць УкрДУЗТ. №177 2018. С. 114.

10 Чехунов Д.М. Організація вантажопотоків із небезпечними вантажами на основі оптимізації плану формування поїздів. *Матеріали 31-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»* (24–26 жовтня 2018 р., Харків). ІКСТ №4 (додаток) 2018. С. 33.

11 Butko T., Prokhorov V., Chekhunov D. Forming of model of risk management at the switchyard station at operating railcar with dangerous goods on the basis of risk exposure. *Proceedings of International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport”* (1–10 May 2018 Rimini, Italy). P. 14–16.

12 Бутько Т.В., Прохоров В.М., Чехунов Д.М., Гуровий С.А. Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із застосуванням сучасних математичних апаратів. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції* (14–16 травня 2018 р., м. Харків) Частина 1. УкрДУЗТ. 2018. С. 165–166.

13 Пархоменко Л.О., Чехунов Д.М. Дослідження показників вантажних перевезень в контексті обробки вагонопотоків із небезпечними вантажами. *Матеріали міжнародної науково-практичної Internet-конференції «Моделювання та інформаційні технології в науці, техніці та освіті»* (21–22 листопада 2018 р.) Харків. 2018. С. 171–177.

- 14 Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки: затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 16 груд. 2009 р. № 1390 [в редакції Постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовт. 2011 р. № 1106]. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-%D0%BF> (дата звернення 06.12.2024)
- 15 Аналіз перевезення зернових вантажів. Офіційний сайт Американської торговельної палати в Україні. Дата оновлення: 01.08.2017. URL: http://publications.chamber.ua/Grain_Transportation_08.06._PDF.pdf (дата звернення 13.12.2024).
- 16 Про перевезення небезпечних вантажів: Закон України від 6 квітня 2000 р. № 1644-III. URL: <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1644-14> (дата звернення 14.12.2024).
- 17 Orange book: Recommendations on the transport of dangerous goods. United Nations. 17th edition. Vol. I. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev19/Rev19e_Vol_I.pdf (access date 03.12.2024).
- 18 Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID). Intergovernmental Organisation for International Carriage by Rail (2017). Update: 11.12.2017. URL: https://otif.org/fileadmin/new/2-Activities/2D-Dangerous-Goods/RID_2017_E.pdf (access date 07.12.2024).
- 19 Кацман М.Д. Методологічні засади організації управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті : дис. ... докт. техн. наук : 21.06.01. Київ, 2018. 420 с.
- 20 Lac-Mégantic runaway train and derailment investigation summary. Transportation Safety Board of Canada's: Railway Investigation Report R13D0054. URL: <http://www.tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/rail/2013/r13d0054/r13d0054-r-es.pdf> (date of access 06.12.2024).
- 21 Official site of National Transportation Safety Board. Report of Railroad Accident: Collision of Norfolk Southern Freight Train 192 with Standing Norfolk Southern Local Train P22 With Subsequent Hazardous Materials Release. Graniteville, South Carolina.

- January 6, 2005. (November 29, 2005). URL: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/RAR0504.pdf> (access date 10.12.2024).
- 22 EU Open Data Portal: Annual number of accidents involving the transport of dangerous goods (2004-2015). URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=rail_ac_dnggood (access date 12.12.2024).
- 23 Про затвердження порядку і правил проведення обов'язкового страхування відповідальності суб'єктів перевезення небезпечних вантажів на випадок настання негативних наслідків під час перевезення небезпечних вантажів: Постановами Кабінету Міністрів України від 01.06.2002 р. № 733. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/733-2002-п> (дата звернення 01.12.2024).
- 24 Glickman T.S., Erkut E. Assessment of hazardous materials risks for rail yard safety. *Safety Science*. 2007. Vol.45. P. 813–822.
- 25 Barkan C.P.L., Dick C.T., Anderson R.T. Analysis of railroad derailment factors affecting hazardous materials transportation risk. *Transportation Research Record*. 2003. No. 1825. P. 64–74.
- 26 Anderson R.T., Barkan C.P.L. Railroad accident rates for use in transportation risk analysis. *Transportation Research Record*. 2004. No. 1863. P. 88–98.
- 27 Liu X., Saat M.R., Barkan C.P.L. Probability analysis of multiple-tank-car release incidents in railway hazardous materials transportation. *Journal of Hazardous Materials*. 2014. (276). P. 442–451.
- 28 Verma M., Verter V. Railroad transportation of dangerous goods: population exposure to airborne toxins. *Computers & Operations Research*. 2007. 5(34). P. 1287–1303.
- 29 Erkut E., Verter V. Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations Research*. 1998. №5(46). P. 625–642.
- 30 Safico S., Graziano D., Blasi N. Risk assessment on railway transportation of hazardous materials. *Risk Analysis*. 2014. №36. P. 97–106.

31 Bagheri M., Saccomanno F., Fu L. Effective placement of dangerous goods cars in rail yard marshaling operation. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2010. №5(37): P. 753–762.

32 Музикіна С.І. Удосконалення управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами на залізничній мережі : дис....канд. техн. наук : 05.22.01. Дніпропетровськ, 2013. 168 с.