

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління експлуатаційною роботою

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ: СОРТУВАЛЬНА СТАНЦІЯ О.-НАПРЯМКИ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ РИЗИКІВ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

ОРССС.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221 – ОПУТ – Д23
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)


_____ Андрій Баранов
(підпис)

Керівник: професор, д-р техн. наук

Тетяна БУТЬКО

Рецензент: професор, д-р техн. наук

Олександр ОГАР

2025

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

«18» Березня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Баранов Андрій Віталійович

1. Тема «Організація роботи системи: сортувальна станція О.-напрямки перевезень в умовах ризиків» керівник Бутько Тетяна Василівна, професор, д-р техн. наук затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень від 24 лютого 2025 року №04/25.

2. Строк подання студентом роботи – 15 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Техніко-експлуатаційна характеристика сортувальної станції О., технологія роботи сортувальної станції О., основні техніко-експлуатаційні характеристики , схема напрямку перевезень Х.- О.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Аналіз функціонування систем на основі ризик-менеджменту. 2 Аналіз технічної та експлуатаційної характеристики сортувальної станції О. 3 Аналіз оперативного планування роботи на сортувальній станції. 4 Аналіз основних техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальної станції О. 5 Формування моделі функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту. 6 Процедура моделювання організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту. 7 Формування автоматизованої процедури надання альтернативного вантажним поїздам на напрямку перевезень. 8 Економічна оцінка впровадження запропонованих рішень. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу:

Тема; Мета і задачі дослідження, об'єкт, предмет дослідження, елементи наукової новизни; Немасштабна схема станції О; Схема отримання і передачі інформації; Техніко-експлуатаційні показники роботи станції О; Математична модель функціонування станції О на основі ризик-менеджменту; Результати оптимізації моделі; Структура інформаційно керуючої системи в умовах ризиків; схема напрямку Х-О; матриця суміжності графу; Математична модель надання альтернативного маршруту; розрахунок економічного ефекту; Висновки .

6. Консультанти окремих розділів

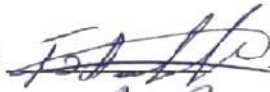
Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економічна оцінка впровадження запропонованих рішень	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, к.е.н.		

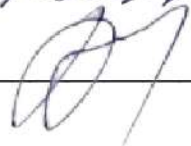
7 Дата видачі завдання 20 березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Вступ	20.03.2025	Виконано
1 Аналіз функціонування систем на основі ризик-менеджменту	25.03.2025	Виконано
2 Аналіз технічної та експлуатаційної характеристики сортувальної станції	05.04.2025	Виконано
3 Аналіз оперативного планування роботи на сортувальній станції	15.04.2025	Виконано
4 Аналіз основних техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальної станції О	25.04.2025	Виконано
5 Формування моделі функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту	01.05.2025	Виконано
6 Процедура моделювання організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту	05.05.2025	Виконано
7 Формування автоматизованої процедури надання альтернативного маршруту вантажним поїздам на напрямку перевезень	12.05.2025	Виконано

8 Економічна оцінка впровадження запропонованих рішень	20.05.2025	Виконано
Висновки	05.06.2025	Виконано
Оформлення роботи	15.06.2025	Виконано

Студент  Баранов Андрій

Керівник  Тетяна БУТЬКО

Анотація

Дана кваліфікаційна робота включає: 14 слайдів презентації, 106 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 22 рисунка, 7 таблиць, 26 літературних джерел.

Ключові слова: вантажні залізничні перевезення, сортувальна станція, залізничний напрямок, ризик-орієнтовані технології, небезпечні вантажі, процедура надання оптимального альтернативного маршруту, теорія графів, розподілена система підтримки прийняття рішень.

Об'єкт дослідження – функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту.

Метою роботи є формування автоматизованої технології управління функціонуванням системи «сортувальна станція -напрямки перевезень» на основі ризик-менеджменту.

Роботу присвячено формуванню ризик-орієнтованих технологій при управлінні системою «сортувальна станція - напрямки перевезень»

З метою формалізації процесу функціонування сортувальної станції у взаємодії із напрямками перевезень сформовано комплекс оптимізаційних математичних моделей на основі теорії ризиків. До комплексу входить математична модель управління роботою сортувальної станції при наявності на ній вагонів із небезпечними вантажами що враховує проведення додаткових маневрових операцій з розставлення , вагонів з НВ по різних коліях , щоб зменшити можливі наслідки транспортних подій. Фактор ризику прийнято як техногенний. Друга модель формалізує процедуру надання оптимального альтернативного маршруту вантажним поїздам на напрямку перевезень у випадку руйнування залізничної інфраструктури з використанням теорії графів.

Сформований комплекс ризик-орієнтованих моделей запропоновано інтегрувати до складу задач інформаційно керуючої системи АСКВПУЗЄ на АРМИ відповідного оперативного і диспетчерського персоналу.

Abstract

This qualification paper includes: 14 presentation slides, 106 pages of explanatory notes in A4 format, containing 22 figures, 7 tables, and 26 references.

Keywords: freight railway transportation, marshalling yard, railway direction, risk-oriented technologies, hazardous cargo, procedure for providing an optimal alternative route, graph theory, distributed decision support system.

Object of research – the operation of a marshalling yard based on risk management technology.

Purpose of the study – to develop an automated technology for managing the operation of a marshalling yard during wartime based on risk management.

The paper is dedicated to the development of risk-oriented technologies for managing the "marshalling yard - transportation directions" system.

To formalize the operational processes of the marshalling yard in interaction with transportation directions, a set of optimization mathematical models based on risk theory has been developed.

The set includes:

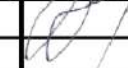
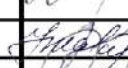
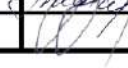
A mathematical model for managing the operation of a marshalling yard in the presence of hazardous cargo, which accounts for additional shunting operations to distribute hazardous cargo wagons across different tracks to reduce potential consequences of transportation incidents. The risk factor is considered as technogenic.

A model that formalizes the procedure for providing an optimal alternative route for freight trains in case of railway infrastructure damage, using graph theory.

The developed set of risk-oriented models is proposed for integration into the tasks of the information and control system ASKVPUZYE for use by the respective operational and dispatch personnel.

Зміст

Вступ	8
1 Аналіз функціонування систем на основі ризик-менеджменту	13
Основні положення технології роботи систем на основі ризик-менеджменту	13
1.2 Аналіз розробок і публікацій щодо організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту	15
2 Аналіз технічної та експлуатаційної характеристики сортувальної станції О	19
2.1 Технічна характеристика сортувальної станції О	19
2.2 Експлуатаційна характеристика роботи сортувальної станції	32
3 Аналіз оперативного планування роботи на сортувальній станції	34
3.1 Оперативне планування сортувальної станції	34
3.2 Охорона та забезпечення збереження вантажів на станції О	42
4 Аналіз основних техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальної станції О	66
5 Формування моделі функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту	76
6 Процедура моделювання організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту	79
6.1 Вибір методу оптимізації моделі	79
6.2 Оптимізація моделі	82
6.3 Інтеграція задач ризик-менеджменту до складу інформаційно-керуючої системи сортувальної станції	83

					<i>ОРССО.300.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Організація роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Баранов		17.06				
<i>Перевір.</i>		Бутько		17.06			4	97
<i>Н. контр.</i>		Малахова		17.06		УкрДУЗТ		
<i>Затверд.</i>		Бутько		17.06				

7. Формування автоматизованої процедури надання альтернативного маршруту вантажним поїздам на напрямку перевезень	87
8. Економічна оцінка впровадження запропонованих рішень	93
8.1 Методичний підхід до оцінки економічного ефекту	93
Висновки	100
Список використаних джерел	104

					ОРССО.300.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Транспорт - це одна із головних галузей національної економіки, яка призначена задовольняти потреби населення та суспільного виробництва в перевезеннях. В сучасних умовах функціонування транспортної мережі важливу роль відіграють перевезення небезпечних та спеціальних вантажів. Найбільша кількість перевезень припадає саме на залізничний транспорт. Територією України перевозиться понад 1000 найменувань різних небезпечних вантажів, з яких близько 25% припадає на залізничний транспорт. З початком військового стану в країні показник цей збільшився.

Головне завдання, яке постало перед залізницею в сучасних умовах праці є безперебійна доставка вантажів і пасажирів та безпека інформації, що їх супроводжує.

Воєнний стан в країні змінив та ускладнив умови перевезень. Сучасні умови, які можна спостерігати – це руйнування залізничної інфраструктури, перебій електропостачання, вимушений переїзд працівників залізничної галузі та інші проблеми.

Як відомо, основним елементом залізничної інфраструктури є сортувальні станції, які доцільно розглядати як складні динамічні хаби, що містять в тому числі вагони з небезпечними та спеціальними вантажами. Це підвищує потенційний ризик руйнування сортувальної станції. Впровадження системи ризик-менеджменту при управлінні сортувальною станцією надає можливість скорочення непродуктивних простоїв вагонів та покращить умови безпеки перевезень.

Тому впровадження сучасних заходів управління функціонування перевезеннями небезпечних та спеціальних вантажів має велике значення для підвищення безпеки та попередження різних потенційних небезпек.

Тому тему магістерської кваліфікаційної роботи слід вважати актуальною.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є формування автоматизованої технології управління функціонуванням сортувальної станції в період воєнного стану на основі ризик-менеджменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проведення аналізу технології роботи систем на основі ризик-менеджменту;
- проведення аналізу розробок і публікацій щодо організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту;
- проведення аналізу технічної та експлуатаційної характеристики та оперативного планування роботи сортувальної станції;
- проведення аналізу основних техніко-експлуатаційних показників роботи в умовах сортувальної станції О;
- формування моделі функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту;
- проведення процедури моделювання організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту;
- економічна оцінка впровадження запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту.

Предмет дослідження – сортувальна станція.

Методи дослідження. У роботі використані методи статистичного аналізу спостережень, математичного програмування, апарат генетичних алгоритмів.

Елементи наукової новизни. В роботі було сформовано оптимізаційну модель, що адекватно відтворює функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту та проведено її оптимізацію за допомогою апарату генетичних алгоритмів.

Практичне значення роботи полягає в тому, що її запропоновано інтегрувати до складу інформаційно-керуючої системи сортувальної станції на АРМі оперативних працівників та ДНЦ як підсистему АСК ВП УЗ Є.

Публікації. Відповідно до теми магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані тези доповідей на III-ій міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Харків, 22-23 листопада 2023 р.) [1] та стаття «Формалізація технології функціонування сортувальної станції на основі ризик-менеджменту» в журналі «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, №4 2023 р. С. 28-32) [2].

Для підвищення надійності функціонування системи «сортувальна станція - напрямки перевезень» доцільно надати гнучкості цій системі шляхом визначення оптимального альтернативного маршруту для прямування вантажних поїздів у випадку руйнування залізничної інфраструктури в автоматизованому режимі.

Такий підхід з використанням ризик-орієнтованих технологій забезпечить підвищення рівня конкурентноспроможності залізничного транспорту і сприятиме збільшенню обсягів перевезень.

Виходячи із вищенаведеного, тема магістерської кваліфікаційної роботи є своєчасною і актуальною.

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є формування автоматизованої технології управління функціонуванням системи «сортувальна станція -напрямки перевезень» на основі ризик-менеджменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1 Аналіз функціонування систем на основі ризик-менеджменту

Основні положення технології роботи систем на основі ризик-менеджменту

1.2 Аналіз розробок і публікацій щодо організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту

2 Аналіз технічної та експлуатаційної характеристики сортувальної станції О

2.1 Технічна характеристика сортувальної станції О

2.2 Експлуатаційна характеристика роботи сортувальної станції

3 Аналіз оперативного планування роботи на сортувальній станції

3.1 Оперативне планування сортувальної станції

3.2 Охорона та забезпечення збереження вантажів на станції О

4 Аналіз основних техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальної станції О

5 Формування моделі функціонування сортувальної станції на основі технології ризик-менеджменту

6 Процедура моделювання організації роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту

6.1 Вибір методу оптимізації моделі

6.2 Оптимізація моделі

6.3 Інтеграція задач ризик-менеджменту до складу інформаційно-керуючої системи сортувальної станції

7. Формування автоматизованої процедури надання альтернативного маршруту вантажним поїздам на напрямку перевезень

8. Економічна оцінка впровадження запропонованих рішень

8.1 Методичний підхід до оцінки економічного ефекту

Об'єкт дослідження-функціонування системи «сортувальна станція-напрямки перевезень» на основі технології ризик менеджменту.

Предмет дослідження-система «сортувальна станція -напрямки перевезень»

Методи дослідження. У роботі використані методи статистичного аналізу спостережень математичного програмування, апарату генетичних алгоритмів, телрії графів.

Елементи наукової новизни:

В роботі було сформовано оптимізаційну математичну модель функціонування сортувальної станції в умовах наявності вагонів із небезпечними вантажами на основі технології ризик-менеджменту та проведено її оптимізацію за допомогою апарату генетичних алгоритмів.

Удосконалено оптимізаційну математичну модель надання альтернативного маршруту на напрямку перевезень для вантажних поїздів.

Практична значущість роботи полягає в тому, що сформований комплекс оптимізаційних ризик-орієнтованих моделей запропоновано інтегрувати до складу задач АСКВПУЗЄ на АРМИ оперативного і диспетчерського персоналу. Реалізація розроблених ризик-орієнтованих технологій забезпечує підвищення рівня надійності функціонування залізничної транспортної системи і як наслідок, сприяє підвищенню рівня її конкурентноспроможності на транспортному ринку.

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповідей: п'ята міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології» (листопад 2024р), двадцять перша науково-практична міжнародна конференція «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (червень 2025р).

Висновки

Проведено аналіз основних положень технології роботи систем на основі ризик-менеджменту. Аналіз довів, що перевезення вантажів на залізничному транспорті неминуче пов'язані з різноманітними ризиками, які виникають як у процесі транспортування, так і під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт і тимчасовому зберіганні. Ситуація, яка зараз в країні значно збільшує кількість ризиків, тому їх потрібно враховувати в процесі функціонування залізнично-транспортної системи.

Проведено аналіз розробок і публікацій щодо організації роботи транспортних систем на основі ризик-менеджменту. Зроблено наступні висновки:

- більшість наукових робіт враховували багато різних умов та факторів, які впливають на різні елементи транспортної системи, однак в них не було розглянуто умови функціонування під час воєнного стану;
- деякі дослідження були присвячені функціонуванню сортувальної станції з перевезень небезпечних вантажів;
- умови воєнного стану можуть значно впливати на функціонування сортувальної станції, що обумовлено руйнуваннями її інфраструктури.

В кваліфікаційній роботі проаналізовано інфраструктурну складову, тобто проведено аналіз технічної та експлуатаційної характеристики сортувальної станції О. Також проведено аналіз оперативного планування роботи цієї сортувальної станції і проаналізовано питання щодо охорони та умов забезпечення збереження вантажів на станції.

Для оцінки відповідності техніко-експлуатаційної характеристики станції та технології її роботи було проведено аналіз основних техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальної станції О. Даний аналіз довів, що протягом періоду 2020-2022 рр. значно збільшилася кількість місцевих вагонів, які несуть потенційну небезпеку, наприклад кількість вагонів з коксом коливається в межах 14.38-28.31%. Спостерігається значне збільшення кількості вагонів зі спеціальними вантажами

(від 11,82-12,06% протягом 2020-2021рр. до 47,47% у 2022 р.), до яких відносяться вантажі з підвищеним рівнем небезпеки.

В роботі отримано динаміки розподілу кількості прийнятих та відправлених поїздів за добу за період 2020-2022рр. За період 2022 року у порівнянні з попередніми роками кількість прийнятих і відправлених поїздів за добу зменшилася у 2 рази і становить кількість прийнятих за добу ($\mu=10,54$) та кількість відправлених поїздів за добу ($\mu=9,85$) у зв'язку з воєнним станом в країні. Крім того, статистичні дані показують, що станція працює в умовах нерівномірності - прийнятих поїздів за добу ($K_{н.р.}=1,71$) та відправлених поїздів за добу ($K_{н.р.}=1,73$).

На основі зібраних даних можна стверджувати про те, що функціонування сортувальної станції супроводжується такими факторами, як наявність вагонів із небезпечними та спеціальними вантажами, нерівномірність обсягів роботи та наявністю потенційної небезпеки руйнування інфраструктури.

На основі порівняння параметрів, отриманих динамік часу простоїв транзитних вагонів з переробкою можна констатувати, що при зменшенні обсягів роботи практично у два рази середній час простою збільшився майже втричі у період 2022 року у порівнянні з 2020-2021 рр. Така тенденція стосується також коефіцієнту нерівномірності зі збільшенням його майже втричі у той самий період. Аналогічно порівнюючи параметри наведених динамік часу простоїв транзитних вагонів без переробки можна стверджувати, що при зменшенні обсягів роботи практично у два рази середній простій вагона збільшився майже в одинадцять разів у період 2022 року у порівнянні з 2020-2021 рр. Ця тенденція стосується також коефіцієнту нерівномірності, який збільшився майже втричі у той самий період.

Основними факторами, що впливають на такі тенденції є воєнний стан в країні, що призвів до руйнування залізничної інфраструктури, а саме: зменшення експлуатованого парку локомотивів через руйнування контактної мережі та тягових трансформаторних підстанцій і в результаті перехід з електротяги на теплотягу, що призвело до збільшення часу очікування сформованими потягами поїзних локомотивів; роботі двох сортувальних гірок, одна з яких працює на

неповну потужність через закриття багатьох напрямків для руху; закриття певної кількості колій накопичення в сортувальному парку з початком воєнного стану.

З метою дослідження функціонування сортувальної станції в період воєнного стану, в який збільшуються потенційні ризики руйнування інфраструктури станції, а саме колій, тягових трансформаторних підстанцій, контактної мережі та інших елементів доцільно використати підходи, щодо організації її роботи на основі концепції ризик-менеджменту.

Відповідно до цього сформовано оптимізаційну математичну модель, що адекватно відтворює процеси функціонування сортувальної станції з урахуванням таких чинників, як наявність вагонів із небезпечними та спеціальними вантажами, динамічність характеру роботи станції та умови воєнного часу. Цільовою функцією моделі обрано сумарні експлуатаційні витрати, включно із складовою, що представляє добуток ймовірності виникнення ризику руйнування інфраструктури сортувальної станції на наслідки цього руйнування. Система обмежень враховує технічні та технологічні обмеження роботи сортувальної станції. Аргументами цільової функції, тобто управляючими змінними є кількість вагонів на сортувальній станції в момент t та кількість вагонів з небезпечними та спеціальними вантажами в момент t .

Для вирішення сформованої оптимізаційної моделі використано апарат генетичних алгоритмів.

В кваліфікаційній роботі проведено моделювання роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту. За допомогою математичного апарату генетичних алгоритмів та системи Matlab була здійснена оптимізація моделі. Аналіз отриманого рішення у вигляді трьохмірної опуклої поверхні довів існування екстремуму цільової функції типу мінімуму. Це дало підставу запропонувати сформовану оптимізаційну модель на основі технології ризик-менеджменту до складу інформаційно-керуючої системи сортувальної станції та до АРМів ДНЦ, тобто удосконалити комплекс задач, що вирішуються в АСК ВП УЗ Є. Таким чином, була сформована автоматизована технологія функціонування сортувальної станції на основі ризик-менеджменту.

З метою підвищення надійності і безпеки функціонування системи: сортувальна станція О. -напрямки перевезень в роботі сформовано оптимізаційну математичну модель надання оптимального альтернативного маршруту прямування вантажних поїздів у випадках руйнування залізничної інфраструктури. Критерієм вибору оптимального альтернативного маршруту є мінімальне перевищення експлуатаційних витрат у порівнянні з експлуатаційними витратами на штатне графікове перевезення. Сформовану ризик-орієнтовану модель у вигляді програмного продукту рекомендовано інтегрувати до складу задач АСКВПУЗЄ на АРМИ оперативного і диспетчерського персоналу.

Проведено оцінку економічної ефективності від впровадження запропонованих заходів. Розрахунками доведено, що економічний ефект від впровадження даної системи ризик-менеджменту надасть можливість скорочення непродуктивних простоїв вагонів на сортувальній станції кожного наступного року на 10%. Розроблена модель також покращить умови безпеки перевезень.

Дисконтований економічний ефект від використання запропонованої технології протягом 5 років становитиме майже 3 млн. грн.

Таким чином, запропонований проект з впровадження сформованої системи ризик-менеджменту є економічно вигідним.

Список використаних джерел

- 1 Бутько Т. В., Топчій А. В., Ступницька К. А. Організація роботи сортувальної станції на основі ризик-менеджменту. *Тези III-ої міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (22-23 листопада 2022 р.)*. Харків: УкрДУЗТ. 2022. С. 18-20.
- 2 Бутько Т. В, Пархоменко Л. О., А. В. Топчій. Формалізація технології функціонування сортувальної станції на основі ризик-менеджменту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2022. № 4. С. 28–32.
- 3 Бобиль В. В, Пивоварова Г. Б. Класифікація економічних ризиків залізничного транспорту України. *Ефективна економіка*. 2020. № 12.
- 4 Рачинська А. В. Класифікація ризиків на залізничному транспорті як основа формування системи економічної безпеки його функціонування. *Економіка і суспільство*. 2016. № 6. С. 81-87.
- 5 Сич Є. М. Богомоллова Н. І. Стратегія розвитку залізничного транспорту України. *Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Серія «Економіка і управління»*. 2005. Вип. 7. С. 98–105.
- 6 Устенко О. Л. Теория экономического риска: монографія. К.: МАУП, 1997. 164 с.
- 7 Мостенська Т. Л, Скопенко Н. С. Ризик-менеджмент як інструмент управління господарським ризиком підприємства. *Вісник Запорізького національного університету харчових технологій*. 2010. Вип.3. С. 72-79.
- 8 Правила перевезень небезпечних вантажів: Наказ Міністерства транспорту України від 14 жовтня 1997 року N 363. Київ: Транспорт України. 2009. 672 с.
- 9 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.
- 10 Формування моделі оцінки ризиків на сортувальній станції при оперуванні вагонами з небезпечними вантажами із застосуванням сучасних математичних

апаратів / Т. В. Бутько, В. М. Прохоров, Д. М. Чехунов, С. А. Гуровий *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції* (14–16 травня 2018 р., м. Харків). Частина 1. УкрДУЗТ. 2018. С. 165–166.

11 Бутько Т. В, Прохорченко А. В., Музикіна С. І. Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі “технічна станція – прилегла дільниця” на базі нечіткої ситуаційної мережі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Науково-технічний журнал*. 2012. Вип. 3. С. 3-8.

12 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.

13 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

14 Solution of the problem of empty car distribution between stations and planning of way-freight train routeu genetic algorithms. / V.Prokhorov, T.Kalashnikova, L. Rybalchenko, Yu. Riabushka, D. Chekhunov *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. №7 (4.3). P. 275–278.

15 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.

16 Кацман М. Д. Мироненко В. К., Мацюк В. І. Математичні моделі екологічно небезпечних транспортних подій. *Системи обробки інформації*. Харків. 2015. Вип. 3(128). С. 125–131.

17 Bubbico, R. Cave S., Mazzarotta B. Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2004. 17(6). P. 483–488.

- 18 Дубов М. А Теория систем массового обслуживания: практикум. Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. Ярославль: ЯрГУ, 2015. 44 с.
- 19 Hadjiconstantinou E., Christofides N. An exact algorithm for general, orthogonal, two-dimensional knapsack problems. *European Journal of Operational Research* 83 (1995) 39-56.
- 20 Lai K.K. and Chan J.W.M. Developing a simulated annealing algorithm for the cutting stock problem. *Computers & Industrial Engineering*. 32 (1997) 115-127.
- 21 Tsai R.D., Malstrom E.M., Meeks H.D. A two-dimensional palletizing procedure for warehouse loading operations. *IE Transactions* 20 (1988) 418–425.
- 22 Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Таганрог: ТРТУ, 1998. 239 с
- 23 Мухачева А.С., Чиглинцев А.В. Генетический алгоритм поиска минимума в задачах двумерного гильотинного раскроя. *Информационные технологии*. 2001. №3. С. 27–31
- 24 Норенков И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации // Информационные технологии. 1999. №1. С. 2–7.
- 25 Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навчальний посібник / Є.І. Балака, О.І. Зоріна, Н.М. Колесникова, І.М. Писаревський. Харків: УкрДАЗТ. 2005. 210 с.
- 26 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення: методичний посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській навчальній звітності / За загальною редакцією Л.М. Козара. Харків: УкрДАЗТ. 2014. 55 с.