

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту



ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

VI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ



ITT2025

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

**Тези доповідей 6-ої міжнародної
науково-технічної конференції**

«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Харків 2025

6-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 24–26 листопада 2025 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2025. – 300 с.

Збірник містить тези доповідей науковців вищих навчальних закладів України та інших країн, підприємств транспортної та машинобудівної галузей за чотирьма напрямками: розвиток інтелектуальних технологій при управлінні транспортними системами; транспортні системи та логістика; інтелектуальне проектування та сервіс на транспорті; функціональні матеріали та технології при виготовленні та відновленні деталей транспортного призначення.

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2025

ЗМІСТ

Секція

РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ УПРАВЛІННІ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЄС ЯК РОЗВ’ЯЗАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ <i>В.М. Самсонкін, О.В. Rogoviy, О.Г. Юрченко, О.Г. Стрелко, G. Bureika</i>	19
ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ <i>Є.В. Ходаківська</i>	21
ЦИФРОВІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЛЬ У ПІДВИЩЕННІ ТОЧНОСТІ ВИРОБНИЦТВА В ЕПОХУ ІНДУСТРІЇ 4.0 <i>Г.Л. Комарова, М. Rucki, Д.М. Сергєєв, І.В. Приміський, С.Б. Крамаренко</i>	23
DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR A DIGITAL AGGREGATOR PLATFORM FOR THE COORDINATION OF FREIGHT SHIPPERS AND THE RAILWAY CARRIER <i>K. Dahal, A. Prokhorchenko, R. Koirala, Sh. Ahmed, M. Kravchenko, V. Borsch</i>	26
КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОПРАВНОГО ДОСТУПУ ДО ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ В УМОВАХ СТРУКТУРНОЇ РЕФОРМИ ГАЛУЗІ <i>А.В. Прохорченко, M. Lagler, А.М. Кисельова, Ю.С. Мінейкіс, Т.І. Руденко</i>	28
ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ITS ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ “SMART CITY” <i>О.М. Ананьєва</i>	30
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ІОТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ <i>М.М. Бабаєв</i>	32
СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ЗАЛІЗНИЧНІЙ ГАЛУЗІ <i>Г.Є. Богомазова</i>	33

НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ТЕПЛОВОЗАМИ З ГІБРИДНИМ ПРИВОДОМ <i>В.В. Боярко, Д.В. Бобирь</i>	35
ФОРМУВАННЯ ПРОЦЕДУРИ НАДАННЯ ПРІОРИТЕТУ ПРИ ПРОСУВАННІ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ В ЕКСПОРТНОМУ СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ РИЗИКІВ <i>Т.В. Бутько, Т. Horsin, Д.А. Гайдук, М.О. Голубєв</i>	36
ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ПЕРЕСАДОЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ ТА ВОКЗАЛУ Х-ПАС <i>Т.В. Бутько, Ю.І. Ящук, Д.В. Трофименко</i>	38
ФОРМУВАННЯ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВАНТАЖНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ <i>Т.В. Бутько, А.В. Іванчо, М.В. Іванчо</i>	40
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ПАСАЖИРОПОТОКІВ У МЕТРОПОЛІТЕНІ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ <i>І.О. Воронко</i>	42
АВТОМАТИЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ <i>І.О. Воронко, О.І. Журенко</i>	44
УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ <i>Є.О. Герасименко, А.А. Воробйова, О.О. Голубенко</i>	46
МЕТОД СЦЕНАРІЇВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ <i>І.С. Демченко, Д.Ю. Ляпін, Т.В. Головка</i>	48
ОПТИМІЗАЦІЯ ВАГОНОПОТОКІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ <i>П.В. Долгополов, С.С. Осаковський, Р.І. Хлебик</i>	50

FIBER-OPTIC SENSOR–BASED PROACTIVE RAILWAY TRACK MONITORING USING VIBRATION ANALYSIS AND NEURAL NETWORKS <i>S.O. Zmii, M.V. Kanevskyi, D.S. Kanevskyi</i>	52
QUANTUM INTERFEROMETRY AS A BASIS FOR NAVIGATION UNDER INDEPENDENCE FROM SATELLITE SYSTEMS <i>M.Yu. Kushch, S.O. Zmii</i>	54
ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСТАВЛЕННЯ ВІЙСЬКОВОГО ВАНТАЖУ В ЗОНУ БОЙОВИХ ДІЙ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВІ ЛОГІСТИКИ <i>Т.Ю. Калашнікова, О.О. Клочков</i>	56
АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ НА ДІЛЯНЦІ ЯГОДИН – ДОРОГУСЬК <i>П.Р. Хінельова, Т.Ю. Калашнікова</i>	57
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЄКТІВ ПРИСТРОЇВ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ <i>Ю.В. Калюта, С.В. Буднікевич</i>	59
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВАГОНОПОТОКІВ У ПЛАНІ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ В СКЛАДНИХ МЕРЕЖАХ <i>Д.А.М. Киман, С.А. Золотарьов, М.С. Мусієнко</i>	62
ПОТРЕБИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ <i>Д.В. Константинов, Д.С. Безгін</i>	64
ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ <i>Д.В. Константинов, R. Keršys, С.С. Єрмоєнко</i>	66
РОЗРОБКА ВИМОГ ДО ЦИФРОВОЇ ПЛАТФОРМИ АГРЕГАТОРА ДЛЯ КООРДИНАЦІЇ ВАНТАЖОВІДПРАВНИКІВ ТА ПЕРЕВІЗНИКА <i>М.А. Кравченко, В.Р. Бориц</i>	68
УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ РИЗИК-	

ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ <i>О.В. Лаврухін, А.О. Ковальов, О.Г. Стрелко</i>	70
ІНЕРЦІЙНО-ІНВАРІАНТНИЙ ПІДХІД ДО ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ У ВІДКРИТИХ СИСТЕМАХ <i>Н.М. Лазарєва</i>	72
FEATURES OF ROBOTIC SYSTEMS FOR APPLICATION ON RAILWAY <i>O.V. Lazariiev, A.I. Svinar, O.O. Lazariieva</i>	73
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ДІЛЬНИЦЬ З УРАХУВАННЯМ РЕЗЕРВІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГРАФІКІВ РУХУ <i>О.А. Малахова, М.Д. Попов, В.А. Ніжегольцев</i>	75
ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ М. ДНІПРО НА ПЕРЕТИНІ ПРОСПЕКТА ДМИТРА ЯВОРНИЦЬКОГО З ВУЛ. БАРИКАДНА ТА ВУЛ. СІЧОВИХ СТІЛЬЦІВ <i>М.І. Музикін, Г.І. Нестеренко, Т.О. Слишук</i>	77
ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ RTV VISUM <i>М.І. Музикін, С.І. Бібік, М.А. Юрченко</i>	79
МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЗАВДЯКИ ЗАЛУЧЕННЮ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ СЬОГОДЕННЯ <i>В.П. Нерубацький</i>	81
РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В СИСТЕМІ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ПРИКОРДОННИМИ СТАНЦІЯМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ <i>Л.О. Пархоменко, О-М.С. Микитась, А.В. Гмирянський</i>	83
ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОНТЕЙНЕРНОЇ ЛОГІСТИКИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ <i>Л.О. Пархоменко, В.М. Прохоров, Д.Д. Ковальов, О.В. Кофанов</i>	84
ІНТЕГРОВАНІ ВІМ-МОДЕЛІ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ТЕРМІНАЛІВ <i>П.В. Квасов, С.М. Продащук</i>	86

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДИСПЕТЧЕРІВ ЗАЛІЗНИЦІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ ВВЕДЕННЯ КОМАНД <i>С.М. Продащук, О.В. Горкун</i>	88
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ <i>В.М. Прохоров</i>	90
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЛОЧНИХ ПОЇЗДІВ У ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ <i>О.О. Логозинський, В.М. Прохоров</i>	92
ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАГОНОПОТОКІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ БЛОЧНИХ ПОЇЗДІВ <i>О.О. Логозинський, В.М. Прохоров</i>	94
ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ <i>К.А. Мирошниченко, В.М. Прохоров</i>	96
УДОСКОНАЛЕННЯ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАГОНІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ МЕРЕЖІ <i>А.І. Кузьменко, М.А. Величко, О.В. Новіков</i>	97
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ВИБОРУ МІЖНАРОДНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ МАРШРУТІВ СЛІДУВАННЯ ПАСАЖИРІВ НА ОСНОВІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ <i>Г.О. Прохорченко, Т.О. Кольєва, Я.С. Міщенко, Д.Є. Цабора</i>	99
ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ УКРАЇНИ В МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ <i>Л.І. Рибальченко</i>	100
ТЕХНОЛОГІЯ «ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА» ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ <i>В.О. Сотник, О.В. Щебликіна</i>	103
ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ MAGLEV ТЕХНОЛОГІЙ В НАЗЕМНОМУ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ ТРАНСПОРТІ <i>А.В. Сохацький</i>	105

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ <i>Г.М. Сіконенко, С.Г. Стеценко</i>	107
СТРУКТУРНА РЕФОРМА ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА УРОКИ ДЕРЕГУЛЯЦІЇ США <i>Д. Січкарь</i>	109
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ <i>О.Є. Титаренко</i>	110
ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ПЕРИФЕРІЙНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ В УМОВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ <i>О.М. Харламова</i>	112
ПРЕСКРИПТИВНИЙ ПІДХІД ДО КЕРУВАННЯ СТАНОМ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ ІІІ <i>П.О. Харламов</i>	114
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ КОНФЛІКТУ <i>Д.Р. Харченко, Д.Е. Раковський</i>	116
УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ <i>Є.В. Ходаківська, О.С. Бондаренко, Г.В. Проценко</i>	117
УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ <i>Є.В. Ходаківська, В.Ф. Чеклов, С.В. Борщова</i>	119
МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ БЛОКЧЕЙН ПРИ МИТНОМУ КОНТРОЛІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ <i>О.М. Ходаківський</i>	121
ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТНОСПРОМОЖНОСТІ «УКРЗАЛІЗНИЦІ» НА РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ <i>Ю.В. Сухолиткий, Д.О. Куценко, О.Е. Шандер</i>	124

МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ТРАНСФЕР АЛГОРИТМІЧНИХ ПАРАДИГМ ДЛЯ СТВОРЕННЯ АВТОНОМНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ СИСТЕМ <i>М.Ю. Куц, О.В. Щебликіна</i>	126
---	-----

**Секція
ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ЛОГІСТИКА**

БЕЗПЕКА ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ <i>Д.В. Ломотько, J. Wojciechowski, А.І. Аболонін</i>	128
--	-----

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАЛІЗНИЧНІЙ ЛОГІСТИЦІ УКРАЇНИ <i>Д.В. Ломотько, T. Perzyński, К.Г. Власенко</i>	130
--	-----

МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ <i>В.В. Гончар, Д.В. Арсененко</i>	133
--	-----

ЗАЛУЧЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ДО СЕЗОНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ <i>Л.В. Толкачева, Д.В. Арсененко</i>	135
---	-----

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ ПРИПОРТОВОЇ ТА ДІЛЬНИЧНОЇ ВАНТАЖНОЇ РОБОТИ <i>М.О. Коробчанський, Д.В. Арсененко</i>	137
--	-----

ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ГАЗОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ <i>Є.І. Балака, Д.С. Лючков</i>	139
---	-----

MEASURES TO ACCELERATE FREIGHT TRANSPORT THROUGH THE ORGANIZATION OF GROUP TRAINS <i>J.S. Barotov</i>	141
---	-----

APPROACHES TO DEVELOPING AN ADAPTIVE MODEL FOR MANAGING FREIGHT FLOWS IN INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS <i>H.S. Baulina</i>	144
---	-----

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В СИСТЕМІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ <i>Г.С. Бауліна, Д.М. Чехунов</i>	145
---	-----

РОЗВИТОК КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МІЖ УКРАЇНОЮ ТА КРАЇНАМИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ <i>Г.С. Бауліна, К.В. Труш</i>	147
DEVELOPMENT OF A TRAIN FORMATION PROCEDURE AT CONTRAILER TERMINALS BASED ON SET THEORY <i>D.Sh. Boboev</i>	149
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ ФІЛІЇ В УМОВАХ НЕЗБЕРЕЖЕНОСТІ ВАНТАЖІВ <i>Г.Є. Богомазова, Д.М. Чехунов, В.А. Фесенко</i>	152
КЛЮЧОВИЙ ОГЛЯД СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ <i>Н.В. Гриценко</i>	153
ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ В ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД <i>В.В. Гудімов</i>	155
ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНО- ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ <i>Ю.О. Давідіч, В.О. Дорошук</i>	158
ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОВИХ ЗАЛІЗНИЦЕЮ УКРАЇНИ В ПЕРІОД СКРУТНОГО СТАНУ ПЕРЕВІЗНИКА <i>В.М. Запара</i>	160
СУЧАСНІ РЕАЛІЇ ТАРИФОУТВОРЕННЯ НА ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАЛІЗНИЦЕЮ НА ТРАНСПОРТНОМУ РИНКУ УКРАЇНИ <i>В.М. Запара, Д.М. Чехунов, І.І. Процик</i>	162
СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСНИХ ВАГОНІВ ПЕРЕВІЗНИКА В УКРАЇНІ ЗА ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ <i>В.М. Запара, Я.В. Запара, А.В. Середін</i>	164
ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗБЕРЕЖЕНОСТІ ВАНТАЖІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ <i>А.О. Ковальов, О.В. Ковальова, О.Ю. Давиденко</i>	166

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ <i>А.О. Ковальов, Р.А. Пурій, Ю.В. Прохоренко</i>	168
ВПЛИВ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАГОНІВ НА ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ <i>О.В. Ковальова, В.О. Олексюк</i>	170
THE USE OF MACHINE LEARNING METHODS IN PREDICTING THE PASSENGERS' TRAVEL BEHAVIOR <i>D. Kopytkov, O. Zaporozhtseva</i>	171
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СТУПІНЧАСТИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ <i>О.М. Костєнніков, В.О. Мирошниченко</i>	173
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГНОЗНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ ЕКСПОРТНИМИ ВАНТАЖОПОТОКАМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ <i>О.М. Костєнніков, С.В. Круподєря</i>	175
ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ В УКРАЇНІ <i>К.В. Кім, Р.Р. Гасанов</i>	177
ЗАХОДИ З ОПТИМІЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТНО- ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ РІЗНИХ ВИДІВ ВАНТАЖІВ <i>Є.М. Лебідь, І.Г. Лебідь, О.О. Мазуренко</i>	179
ПЕРСПЕКТИВИ ВЗАЄМОДІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ ІЗ ОПЕРАТОРАМИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ <i>Д.В. Ломотько, А.І. Аболонін, О.В. Кофанов, Н.Ю. Янчар</i>	182
АКТУАЛЬНІСТЬ КОНТРЕЙЛЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ <i>Д.В. Ломотько, Г.М. Афанасов, О.Ф. Афанасова</i>	184
ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ <i>Д.В. Ломотько, Д.В. Кудряшов, Н.С. Кудряшова</i>	186

ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ВЗАЄМОДІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ ІЗ ПІД'ЇЗНИМИ КОЛІЯМИ ПІДПРИЄМСТВ В УКРАЇНІ <i>Д.В. Ломотько, Р.Ю. Романов, К.І. Гаманюк, Ю.М. Власова</i>	188
ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДО СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДИСПЕТЧЕРА ЛОГІСТА <i>М.Д. Ломотько</i>	190
СУЧАСНИЙ СТАН МИТНОЇ ТА ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ <i>Н.О. Лужанська, В.В. Федорович</i>	192
СИСТЕМНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВО ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ І АГЛОМЕРАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА <i>А.О. Лямзін, О.Є. Соколова</i>	195
ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ ШЛЯХАМИ СПОЛУЧЕННЯ УКРАЇНИ ЗА УМОВИ УРАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ <i>Г.О. Примаченко, Г.С. Пащенко</i>	197
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ У ПАКУВАЛЬНІЙ ТАРІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ <i>С.М. Продащук</i>	199
СТАН І НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ <i>С.М. Продащук, К.В. Лисенко</i>	201
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТЕЙНЕРНИХ БЛОК-ПОТЯГІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО І МОРСЬКОГО ТРАСПОРТУ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ <i>Д.В. Тарасенко, В.М. Прохоров</i>	203
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ ТА МИТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ <i>М.П. Рой, Є.В. Компанієць, Д.К. Тарасенко</i>	205

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ В ПОРТАХ <i>А.В. Федоров</i>	207
ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ <i>О.О. Шапатіна, Д.О. Троян, Д.О. Клименко</i>	209
ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ – НЕОБХІДНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ <i>В.І. Шевченко, Б.В. Мацієвський, Д.В. Кривошеєв</i>	210
«АТТО» AS A TOOL FOR CREATING A UNIFIED FARE SPACE BETWEEN URBAN AND SUBURBAN TRANSPORT <i>D.Z. Ikramova</i>	213
Секція ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ, СЕРВІС ТА ОХОРОНА ПРАЦІ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ	
АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТАНЦІЙНИХ ГОРЛОВИН ІЗ УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-РЕСУРСНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ФАКТОРІВ <i>О.М. Огар, А.О. Ковальов, Продащук М.В.</i>	216
ІНТЕГРАЦІЯ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО <i>М.М. Балака, Д.О. Міщук</i>	219
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИБОРУ РІЧСТАКЕРІВ У СИСТЕМАХ КОНТЕЙНЕРНОЇ ЛОГІСТИКИ <i>К.Ю. Гурєєв, П.О. Кривченков, М.М. Балака</i>	221
ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ БІОЛОГІЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА <i>В.Г. Брусенцов, О.Д. Козодой</i>	223
РОЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ <i>Ю.В. Буц, О.В. Крайнюк, Д.С. Козодой</i>	225

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І БЕЗПЕКА ПРАЦІ <i>Є.С. Григор'єва, Л.А. Катковнікова, Б.К. Гармаш, С.В. Гулевський</i>	227
ЕКОНОМІЧНІ ВИГОДИ ВІД ПОКРАЩЕННЯ УМОВ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ТРАНСПОРТІ <i>Н.В. Гриценко, Д.С. Козодой</i>	229
ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ МЕТОДІВ КОНВЕРТАЦІЇ КОЛЬОРОВИХ ПРОСТОРІВ У ВЕБ-СЕРЕДОВИЩІ <i>І.В. Ковтун</i>	231
АНАЛІЗ ОБСЯГІВ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ <i>А.В. Колісник, І.Е. Алієв</i>	232
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ <i>А.В. Колісник, Т.В. Шпек, В.В. Ткаченко</i>	233
АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, СЕРВІСУ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ <i>С.С. Ворошило, К.В. Крячко</i>	235
ДО ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ВАГОНІВ НА ПРИКОРДОННІЙ ВАНТАЖНІЙ СТАНЦІЇ В УМОВАХ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ <i>В.В. Кулешов, А.С. Магальяс, М.О. Бражник</i>	237
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ КОЕФІЦІЄНТІВ ОПЕРАТИВНОЇ ГОТОВНОСТІ <i>М.Ю. Куценко, А.О. Толок</i>	241
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ З ПОЗИЦІЇ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ <i>М.Ю. Куценко, М.О. Бур'ян</i>	242
СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ГІРКОВИХ ОПЕРАТОРІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ІШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ <i>М.Ю. Куценко, О.М. Макарук</i>	244

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗМЕНШЕННЯ ВАГОНОПОТОКУ <i>М.Ю. Куценко, І.А. Кравець</i>	245
НОВІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ В УМОВАХ ДИСКРЕТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ НА ТРАНСПОРТІ <i>А.О. Лямзін, Є.О. Український</i>	247
ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МИТНОГО КОНТРОЛЮ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ <i>В.К. Мироненко, О.С. Пестременко-Скрипка</i>	249
ПРОЦЕДУРА РОЗРАХУНКУ ШВИДКОСТІ ВИХОДУ ВІДЧЕПІВ З ПАРКОВОЇ ГАЛЬМОВОЇ ПОЗИЦІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ СОРТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ПРОТИУХИЛАМИ <i>О.М. Озар, І.В. Кондратьєв, А.О. Левченко</i>	250
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ СЕРВІСНИХ СИСТЕМ МИТНОГО КОНТРОЛЮ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ <i>О.С. Пестременко-Скрипка, О.О. Федорчук</i>	252
УРАХУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ У МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ <i>В.Г. Равлюк, В.М. Ільчишин, Я.В. Дерев'янчук</i>	253
PLUG-IN ГІБРИДНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА ДЛЯ КАР'ЄРНОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ З АВТОНОМНИМ РУХОМ <i>Є.С.Рябов, В.О.Яготін, А.С.Тихонов</i>	255
ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ПРОМИСЛОВИХ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВАХ <i>Є.С.Рябов, С.В.Рой, А.В.Качан, Ганчо О.О.</i>	258
ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА <i>Г.М. Сліпецька</i>	260

RESEARCH OF TIRE WEAR ON PORT TRACTOR TRUCKS <i>V.V. Strelbitskiy</i>	262
ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF PORT TRUCK TRACTORS USING STATISTICAL MODELING METHODS <i>N.O. Punchenko, V.V. Strelbitskiy</i>	263
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ФАКТИЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ <i>А.Л. Сумцов</i>	265
RESEARCH ON THE CAUSES OF CARGO DELAYS IN INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION <i>G. Shapoval, V. Antonenko</i>	266
ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФРАСТРУКТУРНО- ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ОБ'ЄКТІВ ПРИПОРТОВИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ <i>Г.І. Шелехань, Г.В. Шаповал, С.Ю. Дудка</i>	268
ЕРГОНОМІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ВОДІЇВ І ОПЕРАТОРІВ ДОРОЖНЬОЇ ТЕХНІКИ <i>Є.С. Бережна, О.В. Крайнюк</i>	270
ВИКОРИСТАННЯ СЕНСОРНИХ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС НАВАНТАЖУВАЛЬНО- РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ: ДОСВІД КРАЇН ЄС ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ <i>В.В. Сидорчук, О.В. Крайнюк</i>	272

Секція
ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ
ВИГОТОВЛЕННІ І ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ

ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ВИРОБУ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СКЛЕРОМЕТРІЇ ЙОГО ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ <i>С.А. Клименко</i>	274
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ: ВБУДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНОВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ <i>Л.А. Тимофеева, Z. Krzysiak, М.Г. Равлюк, О.В. Сергеев</i>	276

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ДЕТАЛЕЙ <i>Л.В. Волошина, Д.І. Волошин, П.В. Пліщенко</i>	279
НАНОСТРУКТУРОВАНІ КЕРАМІЧНІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ SiC, ZrO ₂ ТА WC ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА МЕТРОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ <i>Е.С. Геворкян, В.П. Нерубацький, Г.Л. Комарова, Л.В. Волошина</i>	281
ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКУЮЧИХ ПРИСАДОК ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ <i>А.В. Захаров</i>	284
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ПОРИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ ФІЛЬТРІВ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ПТФЕ <i>О.Б. Калюжний, І.М. Стасенко</i>	286
ІШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У МАТЕРІАЛОЗНАВСТВІ: НОВА ЛОГІКА ДОСЛІДЖЕНЬ <i>Ю.Г. Ковальов, В.В. Аулін, С.Г. Ковальов, О.В. Кузик, А.В. Гриньків</i>	288
ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ <i>Н.О. Лалазарова, О.В. Афанасьєва, Г.Л. Комарова, О.М. Івахненко</i>	290
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАНОДОБАВОК НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧАСТКОВО СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ У ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ <i>В.П. Нерубацький, Е.С. Геворкян, Г.Л. Комарова, Л.В. Волошина</i>	292
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ІШТАНГЕНЦИРКУЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ <i>Л.А. Тимофєєва, П.В. Рукавішников, Г.Р. Шепілов, О.В. Роценко</i>	295

Секція
**РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРИ УПРАВЛІННІ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ**

УДК 004.89:656.078

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЄС ЯК РОЗВ'ЯЗАННЯ
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ**

**REASONING OF A RATIONAL STRATEGY FOR THE
DECARBONIZATION OF EU RAIL TRANSPORT AS A MULTI-
CRITERION TASK SOLVING**

*д.т.н. В.М. Самсонкін¹, О.В. Роговий¹, к.т.н. О.Г. Юрченко¹,
д.і.н. О.Г. Стрелко¹, д.т.н. Г. Бурейка²*

¹*Національний транспортний університет (Київ)*

²*Вільнюський технічний університет ім. Гедемінаса (Вільнюс)*

*DSc. V. Samsonkin¹, O. Rohovyi¹, PhD O. Yurchenko¹,
DSc. O. Strelko¹, DSc. G. Bureika²*

¹*National Transport University (Kyiv)*

²*Vilnius Gediminas Technical University (Vilnius)*

Декарбонізація залізничного транспорту є одним з пріоритетніших напрямів європейської політики. [1] вимагає скорочення викидів парникових газів і досягнення кліматичної нейтральності.

На сьогодні існує безліч технічних рішень з декарбонізації, які оцінюються за різними критеріями. Прості фінансові розрахунки не здатні адекватно відобразити таку багатокритеріальність, тому використовують методи багатокритеріального прийняття рішень (MCDM).

Визначення стратегії декарбонізації залежить від кількох взаємопов'язаних факторів: структури уявлення статистики альтернатив, кількості критеріїв оцінки, горизонту прогнозування.

Проаналізовано чотири альтернативних технологій декарбонізації, які вже використовуються в ЄС: електрифікація ділянок руху поїздів (EL), локомотиви на водневому паливі (H₂), акумуляторні локомотиви (BAT), дизельні поїзди на біопаливі (B100).

Для кожної з чотирьох технологій на першому етапі дослідження було визначено оцінку життєвого циклу LCA (ISO 14040) за допомогою міжнародної бази даних інвентаризації життєвого циклу (Ecoinvent 3.9) та підходу R&D GREET 2023 (для порівняння та зіставлення повного впливу викидів парникових газів для всіх компонентів життєвого циклу транспортного засобу) [2].

Було розглянуто п'ять критеріїв оцінки альтернатив декарбонізації (екологічний, економічний, капітальний, технічний, соціальний), які отримали вагові коефіцієнти (середні значення з середнє-квадратичним відхиленням) на основі чотирьох актуальних досліджень, наприклад [2]. Вагові коефіцієнти представлені у таблиці 1.

Табл.1. Вагові коефіцієнти критеріїв оцінки альтернатив

Критерій	Опис критерію; показник	ar.mean $\pm$ σ
екологічний	Скільки викидів CO ₂ утворюється на кожну тонно-кілометр перевезення; (↓)	0,30 $\pm$ 0,02
економічний	Середня приведена вартість тягової енергії ; (↓)	0,24 $\pm$ 0,03
капітальний	Початкові капітальні витрати на один поїзд; (↓)	0,18 $\pm$ 0,02
технічний (надійність)	Середній час безвідмовної роботи; (↑)	0,15 $\pm$ 0,02
соціальний	Скільки робочих місць створюється та наскільки технологія підтримується громадськістю; (↑)	0,13 $\pm$ 0,01

де показник (↓) означає «чим менше, тим краще», а (↑) – «чим більше тим краще».

На другому етапі використано метод АНР, в результаті чотири альтернативи декарбонізації було ранжовано по п'яти критеріях. На третьому етапі було розглянуто базовий сценарій методу TOPSIS.

АНР використовується для визначення ваг критеріїв, тоді як TOPSIS ранжує технології на основі їхньої близькості до ідеального рішення та віддаленості від антиідеалу. Такий підхід забезпечує прозоре ранжування.

Остаточний результат дослідження представлений у таблиці 2.

Таблиця 2. Ранжування альтернатив декарбонізації на основі використання підходу LCA → АНР → TOPSIS

Альтернативи	Відстань до ідеалу	Відстань до анти-ідеалу	Індекс близькості	Остаточний ранг
EL	0,016	0,265	0,942	1
H ₂	0,174	0,114	0,396	2
BAT	0,21	0,074	0,261	3
B100	0,263	0,052	0,164	4

Дані розрахунки підтвердили стратегічний пріоритет електрифікації (EL). BAT є економічно життєздатним для маршрутів до 150 км та не більше двох циклів зарядки акумулятора на день. H₂ має конкуренцію лише при зниженні вартості «зеленого» водню та збільшення вартості інфраструктури при електрифікації більше 30%. Варіант B100 має найнижчий рейтинг завдяки високому впливу на навколишнє середовище та нестабільності цін його сировини.

Дослідження виконано за підтримки проекту PhDs EU-Rail, фінансованого Європейським Союзом та Europe's Rail Joint Undertaking.

- [1] Vashchenko, O.: Decarbonizing Strategy of Ukrainian Transport Sector. Lect. Notes Netw. Syst. 1335, (2024).
[2] Light Duty Vehicle Greenhouse Gas Life Cycle Assessment. https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-07/eere-greet-fact-sheet_july-2024.pdf
[3] Marjani, S.R., et al.: Assessing hydrogen as an alternative fuel for rail transport. Sci. Rep. 15, 6449 (2025).

УДК 656.073:004.94

ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY TO IMPROVE THE RESILIENCE OF MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORTATION IN TRANSPORT AND LOGISTICS CHAINS

канд. техн. наук Є. В. Ходаківська

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Ye. Khodakivska PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Стійкість транспортно-логістичних систем є визначальним чинником ефективності мультимодальних перевезень в умовах нестабільності зовнішнього середовища, зміни конфігурацій маршрутів постачання та зростання вимог до цифрової взаємодії учасників перевізного процесу. Інтеграція транспортної системи України до транс'європейської транспортної мережі (TEN-T) актуалізує питання інтероперабельності, що передбачає узгоджену взаємодію видів транспорту, терміналів та інформаційних систем на основі єдиних технічних і цифрових стандартів. Забезпечення належного рівня стійкості та інтероперабельності є ключовою умовою адаптивності, надійності й енергоефективності транспортно-логістичних ланцюгів.

Аналіз попередніх наукових робіт [1,2,3] показує, що більшість із них зосереджуються на окремих аспектах цифровізації або оптимізації логістичних процесів, проте бракує інтегрованих підходів, які поєднують цифрові двійники, штучний інтелект (AI) і моделі змішаного цілочисельного програмування (MILP) [4, 5]. Це зумовлює необхідність формування єдиної методології, здатної забезпечити комплексне управління стійкістю мультимодальних перевезень у цифровому середовищі.

Метою дослідження є формування системної технології управління стійкістю та інтероперабельністю мультимодальних вантажних перевезень, що забезпечує цифрову інтеграцію учасників транспортно-логістичних ланцюгів. Запропоновано гібридну оптимізаційну модель, яка поєднує технології цифрових

двійників, аналітику AI та методи MILP для адаптивного управління транспортно-логістичними процесами в реальному часі.

Технологія управління стійкістю мультимодальних перевезень ґрунтується на концепції замкненого циклу управління, що включає три взаємопов'язані етапи: моніторинг, прогнозування та оптимізацію.

Моніторинг забезпечується цифровими двійниками, які відтворюють реальний стан транспортно-логістичних об'єктів у режимі реального часу.

Прогнозування виконується аналітичними алгоритмами AI для виявлення критичних відхилень і формування сценаріїв реагування.

Оптимізація реалізується на основі моделі MILP, що визначає раціональний розподіл потоків і ресурсів з урахуванням обмежень інфраструктури та часових параметрів.

Цільова функція оптимізації (1) має загальний вигляд:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n (C_i + \beta T_i + \gamma R_i), \quad (1)$$

де C_i — експлуатаційні витрати на i -му сегменті; T_i — час доставки; R_i — ризик порушення (визначений за результатами цифрового моніторингу); β, γ — вагові коефіцієнти часових і ризикових факторів; n — кількість сегментів транспортно-логістичного ланцюга.

Індекс стійкості транспортної мережі визначається виразом (2):

$$R_l = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot \eta_i \cdot (1 - \alpha_i))}{\sum_{i=1}^n (C_i + T_i)}, \quad (2)$$

де W_i — вагомість i -го сегмента; η_i — коефіцієнт надійності; α_i — імовірність затримки або відмови; C_i, T_i — витрати та часові втрати.

Отримані аналітичні залежності дають змогу кількісно оцінити рівень функціональної стійкості транспортно-логістичної системи та визначити ефективність управлінських рішень у цифровому середовищі.

Попередні результати моделювання свідчать про потенційне скорочення простоїв рухомого складу, зменшення часу доставки та підвищення рівня функціональної стійкості транспортної мережі.

Подальші дослідження спрямовані на чисельну реалізацію моделі, розроблення цифрового прототипу технології та її апробацію на мультимодальних вузлах, інтегрованих у мережу TEN-T, з урахуванням вимог інтероперабельності транспортних систем України та ЄС.

[1] Розвиток мультимодальних перевезень в Україні: економічний та інфраструктурний виміри / Ситнік В. В., Пікуліна О. В. // *Review of Transport Economics and Management*. – 2024. – №12(28). – С. 90–100. <https://doi.org/10.15802/rtem2024/327135>. - (Дата звернення: 27. 10. 2025).

[2] Комплексний підхід щодо забезпечення логістичної стійкості мультимодальних перевезень / Горбань А.В., Кучерук Г.Ю. // *Водний транспорт*. – 2025. – №1(42). – С. 203–215. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.23>. - (Дата звернення: 27. 10. 2025).

[3] Hosseini Shekarabi, S., Kiani Mavi, R. & Romero Macau, F. Supply Chain Resilience: A Critical Review of Risk Mitigation, Robust Optimisation, and Technological Solutions and Future Research Directions. *Glob J Flex Syst Manag* **26**, 681–735 (2025). <https://doi.org/10.1007/s40171-025-00458-8>. - (Дата звернення: 27. 10. 2025).

[4] Galkin, A., Samchuk, G., Kopytkov, D. *et al.* Digital twins in logistics: a comprehensive bibliometric analysis for advancing smart cities and sustainable development. *Discov Sustain* **6**, 853 (2025). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01754-0>. - (Дата звернення: 27. 10. 2025).

УДК 004.9:531.7:658.5

ЦИФРОВІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЛЬ У ПІДВИЩЕННІ ТОЧНОСТІ ВИРОБНИЦТВА В ЕПОХУ ІНДУСТРІЇ 4.0

DIGITAL MEASUREMENT SYSTEMS AND THEIR ROLE IN IMPROVING MANUFACTURING ACCURACY IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0

**к.т.н., доц. Г.Л. Комарова¹, проф. (PhD) М. Руцький², Д.М. Сергєєв³,
І.В. Приміський⁴, к.е.н. С.Б. Крамаренко⁵**

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²Технологічно-гуманітарний університет імені Казимира Пуласького в Радомі (Польща)

³ПНВП "МІКРОТЕХ" (м. Харків)

⁴НТУУ КІП ім. Ігоря Сікорського (м. Київ)

⁵Приватна наукова установа «Міжгалузева науково-дослідна установа цифровізації та технологій штучного інтелекту» (м. Київ)

**PhD (Tech.) G. Komarova¹, Prof. (PhD) M. Rucki², D. Sergeev³, I. Prymiskiy⁴,
PhD S. Kramarenko⁵**

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom (Poland)

³"MIKROTECH" (Kharkiv)

⁴Igor Sikorsky KPI (NTUU "KPI") (Kyiv)

⁵Private scientific institution "Inter-branch scientific research institution of digitalization and artificial intelligence technologies" (Kyiv)

У сучасних умовах швидкого розвитку промисловості та впровадження концепцій Індустрії 4.0 цифровізація виробничих процесів стає ключовим фактором підвищення ефективності та якості продукції. Одним із центральних елементів цифрової трансформації виробництва є цифрові вимірювальні системи (ЦВС), які забезпечують високоточний збір, обробку та аналіз метрологічних даних у реальному часі. Ці системи дозволяють підвищити точність вимірювань, забезпечити відтворюваність результатів та інтегрувати метрологію безпосередньо у виробничий цикл.

Цифровізація метрологічних процесів включає впровадження сенсорів для автоматизованого збору даних у реальному часі, інтеграцію з MES/ERP-системами для централізованого управління вимірюваннями, використання цифрових моделей і віртуальних калібрів для зниження витрат та підвищення точності, а також застосування аналітики й штучного інтелекту для

прогнозування, оптимізації калібрування та своєчасного обслуговування обладнання.

В умовах Індустрії 4.0 цифровізація метрологічних процесів відкриває нові можливості для підприємств. Однією з основних переваг є підвищення точності та надійності вимірювань, що напряду впливає на якість продукції та скорочує втрати від браку. Крім того, цифрові технології дозволяють формувати динамічні карти ризиків та невизначеностей, що є критично важливим для управління складними виробничими системами.

На рисунку 1 представлено структуру цифрової вимірювальної системи, де виділено основні елементи: цифрові датчики, системи обробки даних, аналітичні модулі та інтеграцію з виробничими системами.

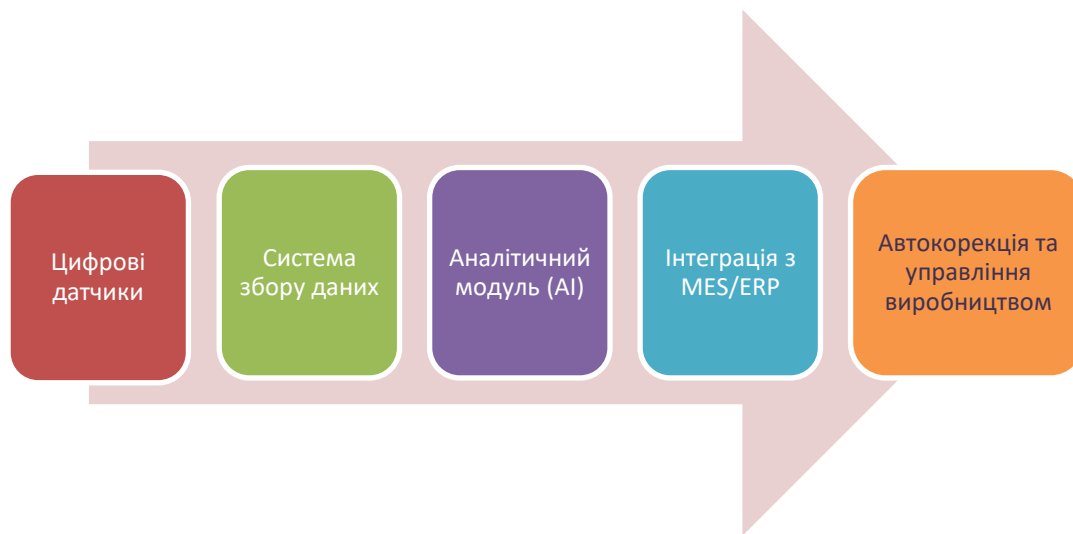


Рисунок 1. Структура цифрової вимірювальної системи

Для наочності впливу цифровізації на метрологічні процеси наведено порівняльну таблицю ефективності традиційних та цифрових методів контролю (табл.1):

Таблиця 1 - Таблиця ефективності традиційних та цифрових методів контролю

Показник	Традиційна метрологія	Цифрові вимірювальні системи
Час збору даних	години	хвилини
Точність вимірювань	середня	висока
Можливість автоматичного аналізу	відсутня	присутня
Прогнозування та оптимізація	обмежена	повна
Інтеграція з виробничими системами	часткова	повна
Витрати на обслуговування	високі	середні

Аналіз показує, що цифрові вимірювальні системи підвищують ефективність метрологічного контролю завдяки швидкості, точності й автоматизації. Вони не лише забезпечують якість продукції, а й сприяють зростанню продуктивності та гнучкості виробництва.

Прикладом практичного застосування цифрових вимірювальних систем є моніторинг геометрії деталей у машинобудуванні, де точність і стабільність параметрів мають вирішальне значення для якості кінцевого продукту. У такій системі високоточні сенсори в режимі реального часу здійснюють безперервний контроль розмірів, форми та розташування елементів деталей під час обробки. Отримані дані автоматично передаються до аналітичних модулів, які за допомогою алгоритмів обробки великих даних та штучного інтелекту виявляють відхилення від номінальних параметрів, аналізують їх причини та формують рекомендації або автоматичні команди для коригування технологічного процесу.

Завдяки інтеграції таких систем із виробничими мережами можливе оперативне налаштування обладнання, що зменшує кількість браку та підвищує ефективність використання ресурсів. Важливою складовою цифрових вимірювальних систем є використання цифрових двійників — віртуальних моделей реальних об'єктів і процесів. Вони дозволяють імітувати виробничі умови, прогнозувати поведінку системи при зміні параметрів, своєчасно визначати потребу в калібруванні вимірювального обладнання та оптимізувати графіки технічного обслуговування.

Таким чином, застосування цифрових вимірювальних систем у машинобудуванні забезпечує перехід від реактивного до прогнозного управління якістю, скорочує витрати на виробництво та підвищує конкурентоспроможність підприємств у межах концепції Індустрії 4.0.

Основні переваги таких систем полягають у швидкому зборі й аналізі даних, високій точності та надійності вимірювань, автоматизації контролю та інтеграції з виробничими інформаційними системами. Вони забезпечують прогнозування відхилень, попередження браку й зниження витрат на обслуговування, що підвищує гнучкість і ефективність виробництва.

У контексті Індустрії 4.0 цифрові вимірювальні системи стають ключовим елементом інтелектуальних виробничих комплексів, забезпечуючи точність, достовірність і своєчасність вимірювань. Їх впровадження оптимізує процеси, підвищує якість продукції та зміцнює конкурентоспроможність підприємств.

[1] Industrial Metrology Trends 2024. Nordic metrology science. Retrieved from <https://nordic-metrology.com/wp-content/uploads/2024/03/Industry-Metrology-Trends-2024-by-Nordic-Metrology-Science.pdf>

[2] Majstorovic, V. D., Durakbasa, N., Takaya, Y., & Stojadinovic, S. (2019). Advanced Manufacturing Metrology in Context of Industry 4.0 Model. 12th International Conference on Measurement and Quality Control- Cyber Physical Issue, 1-11. DOI: 10.1007/978-3-030-18177-2_1 (in English).

[3] Українська стратегія Індустрії 4.0 — 7 напрямів розвитку. URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2019/01/02/ukrainska-strategiya-industrii-4-0-7-napriankiv-rozvtuku/>

[4] Комарова Г.Л., Крамаренко С.Б., Светош В.Ю. Хмарні технології та обчислювальні платформи для ІТС з метою забезпечення ефективної обробки даних. 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 25–27 листопада 2024 р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2024. С.55–58 <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/zbirnik-tez-dopovidej-itt2024-1.pdf>

**РОЗРОБКА ВИМОГ ДО ЦИФРОВОЇ ПЛАТФОРМИ АГРЕГАТОРА ДЛЯ
КООРДИНАЦІЇ ВАНТАЖОВІДПРАВНИКІВ ТА ПЕРЕВІЗНИКА**

**DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR A DIGITAL AGGREGATOR
PLATFORM FOR THE COORDINATION OF FREIGHT SHIPPERS AND
THE RAILWAY CARRIER**

Професор Keshav Dahal¹, професор Андрій Прохорченко², PhD Ravi Koirala¹, PhD Md Shakil Ahmed¹, PhD Михайло Кравченко², магістр В. Бориц²

¹Університет Західної Шотландії (м. Глазго, Шотландія)

²Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків, Україна)

***Professor Keshav Dahal¹, Professor Andrii Prokhorchenko², PhD Ravi Koirala¹,
PhD Md Shakil Ahmed¹, PhD Mykhailo Kravchenko², Master's student V. Borsch²***

¹University of the West of Scotland (Glasgow, Scotland)

²Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

One of the key directions for improving the efficiency of freight railway transportation is the digitalisation of transport planning. Ukraine's railway system is characterised by uneven utilisation of infrastructure, limited capacity on certain corridors, and increasing competition among logistics service providers. Under conditions of martial law and post-war recovery, digital solutions capable of optimising the use of the rolling stock fleet, improving the efficiency of transport planning, reducing idle times at loading points, and enhancing the predictability of movement to destinations become particularly important.

Current approaches to organising rail freight operations in Ukraine require a flexible and transparent model of coordination between shippers and the carrier, ensuring rapid approval of logistics decisions and enabling user self-organisation across the network [1, 2]. Under these conditions, research into the implementation of digital cooperation mechanisms within the transport process that comply with the principles of ride sharing is relevant. Rail transport has the potential to form joint multi-stage routes, but there are no mechanisms in place to ensure interaction and rapid coordination of proposals between several shippers at the same time [3]. A digital platform can serve as an instrument for synchronising loading plans, reducing logistics costs, and increasing the profitability of wagon and locomotive utilisation, which corresponds to the strategic development goals of Ukraine's railway industry.

This study proposes the concept of a digital aggregator platform that integrates the interests of shippers and the carrier and provides two levels of transport coordination [2]. The first level enables the self-organisation of shippers at adjacent stations to generate proposals for step-by-step routes through the exchange of loading plans and the alignment of time parameters. The second level is implemented by the carrier using an optimisation model for determining the transport plan, which considers technical

and technological constraints and ensures the development of a justified decision on the feasibility of routing. The platform includes modules for user registration, searching and booking places within group routes, routing using existing information systems, cost calculation, mechanisms for information exchange, analytics, rating, and user support. Requirements have been developed for the functioning and integration of the platform with ASK VP UZ-Ye, AS MESPPLAN, AS UPPV, and client interaction services [4, 5]. The feasibility of using an automated booking model for empty wagons, as well as ensuring transparency of order statuses for all participants of the technological chain, has been substantiated.

The obtained theoretical results allow us to conclude that the implementation of the digital aggregator platform will reduce logistics costs, shorten decision-coordination time, decrease uneven station loading, and create a mechanism for effective interaction in the format of modern digital services. Future research will focus on the refinement of optimisation algorithms, development of an interface prototype, and testing based on actual grain loading plans.

- [1] Dahal K., Prokhorchenko A., Koirala R., Ahmed Md. S., Parkhomenko L., Kravchenko M., Kharchenko D. Improvement of railway transportation of grain cargoes in ukraine based on the principles of shared logistics. 4th International Scientific and Technical Conference "Intelligent Transport Technologies" (Kharkiv, November 27-28, 2023). Abstracts of reports. – Kharkiv: USURT. 2023. P.77-79.
- [2] Ahmed, M.S., Koirala, R.C., Dahal, K., Prokhorchenko, A. Ridesharing in Rail-Freight Transport and Use of Digital Aggregator: Prospects and Difficulties - A Developer's Perspective. International Conference on Software Knowledge Information Industrial Management and Applications SkimaOpen source preview, 2023, pp. 279–284
- [3] Кравченко М.А. Прохорченко А.В. Удосконалення системи організації вагонопотоків у поїзди на основі моделей перевезень за принципами спільного використання. Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, Україна, 22-23 листопада 2022 р.). Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ. 2022. С. 61-63.
- [4] Укрзалізниця запустить систему розподілу вантажних вагонів. УНІАН інформаційне агенство: веб-сайт. URL: <https://www.unian.ua/economics/transport/2132804-ukrzhaliznitsya-zapustit-sistemu-rozpodilu-vantajnih-vagoniv.html> (дата звернення 09.11.2025)
- [5] Вантажні перевезення. Загальна інформація. Центр транспортної логістики: веб-сайт. URL: <https://uz-cargo.uz.gov.ua/vantazhni-perevezennia/zahalna-informatsiia> (дата звернення 09.10.2025)

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОПРАВНОГО
ДОСТУПУ ДО ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
УКРАЇНИ В УМОВАХ СТРУКТУРНОЇ РЕФОРМИ ГАЛУЗІ**

**CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR ENSURING NON-DISCRIMINATORY
ACCESS TO THE RAILWAY INFRASTRUCTURE OF UKRAINE UNDER
THE CONDITIONS OF STRUCTURAL SECTOR REFORM**

*Д.т.н. А.В. Прохорченко¹, Dipl.-Ing. М. Лаглер², Викладач А.М. Кисельова³,
викладач Ю.С. Мінейкіс³, викладач Т.І. Руденко³*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків, Україна)

²TU Wien, Інститут транспортних наук (м. Відень, Австрія)

³Бахмутський коледж транспортної інфраструктури (м. Харків, Україна)

*D.Sc. A. Prokhorchenko¹, Dipl.-Ing. M. Lagler², A. Kiselyova (teacher)³,
Yu.S. Mineikis(teacher)³, T. Rudenko (teacher)³*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv, Ukraine)

²TU Wien, Institute of Transportation (Vienna, Austria)

³Bakhmut College of Transport Infrastructure (Kharkiv, Ukraine)

Реформування залізничного транспорту України визначене стратегічними документами держави та умовами імплементації Угоди про асоціацію з ЄС. Це вимагає побудови прозорих і конкурентних правил функціонування українського залізничного ринку. Європейська модель структурної реформи залізничного транспорту, що ґрунтується на принципах вертикального розділення, відкритого доступу та недискримінаційної конкуренції, стала орієнтиром для держав-членів ЄС та інших країн світу, і демонструє підвищення ефективності перевезень, зростання інвестицій та покращення якості транспортних послуг[1, 2]. Для України, де історично сформувалась монополізована модель функціонування залізничного сектору, перехід до ринкових механізмів потребує глибокого теоретичного, правового та організаційного опрацювання. Особливої ваги набуває розроблення правил рівноправного доступу всіх потенційних перевізників до інфраструктури загального користування АТ «Укрзалізниця». Це необхідно для формування конкурентного середовища, забезпечення прозорості, покращення сервісу та інтеграції національної мережі до європейського транспортного простору[3].

Для вирішення поставленого завдання в роботі проведено комплексне дослідження ринкових відносин на залізничному транспорті України в умовах структурної реструктуризації галузі. Проведено ґрунтовне дослідження моделей організації ринку залізничних перевезень у країнах ЄС, зокрема Німеччині, Австрії та Польщі. Вивчено практики вертикального розділення, механізми регулювання доступу, функції незалежних перевізників та операторів інфраструктури, принципи тарифоутворення та організації конкуренції на ринку

перевізників [2]. Досліджено нормативно-правову базу України та ЄС, з'ясовано ступінь відповідності українського законодавства європейським нормам та визначено ключові прогалини, що ускладнюють формування конкурентного ринку. Формування концептуальних положень рівноправного доступу ґрунтується на опрацьованому матеріалі, що дозволив сформулювати основні засади створення правил доступу до інфраструктури залізничного транспорту України. Ці засади передбачають дотримання принципів недискримінаційності, забезпечення прозорих правил розподілу пропускнуї спроможності, застосування обґрунтованих і передбачуваних механізмів тарифоутворення на доступ, визначення вимог до безпеки перевезень і відповідальності всіх учасників ринку, а також чітке окреслення функцій незалежного регулятора ринку.

Проведене дослідження підтверджує, що формування конкурентного ринку залізничних перевезень в Україні є стратегічною необхідністю для підвищення ефективності залізничної системи та інтеграції до ЄС. Європейська практика демонструє, що успішна реалізація реформ залежить від чітких та прозорих правил доступу до інфраструктури, наявності незалежного регулятора та усунення монопольного впливу на ринок. Встановлено, що українська нормативно-правова база лише частково відповідає європейським директивам, що створює ризики уповільнення реформ. На основі аналізу чинних законодавчих ініціатив та проєктів нових редакцій Законів України про залізничний транспорт, зокрема проєкту Закону «Про безпеку та інтероперабельність залізничного транспорту України» [4], встановлено потребу усунення ключових прогалин, пов'язаних із відсутністю повного та чіткого опису процедур і правил недискримінаційного доступу до інфраструктури та сервісних об'єктів. Запропоновано інтегрувати в законодавчу базу принципи недискримінаційності, прозорі механізми розподілу пропускнуї спроможності, тарифоутворення, вимоги до безпеки та відповідальності учасників ринку, а також функції незалежного регулятора. Окрему увагу приділено ризикам практики розділення базового закону з окремим урядовим документом у вигляді правил доступу, оскільки така модель створює можливість ручного втручання в фундаментальні засади функціонування ринку, що підриває довгострокову прозорість, правову визначеність та інвестиційну привабливість галузі.

[1] Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, ратифіковано із заявою Законом <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1678-18/paran2> - n2 № 1678-VII від 16.09.2014 URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984_011 (дата звернення: 10.11.2025).

[2] Directive 2012/34/EU of 21 November 2012 establishing a single European railway area (recast) / THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION // Official Journal of the European Communities (OJ L 343/32), 2012.– 46 p.

[3] Regulation (EC) No 1371/2007 of 23 October 2007 on rail passengers' rights and obligations / THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION // Official Journal of the European Communities (OJ L 315/14), 2007.– 28 p.

[4] Верховна Рада України. Проєкт Закону України «Про безпеку та інтероперабельність залізничного транспорту України»: № 14174 від 31.10.2025 р. / зареєстровано в парламенті України. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billinfo/Bills/Card/58624> (дата звернення: 01.11.2025).

ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ITS ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ “SMART CITY”

IMPLEMENTATION OF THE ITS CONCEPT TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE “SMART CITY”

О.М. Ананьєва, д-р техн. наук¹

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

O.M. Ananieva, Doctor of Technical Sciences¹

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Актуальність дослідження обумовлюють сучасні світові тенденції економічного розвитку, такі як: глобальна синхронізація і конвергенція різних областей науки і технологій; транснаціоналізація економіки, глобалізація бізнес-процесів; трансформація сформованих глобальних ланцюжків створення вартості; зміна ключових гравців на глобальних і національних ринках; очікування принципів змін в конфігурації світової енергетичної інфраструктури, транспортних, інформаційних та комунікаційних систем; еволюція типів регіонального та міського розвитку, зокрема, перехід від «індивідуального» до «мережевого» і кластерного типів розвитку; повсюдне поширення Smart Solutions, «розумних» технологій, що підлаштовуються під потреби людини; поява так званих «розумних міст» (Smart City) [1].

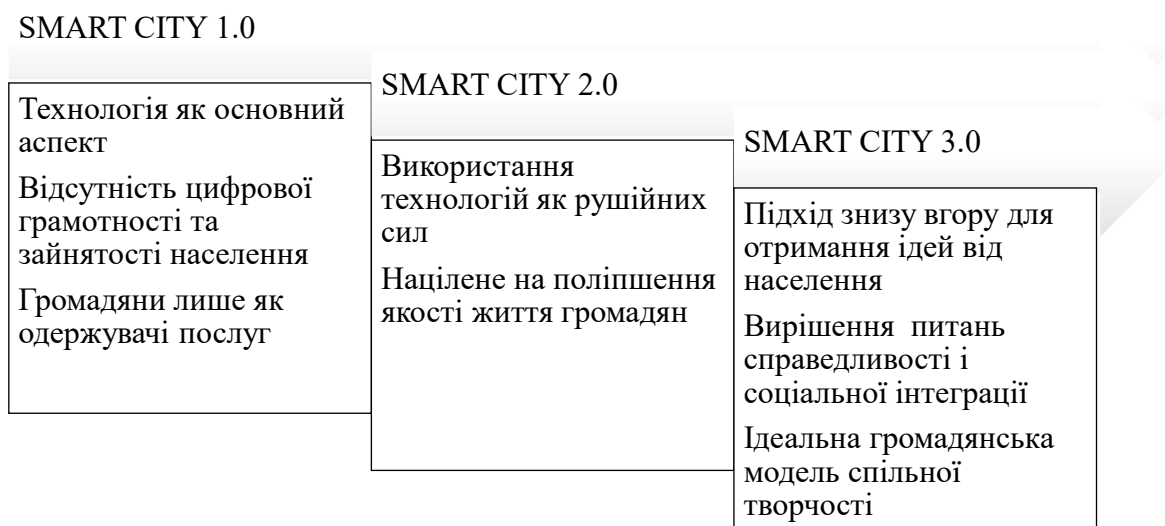


Рис. 1. Основи трьох поколінь розвитку розумного міста [3]

Доцільно розглянути базові технології, задіяні в будівництві розумних міст і які можуть допомогти досягти кінцевої мети перетворення сучасних міст в дійсно розумні міста майбутнього [2].

1) Потужна мобільна мережа за технологією 5G, так як існуючі мережі 3G/4G вже не в змозі впоратися з потребами передових технологій, що використовуються в розумних містах.

2) Інтернет речей. Більша частина всього, з чим сьогодні контактують люди, має датчики, що збирають і передають дані в хмарні сервіси. Датчики вбудовані в кожен фізичний пристрій, включений в екосистему інтернету речей, який з'єднує воедино переносні пристрої, інтелектуальні побутові прилади, медичне обладнання, транспортні засоби, світлофори, зупинки громадського транспорту, системи інтелектуальних розваг, розумні будинки, системи розумного обліку електроенергії, прилади для виявлення витоків шкідливих речовин і забруднення води і повітря.

Сучасні міста стикаються з проблемами перевантаженості транспортної інфраструктури, високого енергоспоживання та низької безпеки пересування. Впровадження концепції інтелектуальних транспортних систем (ITS) у рамках розвитку «розумного міста» дозволяє ефективно вирішувати ці проблеми за рахунок інтеграції інформаційних технологій, Інтернету речей (IoT), сенсорних мереж та аналітичних платформ на базі штучного інтелекту [4]. Основною метою впровадження ITS є підвищення безпеки руху, зменшення заторів, оптимізація графіків руху громадського та приватного транспорту, а також енергозбереження. Сенсори та GPS-модулі, встановлені на транспортних засобах та інфраструктурі, дозволяють відстежувати стан компонентів рухомого складу, колій, світлофорів та інших об'єктів у режимі реального часу. Зібрані дані обробляються аналітичними платформами, що прогнозують потенційні ризики, а також забезпечують диспетчерів інформацією для прийняття оперативних рішень. Інтеграція ITS з транспортною інфраструктурою дозволяє створювати адаптивні маршрути та графіки руху, зменшувати час простою та підвищувати надійність перевезень.

[1] Даншина С., Андреев С. Формування моделі розумного міста з огляду на динаміку змін міської забудови / С. Даншина, С. Андреев. – Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2025. – № 2(32). – с. 16-32.

[2] Севастьянов Р.В. Актуальні проблеми розвитку «розумних міст» (Smart-City) // Вісник Хмельницького національного університету 2021, № 2. – с. 170-175.

[3] ResearchGate. *The three generations of smart cities* [таблиця]. – URL: https://www.researchgate.net/figure/The-three-generations-of-smart-cities-1_tbl1_339832794

[4] Бабаєв В. Ю., Дейкало С. О. Розвиток концепції розумного міста: публічноуправлінський аспект. Актуальні проблеми державного управління. 2024. № 1 (64). С. 27-44.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ІОТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS FOR TRAIN POSITION CONTROL BASED ON THE IOT TO IMPROVE TRAFFIC SAFETY

М.М. Бабаєв, д-р техн. наук¹

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

M.M. Babaiev, Doctor of Technical Sciences¹

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

На сьогодні найвпливовішим фактором розвитку інтелектуальних транспортних систем є важливість предиктивного обслуговування на залізничному транспорті. Аналітичні платформи на базі штучного інтелекту та інтеграція датчиків на базі IoT-рішень дає можливість відстежувати функціональний стан елементів поїздів, колій та систем сигналізації та зв'язку у реальному часі. Така можливість допомагає скоротити час простою, забезпечує ефективне планування робіт з технічного обслуговування [2].

Ключовим напрямом підвищення безпеки, екологічної стійкості та ефективності є цифровізація залізничного транспорту. Інтелектуальні транспортні системи (ITS), побудовані на основі IoT, дозволяють здійснювати моніторинг положення поїздів у режимі реального часу. За допомогою сенсорів, GPS, IMU та інших пристроїв можна отримувати дані про швидкість, прискорення, гальмівні характеристики та стан колії. Впровадження таких систем значно підвищує безпеку залізничного руху: автоматичне виявлення несправностей, своєчасне попередження диспетчерів та дистанційне реагування дозволяють запобігати аваріям [1].

Увага до безпеки пасажирів зумовлює впровадження систем відеоспостереження на базі штучного інтелекту та технологій розпізнавання облич, стимулює ринковий попит. Світові гравці, такі як Siemens Mobility, Alstom, Hitachi Rail, Bombardier Transportation, Thales Group і Huawei Technologies, активно інвестують в інноваційні продукти і технологічні розробки. Значний прогрес на ринку інтелектуальних залізниць обумовлений зростаючим впровадженням технологій штучного інтелекту, Інтернету речей і машинного навчання в інфраструктуру, рухомий склад і експлуатаційні системи. Ці технології дозволяють проводити предиктивне обслуговування, моніторинг у режимі реального часу та покращувати якість обслуговування пасажирів [2].

На локомотивах та вагонах можуть використовуватися GPS-модулі, IMU-датчики, сенсори прискорення, вібрацій, температури та гальмівних систем. На коліях, мостах, стрілках та інших елементах інфраструктури встановлюються датчики стану, які збирають дані про зношення, вібрації та потенційні відхилення

від норми. Інформація передається через комунікаційні мережі, такі як LTE, 5G, Wi-Fi або спеціалізовані залізничні канали, до центрів управління залізницею, що дозволяє підтримувати неперервний контроль навіть у віддалених ділянках шляхів. Обробка даних здійснюється аналітичними платформами, які використовують алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання. Це дозволяє точно визначати місцезнаходження поїздів, прогнозувати відхилення від графіка, виявляти потенційні аварійні ситуації та оцінювати стан інфраструктури. Інтеграція IoT-систем з диспетчерськими центрами дає змогу автоматично коригувати маршрути та швидкість руху поїздів, оптимізувати графіки. Одним із ключових аспектів є предиктивне обслуговування, коли ремонт чи заміна деталей здійснюється на основі прогнозів щодо їхнього стану, що дозволяє уникати аварій і скоротити час простою поїздів.

Інтеграція рішень Інтернету речей стає ключовим трендом та сприяє підвищенню енергоефективності, а також скороченню викидів вуглекислого газу. Оптимізуючи енергоспоживання та просуваючи екологічні методи роботи, залізничні компанії дотримуються глобальних цілей сталого розвитку [3].

[1] Ключев С.О., Цимбал С.В., Сігонін А.Є. Розвиток інтелектуальних транспортних систем. Вісник машинобудування та транспорту №2(18), 2023. с. 80-86.

[2] Future Market Insights. Smart Railways Market Forecast and Outlook (2025–2035). – Future Market Insights, 2025. – URL: https://www.futuremarketinsights.com/reports/smart-railways-market?utm_source

[3] Dhapte A. IoT in Railway Market: Research Report. – Market Research Future, October 2025. – 111 p. URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/iot-in-railway-market-26688?utm_source

УДК 656.2

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ЗАЛІЗНИЧНІЙ ГАЛУЗІ

SYSTEMIC APPROACH TO RISK MANAGEMENT IN THE RAILWAY INDUSTRY

канд. техн. наук Г.Є. Богомазова

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

PhD (Tech.) H. Bohomazova

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Сучасні умови функціонування залізничного транспорту України характеризуються підвищеним рівнем невизначеності, спричиненої як зовнішніми (військові дії, зміни логістичних маршрутів, енергетичні виклики), так і внутрішніми факторами (зношеність інфраструктури, кадровий дефіцит, технічна застарілість рухомого складу тощо). Це зумовлює необхідність впровадження системного підходу до управління ризиками на всіх рівнях залізничного господарства [1].

Метою роботи є розроблення та удосконалення методів управління ризиками, спрямованих на підвищення безпеки руху поїздів, ефективності експлуатації та стійкості транспортної системи України до кризових впливів.

Ефективне управління ризиками на залізничному транспорті неможливе без чіткої типології загроз і небезпек, що виникають у процесі функціонування транспортної системи. Типологізація дозволяє систематизувати ризики за їх походженням, наслідками, масштабом впливу та можливістю управління. Структура ризиків у залізничній галузі охоплює технічні (відмови обладнання, дефекти колії, знос елементів інфраструктури, сигналізації, тягового рухомого складу), організаційні (помилки персоналу, недосконалість управлінських рішень, порушення технологічних процесів та регламентів), інформаційні (кіберзагрози), економічні, соціальні та зовнішньополітичні ризики.

Система управління ризиками має базуватися на принципах проактивного прогнозування, моніторингу стану інфраструктури, впровадження цифрових технологій (системи діагностики, аналітики на основі великих даних тощо). При цьому деякі види ризиків має стохастичний (випадковий) характер, а деякі ризики можуть бути передбачувані, що залежать від організаційних або технічних рішень [2]. Все це необхідно враховувати при побудові системи управління ризиками, визначення пріоритетних напрямів безпеки, планування профілактичних заходів і оптимізації витрат на утримання залізничної галузі.

Враховуючи вищезазначене, у роботі пропонується зважати на існування керованих та некерованих ризиків при управлінні залізничними вантажними перевезеннями. Керовані ризики можуть бути знижені за допомогою відповідних регламентів, інструкцій, систем технічного контролю. Некеровані ризики не піддаються безпосередньому впливу, але їх можливо мінімізувати шляхом створення резервів часу, технічних резервів і планів реагування у непередбачуваних ситуаціях на залізничному транспорті.

Ключовими векторами підвищення управління ризиками є методологічні підходи, що ґрунтуються на аналізі небезпек, оцінці імовірності відмов із використанням статистичних і математичних моделей.

Управління ризиками на залізничному транспорті України в сучасних умовах потребує комплексного підходу, який поєднує технічні, організаційні та інформаційні інструменти. Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію національної системи безпеки руху з європейськими стандартами забезпечення надійності, доступності, ремонтпридатності та безпеки залізничних систем (EN 50126-1:2019, EN 50128:2022, EN 50129:2019) та розвиток цифрових платформ моніторингу ризиків.

[1] Baulina H.S., Bohomazova H.Y., Prodashchuk S.M. Technological proposal for the attention of the risk in the management of the work of a railway station with a port. *Revista De La Universidad Del Zulia*. 3^a época. Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología. 2023. Año 14, N° 39. P. 400 – 414. DOI: 10.46925//rdluz.39.22.

[2] Matusova O., Andryeyeva V., Ahodzinsky V. Risk management models. *Herald of Kyiv National University of Trade and Economics*. 2019. 128(6):75-85. DOI:10.31617/visnik.knute.2019(128)07.

НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ТЕПЛОВОЗАМИ З ГІБРИДНИМ ПРИВОДОМ

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE DIESEL FUEL CONSUMPTION STANDARDS FOR HYBRID LOCOMOTIVES

В.В. Боярко¹, канд. техн. наук Д.В. Бобирь¹

¹Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

V.V. Boyarko¹, D.V. Bobyr¹, PhD (Tech.)

¹Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro)

Тепловози з гібридним приводом є перспективним напрямом розвитку локомотивобудування, що дозволяє знизити витрати палива, рівень викидів та покращити енергоефективність перевезень. Розробці проектів гібридних локомотивів присвячена значна кількість наукових праць, за кордоном уже реалізовані перші проекти гібридних тепловозів. Актуальним завданням при цьому є підвищення їх паливної економічності, що можна досягнути шляхом встановлення науково-обґрунтованих, раціональних норм витрати дизельного палива, які враховують усі види енерговитрат [1].

У роботі проаналізовано методику нормування витрат дизельного палива, яка прийнята на АТ «Укрзалізниця» і викладена у Інструкції по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів.

При аналізі виявлено, що вона не враховує особливостей роботи гібридних силових установок, зокрема варіативність режимів енергоспоживання та рекуперацію енергії.

Запропоновано удосконалити існуючу методику, шляхом введення методів нормування, які базуються на комплексному аналізі енергетичних потоків у гібридному приводі. В удосконаленій методиці буде враховано частку електричної енергії, що генерується чи зберігається, та специфіку навантажень при різних умовах руху [2].

Результати експериментального моделювання будуть направлені на підтвердження теоретичних розрахунків з практичним рівнем споживання дизельного палива, розробку тягово-енергетичних паспортів локомотивів та уточнення додаткових факторів, що впливають на норму витрати дизельного палива тепловозами з гібридним приводом. У загальному очікується, що це призведе до зменшення витрат паливно-енергетичних ресурсів та підвищення екологічності залізничного транспорту.

[1] https://www.researchgate.net/publication/331265356_Assessment_of_battery-hybrid_diesel-electric_locomotive_fuel_savings_and_emission_reduction_potentials_based_on_a_realistic_mountainous_rail_route

[2] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967066121002124?utm_source=chatgpt.com

**ФОРМУВАННЯ ПРОЦЕДУРИ НАДАННЯ ПРІОРИТЕТУ ПРИ
ПРОСУВАННІ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ В ЕКСПОРТНОМУ
СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ РИЗИКІВ**

**FORMULATION OF A PROCEDURE FOR GIVING PRIORITY TO
FREIGHT TRAINS IN EXPORT TRAFFIC UNDER RISK CONDITIONS**

*д.т.н., проф. Т.В. Бутько, Professor T. Horsin,
асп. Д.А. Гайдук, маг. М.О. Голубєв*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*Professor T.V. Butko, Professor T. Horsin, D.A. Hayduk, M.O. Holubiev
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Одним з основних напрямків підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку вантажних перевезень є забезпечення відповідного рівня надійності функціонування як залізничної транспортної системи в цілому, так і окремих транспортно-логістичних ланцюгів, особливо в експортному сполученні.

Як довів аналіз, Україна постачає на зовнішні ринки значні обсяги залізної і марганцевої руди та чорних металів, Так у 2023 році обсяги залізної і марганцевої руди сягнули 35,2%, а чорних металів – 8,1% від загальних експортних перевезень АТ Укрзалізниця. Основними техногенними порожнинами і заглибленнями в Україні є залізрудні шахти і кар'єри Криворізького басейну, також в цьому регіоні зосереджено металургійні комбінати. В основному підприємствами-споживачами цієї продукції є металургійні комбінати і підприємства, що знаходяться в країнах ЄС, а саме до Чехії і Словаччини постачаються залізні і марганцеві руди, а до Польщі, Румунії та Угорщини – чорні метали. Ці перевезення відбуваються виключно технологічними маршрутами. Враховуючи, що підприємства-споживачі мають неперервний цикл виробництва, для зменшення величини запасів сировини на них доцільно організовувати надійні транспортно логістичні ланцюги постачання від кар'єрів і підприємств в Україні (Криворізький басейн) до вантажоотримувачів в країнах ЄС. При цьому, надійність функціонування таких транспортно-логістичних ланцюгів розуміється в контексті збереження вантажів і навколишнього середовища, а також дотримання умов щодо виконання визначеного терміну доставки.

Процес функціонування залізничної транспортної системи супроводжується ризиками виникнення різних транспортних подій, особливо в період воєнного стану. Тому, функціонування вищезазначених транспортно-логістичних ланцюгів доцільно розглядати з позиції ризик-менеджменту, а саме враховувати техногенний і технологічний фактори ризику [1, 2, 3].

При переміщенні вантажних потягів по транспортно-логістичному ланцюгу в межах АТ УЗ, значний вплив набуває техногенний фактор ризику (Н - ймовірність руйнування залізничної інфраструктури), що спричиняє додаткові непродуктивні простой поїздів або надання їм альтернативного маршруту прямування. Ці події призводять до несвоєчасного надходження потягів до прикордонно передавальної станції, яка сама є критичним елементом в структурі транспортно-логістичного ланцюга при кроскордонних перевезеннях, що знаходиться під дією технологічного фактору ризику, який обумовлений тим, що на цій станції вагони, крім технічного і комерційного оглядів, проходять митний, фітосанітарний види контролю, зважування, перестановку візків або перевантаження вантажу у вагони габариту 2Т та інші. Внаслідок цих операцій час простоювання вагонів доцільно вважати випадковою величиною. Як довели проведені статистичні дослідження, цей час підпорядковується законам Ерланга другого або третього порядків. Тобто існує достатньо значна ймовірність Н' того, що увесь технологічний маршрут або значна частина вагонів не зможе вчасно перетнути кордон і встигнути на надану нитку графіку по ЄС.

- закон Ерланга другого порядку

$$H' = 1 - 2\lambda^2 \int_{t_{\text{пр}}}^{t_{\text{кр}}} t e^{-2\lambda t} dt, \quad (1)$$

- закон Ерланга третього порядку

$$H' = 1 - \frac{3\lambda^3}{2} \int_{t_{\text{пр}}}^{t_{\text{кр}}} t^2 e^{-3\lambda t} dt, \quad (2)$$

де λ – інтенсивність потоку вагонів, $\lambda = \frac{1}{\bar{t}_{\text{тр.ваг}}}$,

$\bar{t}_{\text{тр.ваг}}$ – середній час простоювання транзитного вагону;

$t_{\text{пр}}$ – час прибуття потягу на станцію;

$t_{\text{кр}}$ – час виставлення потягу на станцію суміжної країни.

Наслідками технологічного фактору ризику будуть витрати: на непродуктивні простой вагонів – $C_{\text{пр}}(n)$ (n – кількість транзитних вагонів), за невикористання наданої нитки графіку по ЄС – $C_{\text{н}}$, на штрафи за невиконання строку доставки вантажу – $C_{\text{ш}}(n)$.

Щоб уникнути таких наслідків доцільно надавати відносний пріоритет при пропуску і обробці потягів, що прямують в експортному сполученні за величиною наслідків в грошовому еквіваленті:

$$C = H(l_{\text{альт}} - l_{\text{гр}})C_{\text{пкм}} + H'(C_{\text{пр}}(n) + C_{\text{н}} + C_{\text{ш}}(n)), \quad (3)$$

де $l_{\text{альт}}$ – довжина альтернативного маршруту;

$l_{\text{гр}}$ – довжина штатного графікового маршруту;

$C_{\text{пкм}}$ – вартість поїздохілометру по АТ УЗ.

[1] Бутько Т. В., Пархоменко Л. О., Артемов Е. М., Лагно О. С. Методи організації вантажних залізничних перевезень на основі ризик-орієнтованих технологій. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. № 4. С. 38-45. DOI: 10.18664/iksz.v28i4.296468.

[2] Бутько Т. В., Пархоменко Л. О., Тарасов К. О., Гайдук Д. А. Формалізація процедури надання альтернативного маршруту швидкісним пасажирським поїздам на основі ризик-менеджменту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. 1. Р. 31-37. DOI: 10.18664/iksz.v28i1.276341.

[3] Пархоменко Л. О., Прохоров В. М., Калашнікова Т. Ю., Кофанов О. В. Формування моделі ризику в задачі забезпечення дотримання строку доставки вантажів в умовах невизначеності із використанням теорії нечітких

УДК 656.072.2

**ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО
ПЕРЕСАДОЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
СТАНЦІЇ ТА ВОКЗАЛУ Х-ПАС**

**APPROACHES TO THE FORMATION OF AN INTEGRATED
PASSENGER TRANSFER COMPLEX BASED ON THE RAILWAY
STATION AND THE X-PASS STATION**

Т.В. Бутько, д.н.т., професор., Ю.І. Ящук, аспірант.

Д.В. Трофименко, магістрант.

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

T.V. Butko PhD (Teh), Y.I. Yashuk, D.V. Trofymenko

Ukrainian state university of the railway transport, (Kharkiv)

Проведений аналіз країнах ЄС, США, Великої Британії, Чехії свідчить про те, що основною тенденцією в цих країнах є перехід універсальних залізничних вокзалів у статус інтегрованих залізничних пересадочних комплексів [1 - 3]. Такий пересадочний комплекс виконує функції об'єднання різних видів транспорту: залізничного, авіаційного міського включно метрополітеном, автобусні термінали міжнародного сполучення та забезпечує найбільш швидку пересадку пасажирів, що запобігає ефекту створення неконтрольованого натовпу, особливо в умовах воєнного стану. Концепцію формування інтегрованого пасажирського пересадочного комплексу (ІППК) на основі станції і вокзалу Х-пас запропоновано реалізувати у вигляді двох аспектів: удосконалення інфраструктурної складової та технологічної складової, що представляє управління пасажиропотоками.

Залізнична станція і вокзальний комплекс Х-пас потребує переосмислення інфраструктури та підходів з організації підведення громадського транспорту під поїзди, які прибувають та відправляються з головної пасажирської станції міста.

Наведено основні пропозиції, щодо покращення інфраструктурної складової запропонованого ІППК. Першим етапом пропонується будівництво нового терміналу на місці готелю Експрес, до функціоналу якого увійде: безпечний підземний логістичний центр, основним завданням якого є керування ІППК – це службовий простір якого розрахований на одночасне управління залізничною станцією та міським транспортом, та пов'язано з про

У підземному логістичному центрі буде запроектовано місце під цілодобове розміщення працівників громадського транспорту та залізниці для нічних

чергувань та позаштатних ситуацій. Другим етапом запропоновано перенесення існуючого трамвайного кола на новому місці з однією платформою висадки та трьома платформами для посадки – для перерозподілу пасажиропотоку та зменшення дистанції між залізничною станцією та наземним громадським транспортом. Виходи з трамвайних платформ розташовані таким чином, щоб бути рівновіддаленими до вокзальних кас залізничної станції, південного пішохідного тунелю, пішохідного мосту, а також інклюзивного маршруту, який в рівень з головкою рейки підходить до кожної з шести залізничних платформ. Переглянуто розташування трамвайних зупинок та колій відносно осі прилеглих до ІППК вулиць. Поруч з трамвайною кінцевою зупинкою запропоновано розташувати кінцеві зупинки для міських автобусних та перспективних тролейбусних маршрутів. Нова міжнародна автостанція запроектована на місці існуючого трамвайного кола, та включена до нового корпусу пересадочного комплексу.

Крім того, в умовах військового стану, необхідно забезпечити комфорті та безпечні умови очікування поїздів та громадського транспорту.

З метою підвищення рівня безпеки ІППК повинен мати ситуаційний центр для швидкого реагування на позаштатні ситуації. Ситуаційний центр включає в себе медичний пункт, пожежну частину, відділ поліції. Територія пересадочного комплексу, має бути максимально озеленена – для природнього закриття пішохідних маршрутів, які видно з дронів-розвідників. ІППК має бути обладнана сильними засобами радіоелектронної боротьби, мати спеціальні маршрути під'їзду спеціальної та військової техніки, а також евакуаційні маршрути.

З метою підвищення надійності і комфорту залізничних пасажирських перевезень проведено оцінку параметрів пасажиропотоків в системі інтегрованого пересадочного комплексу в умовах станції і вокзалу Х-пас та отримано динаміки розподілу погодинної інтенсивності кількості пасажирів, що прибули міжрегіональними і приміськими поїздами. Доведено існування ранкового і вечірнього ефектів, що призводять до збільшення інтенсивності пасажиропотоків приблизно на 20%.

Сформовано оптимізаційну математичну модель функціонування такого інтегрованого пасажирського пересадочного комплексу при взаємодії із міським транспортом. У якості цільової функції обрано суму часів перебування пасажирів на кожному елементі системи. Система обмежень включає умову збереження пасажиропотоку та технологічні параметри надходження поїздів.

Для управління пасажиропотоками на елементах системи використано теорію динаміки натовпу. При цьому процес надходження і пересування пасажирів будівлею вокзалу представлено як хвилеподібний, який генерується прибуттям кожного потягу. Для формалізації цього процесу запропоновано використання рівняння Шредінгера у форматі 2D, а обмеженнями виступає план будівлі вокзалу. Використання такого підходу є основою формування «розумної» системи орієнтації пасажирів на вокзалі, що зменшує їх час перебування в ньому.

Для управління пасажиропотоками на привокзальній площі запропоновано використання комплексу математичних моделей: це – модель руху пасажирів до глобальної мети (зупинки міського транспорту) на основі рівняння Ейконала та модель синхронізації інтенсивності пасажиропотоків із часом підводу і місткістю міського транспорту на основі теорії розкладу.

Сформований комплекс математичних моделей, як основа СППР на АРМах відповідних працівників, запропоновано організувати на системі розділених СППР під управлінням єдиного пасажирського інтермодального оператора.

[1] Wand W., Huand H. The Optimization Study on Passenger Organization at Passenger Station Based on CAS. Transportation Logistics Engineering Institution, HoHai University 210098, P.R. China PHD of Business DOI10.2991/iske.2007.166. School. 2007.

[2] Бутько Т. В., Прохорченко А. В., Журба О. О. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадки на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2010. № 2. С. 57-61.

[3] Журба О. О. Формування моделі узгодження графіка підводу рухомого складу різних видів транспорту до залізничного вокзалу.

УДК 656.2

ФОРМУВАННЯ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВАНТАЖНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

FORMATION OF RISK-ORIENTED TECHNOLOGIES IN RAILWAY FREIGHT TRANSPORTATION

д.т.н., професор, Т.В. Бутько,

магістр А.В. Іванчо, магістр М.В. Іванчо

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Professor, Doctor of Technical Sciences, Butko T.V.,

Master Ivancho A.V., Master Ivancho M.V.

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Один із основних напрямків підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на ринку вантажних перевезень є забезпечення надійності функціонування залізничної транспортної системи. При цьому надійність розуміється в контексті: збереження вантажу і навколишнього середовища під час перевезення, а також дотримання умов щодо визначеного строку доставки.

Процес функціонування залізничної транспортної системи супроводжується ризиками виникнення різних транспортних подій, особливо в період воєнного стану. Як відомо, номенклатура вантажів, що перевозяться залізницею, є достатньо великою і включає значну кількість небезпечних вантажів (НВ), що можуть становити загрозу як для залізничної інфраструктури, так і оточуючого середовища та впливати на зменшення пропускної спроможності, невиконання

строків доставки вантажів. Саме це спонукає в процесі операційної діяльності оперативного і диспетчерського персоналу спиратися на ризик-орієнтовані технології при переміщенні вантажів [1,2,3]. Такі умови сьогодення вимагають розвивати й адаптувати апарат ризик-менеджменту до технології роботи залізничного транспорту як у середині країни так й при кроскордонних перевезеннях вантажів.

З метою організації вантажних залізничних перевезень на засадах ризик-орієнтованих технологій і зменшення впливу «людського» фактору в процесах прийняття рішень оперативним і диспетчерським персоналом необхідною умовою є формалізація конкретного технологічного процесу у вигляді оптимізаційної математичної моделі, що адекватно відтворює дану технологічну операцію, або технологічний процес в цілому. Цільовою функцією моделі, як правило, виступає сума експлуатаційних витрат на виконання низки технологічних операцій і ризикової складової, яка представляє добуток імовірності виникнення ризику та його наслідків. Система обмежень математичної моделі відбиває технічні і технологічні умови проведення технологічних операцій.

Спираючись на концепцію ризик-менеджменту, авторами сформовано оптимізаційну математичну модель стохастичного програмування процесу перевезення залізної руди і металів територією України і далі через західні кордони до країн ЄС. Фактор ризику прийнятий як технологічний, а саме виставлення потягу на колію шириною 1435мм відбулось у такий час, коли він не встигає на нитку графіку, наданою для перевезення по ЄС.

Також відповідно до [1] адаптовано ризик-орієнтовану оптимізаційну модель до умов конкретної сортувальної станції при наявності на ній вагонів із небезпечними вантажами (НВ). Для зменшення наслідків техногенного фактору ризику у випадку, коли один із вагонів з НВ може вибухнути, пропонується розставляти такі вагони на колії, які знаходяться на достатній відстані від інших вагонів з НВ. Результатом рішення математичної моделі є змінно-добовий план роботи сортувальної станції.

Сформовані оптимізаційні математичні моделі на основі ризик-орієнтованих технологій рекомендовано інтегрувати на АРМи відповідних оперативних працівників АТУЗ у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР).

[1] 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 / Д. М. Чехунов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2018. - № 1. - С. 35-41. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ikszt_2018_1_7

[2] Loud Decision Support System for Risk Management in Railway Transportation. Górka, W., Bagiński, J., Socha, M., Steclik, T., Leśniak, D., Wojtas, M., Flisiuk, B. and Michalak, M. In Proceedings of the 10th International Conference on Software Technologies (ICSOT-2019). 2019. P. 475-482. DOI:5220/0007837904750482.

[3] Lavrukhin O. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods / O. Lavrukhin, A. Kovalov, V. Schevchenko, A. Kyman, D. Kulova // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2019. - № 2(3). - С. 25-31. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_2%283%29__4.

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ПАСАЖИРОПОТОКІВ
У МЕТРОПОЛІТЕНІ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**INTELLIGENT SYSTEM FOR OPTIMIZATION OF PASSENGER FLOWS
IN THE METROPOLITAN BASED ON SIMULATION MODELING**

*к.т.н., ст. викл. І.О. Воронко
Національний транспортний університет (м. Київ)*

*Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer I.O. Voronko
National Transport University (Kyiv)*

Зростання пасажиропотоків у великих містах, насамперед у метрополітені, зумовлює потребу у впровадженні інтелектуальних технологій для підвищення ефективності управління транспортними системами. Адже системи метрополітену характеризуються високою інтенсивністю пасажиропотоків та потребують оптимізації процесів перевезення, підвищення безпеки й комфорту пасажирів. Одним із найперспективніших напрямів розвитку є застосування методів імітаційного моделювання [1-3] для дослідження та оптимізації потоків руху пасажирів.

Метою дослідження є розроблення інтелектуальної системи оптимізації пасажиропотоків у метрополітені, побудованої у програмному середовищі AnyLogic [4, 5], що забезпечує можливість відтворення реальних умов функціонування станцій, аналізу впливу різних факторів та прогнозування поведінки пасажирів.

У межах роботи розроблено модель станції метро «Вокзальна» Київського метрополітену, яка дозволяє відстежувати переміщення пасажирів, роботу ескалаторів, турнікетів та платформ. Застосовано методи дискретно-подійного та агентного моделювання [6], що дали змогу відобразити взаємодію пасажирів як окремих агентів у складній динамічній системі.

Встановлено, що оптимізація просторового розташування елементів інфраструктури (бар'єрів, інформаційних табло, зон очікування) дозволяє скоротити середній час перебування пасажирів у станційному просторі на 12–15 %. Результати моделювання свідчать про те, що раціональне керування потоками пасажирів може суттєво зменшити ризики перевантаження критичних ділянок станцій і підвищити загальний рівень безпеки.

Інтелектуальна система в середовищі AnyLogic забезпечує гнучкість у зміні сценаріїв, можливість інтеграції з реальними сенсорними системами та використання для прийняття управлінських рішень у транспортних відомствах. Імітаційна модель дозволяє проводити численні експерименти без ризику для

реальної інфраструктури, що є особливо важливим за умов воєнного стану, коли натурні дослідження обмежені або неможливі.

Завдяки використанню інтелектуальних методів обробки даних і моделювання запропонована система може адаптуватися до змін інтенсивності пасажиропотоку, враховувати поведінкові особливості пасажирів та прогнозувати виникнення затримок. Це дає можливість не лише оптимізувати пропускну спроможність станцій, а й підвищити комфорт і безпеку користувачів.

Отримані результати мають практичну цінність для інженерів, розробників систем автоматизованого керування транспортними мережами та органів міського планування, оскільки забезпечують науково обґрунтований підхід до проектування так званих «розумних» транспортних вузлів.

Таким чином, впровадження інтелектуальних систем керування на базі імітаційного моделювання створює основу для розвитку цифрових транспортних інфраструктур, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку міського середовища та концепції «Smart City» [1-3, 6].

[1] Литвин В. В. Технологія візуальної симуляції пасажиропотоків у сфері громадського транспорту Smart City / В. В. Литвин, М. І. Бублик, В. А. Висоцька, Ю. Р. Мацелюх // Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2021. - № 4. - С. 106-121.

[2] Воронко І.О. Впровадження перспективних інтелектуальних технологій на залізничному транспорті /І. О. Воронко//Прогресивні технології засобів транспорту: перша міжнародно науково-технічна конференція, мат. доп. конф., 23-24 вересня 2021 р., м. Миргород. - Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Вип. 1.- С. 44-46.

[3] Н. Б. Чернецька-Білецька, І. О. Баранов, М. В. Мірошникова, і С. В. . Бережна, «Оптимізація пасажирських перевезень на основі організації однорідного приміського пасажиропотоку», ВМТ, вип. 18, вип. 2, с. 183–189, Лют 2024.

[4] Володарець М. В. Особливості застосування AnyLogic для вирішення задач транспортного моделювання / Матеріали міжнародної науково-методичної Інтернет-конференції «Проблеми математичної освіти: виклики сучасності (2018)»: збірник матеріалів. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – С. 280-283.

[5] AnyLogic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.anylogic.com>.

[6] Білецька А.В., Воронко І.О. Розробка імітаційних моделей залізничних транспортних систем з метою їх оптимізації / II International scientific and practical conference for applicants for higher education, of educational and scientists 29-30 november 2023 volume 2. Kyiv, 2023. - Pp. 155-158.

АВТОМАТИЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES IN TRANSPORT SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*Канд. техн. наук І.О. Воронко, бакалавр О.І. Журенко,
Національний транспортний університет (м. Київ)*

*Candidate of Technical Sciences I. O. Voronko, bachelor O. I. Zhurenko,
National Transport University (Kyiv)*

Управління сучасними транспортними системами потребує високого рівня автоматизації, адаптивності та здатності до швидкого реагування на змінні умови. Зростання обсягів перевезень, урбанізація, вимоги до екологічності та безпеки — усе це формує запит на інтелектуальні рішення, серед яких ключову роль відіграє застосування інтелектуальних технологій, а саме штучний інтелект (ШІ) [1].

У роботі розглянуто сучасні підходи до автоматизації бізнес-процесів у транспортній галузі із застосуванням технологій ШІ. Проаналізовано ключові методи, їх переваги та виклики при впровадженні в логістиці, управлінні перевезеннями, обслуговуванні інфраструктури та взаємодії з клієнтами. Особливу увагу приділено машинному навчанню, обробці природної мови, агентним системам і генеративним моделям [2].

Основні технології ШІ в транспортних системах [2-5]:

Машинне навчання (ML) — прогнозування попиту, оптимізація графіків руху, виявлення аномалій у роботі транспорту.

Обробка природної мови (NLP) — автоматизація обробки звернень пасажирів, аналіз скарг, генерація відповідей у чат-ботах.

Генеративні моделі (LLM) — створення динамічних інструкцій, автоматичне формування звітності, сценарії реагування на інциденти.

Агентні системи (Agentic AI) — координація автономних транспортних засобів, управління логістичними ланцюгами в реальному часі.

Інтелектуальна RPA — автоматизація документообігу, облік вантажів, обробка замовлень на перевезення.

Приклади впровадження технологій штучного інтелекту в транспортні системи демонструють їхню ефективність у різних сферах галузі. У міському транспорті, зокрема в Києві, реалізовано системи прогнозування часу прибуття громадського транспорту на зупинки, що базуються на методах машинного навчання та GPS-даних [6]. У логістичних процесах компанії застосовують ШІ для оптимізації маршрутів вантажних перевезень, враховуючи дорожню ситуацію, погодні умови та витрати пального [2]. У сфері залізничних перевезень

впроваджуються автоматизовані системи моніторингу технічного стану вагонів і залізничної інфраструктури із використанням технологій комп'ютерного зору та IoT-сенсорів [4, 5]. В аеропортах штучний інтелект, зокрема методи обробки природної мови, забезпечує автоматизовану обробку звернень пасажирів у чат-ботах, а також допомагає формувати адаптивні розклади рейсів на основі аналізу історичних даних [3].

До переваг впровадження ШІ можна віднести підвищення точності планування маршрутів і графіків, зменшення витрат на паливо та персонал, прискорення обробки замовлень і звернень, зниження кількості помилок у документації а також гнучкість у реагуванні на зміни трафіку або погодних умов.

Попри значні переваги, впровадження технологій штучного інтелекту у транспортну сферу супроводжується низкою важливих викликів. Одним із ключових є забезпечення належного рівня безпеки даних, що включає застосування сучасних методів шифрування, контроль доступу та дотримання вимог чинного законодавства у сфері захисту інформації [1]. Додатковою складністю є необхідність значних інвестицій, пов'язаних із модернізацією ІТ-інфраструктури, підготовкою персоналу та адаптацією існуючих бізнес-процесів до нових технологічних рішень [2].

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) являють собою комплекс апаратних, програмних і комунікаційних технологій, які забезпечують ефективне управління транспортними потоками, підвищення безпеки руху та оптимізацію використання ресурсів. Завдяки об'єднанню сенсорних мереж, цифрових платформ та інтелектуальних алгоритмів такі системи підтримують прийняття оперативних і стратегічних рішень у транспортній інфраструктурі [5, 6].

Серед найбільш перспективних напрямів розвитку ІТС варто відзначити автономний транспорт та цифрові двійники. Автономні транспортні засоби — безпілотні автобуси, вантажівки та дрони — можуть координуватися за допомогою агентних систем, що забезпечують їх узгоджений рух і безпечну взаємодію в реальному часі [4]. Не менш важливими є цифрові двійники — віртуальні моделі елементів транспортної інфраструктури, які дають змогу тестувати різні сценарії функціонування системи, прогнозувати навантаження та планувати подальший розвиток мережі на основі симуляцій та аналітичних даних [3].

Автоматизація бізнес-процесів у транспортній сфері за допомогою ШІ є потужним інструментом підвищення ефективності, безпеки та адаптивності систем. Успішне впровадження потребує стратегічного підходу, що поєднує технології, дані, персонал і культуру інновацій. Перспективними напрямками є розвиток агентних систем для управління автономним транспортом і використання генеративних моделей для підтримки оперативних рішень.

[1] Андрущенко К., Марчук С. Вплив ШІ на трансформацію бізнес-процесів підприємств. – К.: Наук. вісник НТУ, 2024. – 12 с.

[2] Khayatbashi S., Ghasemi M., Rahimi A. AI-Enhanced Business Process Automation: A Case Study in Insurance – Cornell University, 2025. – 18 p.

[3] Beheshti A., Rezaei M., Liu D. ProcessGPT: Transforming BPM with Generative AI. – Sydney: UNSW, 2023. – 22 p.

- [4] Azarijafari M., Beheshti A., Ghasemi M. Agentic AI for Business Process Development. – Sydney: UNSW, 2025. – 19 p.
- [5] Воронко І.О. Впровадження перспективних інтелектуальних технологій на залізничному транспорті / Прогресивні технології засобів транспорту: перша міжнародно науково-технічна конференція, мат. доп. конф., 23-24 вересня 2021 р., м. Миргород. - Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Вип. 1.- С. 44-46.
- [6] AI in Transport & Logistics: Trends and Challenges. – Лондон: Deloitte UK, 2025. – 36 с. URL: <https://www2.deloitte.com>.

УДК: 656.2:656.8:620.9

**УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ВАНТАЖІВ
ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ
В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

**IMPROVING MANAGEMENT OF INTERNATIONAL RAILWAY FREIGHT
TRANSPORTATION IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY**

Є.О. Герасименко, А.А. Воробйова, О.О. Голубенко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

E.O. Gerasimenko, A. A. Vorobyova, O.O. Golubenko

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

В умовах глобалізації міжнародного транспорту, швидкої зміни технологій та економічних умов, управління перевезеннями вантажів залізничним транспортом у міжнародному сполученні набуває особливої важливості. Залізничні перевезення є одним із основних елементів транспортної інфраструктури, яка забезпечує ефективну логістику вантажів між країнами та континентами, однак у сучасних умовах невизначеності, спричинених політичними, економічними та природними факторами, виникає потреба в удосконаленні управлінських підходів до організації перевезень. Це вимагає впровадження нових концепцій, технологій та методів управління для забезпечення оптимальних умов перевезень. [1].

Прогнозування та моделювання є важливими інструментами, що дозволяють забезпечити ефективне управління перевезеннями вантажів, особливо в умовах невизначеності. У міжнародному залізничному транспорті вони використовуються для передбачення майбутніх тенденцій у перевезеннях, розрахунку потенційних ризиків, оптимізації маршрутів і управління ресурсами, моделювання залізничних перевезень допомагає також оптимізувати вибір маршрутів і розподіл вантажів. Моделі, які враховують різні фактори, такі як час, відстань і митні процедури, дозволяють знизити витрати на транспортування вантажів і зменшити затримки [2], крім того, моделювання ризиків, таких як погодні умови чи політичні фактори, дає змогу більш точно оцінювати терміни доставки і адаптувати плани перевезень у випадку непередбачуваних ситуацій [3].

У результаті аналізу можна виділити основні типи моделювання транспортних процесів, такі як: моделювання логістичних ланцюгів, що дозволяє оцінити, як різні елементи ланцюга постачання (залізничні станції, порти, митниці) взаємодіють між собою, і який вплив має кожен з елементів на загальний процес перевезень, та оптимізувати ланцюги постачання для покращення розподілу вантажів між різними видами транспорту; моделювання маршруту перевезення, що оптимізує вибір маршруту для перевезення вантажів, враховуючи різні фактори, такі як час, відстань, митні процедури, наявність транспортних засобів, а також ризики, пов'язані з політичними чи природними факторами; моделювання затримок та непередбачуваних подій для більш точного прогнозування термінів доставки і виявлення слабких місць у процесі перевезення.

При цьому в транспортному моделюванні використовуються основні типи моделей: лінійні та нелінійні моделі оптимізації, для розрахунку оптимальних шляхів і розподілу вантажів та визначення мінімальних витрат на перевезення при заданих обмеженнях; системи для управління ризиками, для оцінювання ризиків, пов'язаних з перевезеннями, а також розробки стратегії для їх мінімізації; імітаційні моделі, для відтворення реальних процесів, що дає можливість тестувати різні стратегії перевезень і вибирати найбільш ефективні.

Прогнозування і моделювання в управлінні залізничними перевезеннями вантажів є надзвичайно важливими інструментами для оптимізації операцій, зниження витрат, а також адаптації до змінних умов, та дозволяють більш ефективно планувати використання ресурсів, передбачати зміни попиту та реагувати на ризики, що виникають через зовнішні фактори. Системи прогнозування та моделювання, застосовані в умовах невизначеності, допомагають забезпечити стабільність і ефективність перевезень у міжнародному сполученні.

[1] Woxenius, J., Bergqvist, R. Multimodal Transport and Supply Chain Integration: A Case Study on Rail Freight. *Transport Policy Journal*, 2020. Volume 26. Pages 45–56.

[2] Li, X., Wang, H. Challenges and Solutions in International Rail Transport: A Case of China-Europe Express. *Journal of Logistics and Transport*, 2019. Volume 34. Pages 112–120.

[3] European Commission. Rail Freight Corridors in Europe: Developments and Future Prospects. Brussels: European Union. 2018. Pages 98.

МЕТОД СЦЕНАРІЇВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

SCENARIO METHOD AS A TOOL FOR FORECASTING TRANSPORT VOLUMES

І.С. Демченко, Д.Ю. Ляпін, канд. техн. наук Т.В. Головка
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

I.S. Demchenko, D.Yu. Lyapin, PhD (Tech.), T.V. Golovko
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Прогнозування обсягів перевезень є складним процесом, що вимагає врахування значної кількості економічних, політичних, інфраструктурних та технологічних чинників. Це особливо актуально для транспортно-логістичного сектору, де обсяги вантажопотоків можуть істотно змінюватися під впливом глобальних криз, торговельних конфліктів, змін у структурі виробництва та споживання, а також інновацій у сфері транспортних технологій. У цьому контексті метод сценаріїв набуває особливої цінності, оскільки дає змогу врахувати множинність можливих траєкторій розвитку подій і підготувати термінали до різних станів майбутнього. Сутність методу сценаріїв полягає у систематичному формуванні альтернативних можливих станів майбутнього шляхом поєднання аналітичних підходів, експертних оцінок та моделювання взаємодії ключових чинників середовища. Це інструмент, що дозволяє побачити різноманіття потенційних варіантів розвитку подій та заздалегідь підготуватися до них. В основі методу лежить припущення, що майбутнє не є одновимірним продовженням наявних тенденцій, а має множинну структуру, у якій різні траєкторії можуть залежати як від передбачуваних, так і від неочікуваних чинників [1].

Метод сценаріїв складається з кількох фундаментальних компонентів. Першим елементом є ідентифікація рушійних сил, які впливають на обсяги перевезень. На цьому етапі проводиться глибинний аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища шляхом побудови переліку факторів, що можуть мати як прямий, так і опосередкований вплив. Такі сили поділяються на передбачувані, які мають усталену тенденцію, та критичні невизначеності, для яких важко визначити напрямок і силу впливу.

Другим етапом є визначення ключових невизначеностей і побудова сценарної матриці. З усіх зовнішніх факторів вибирають ті, що характеризуються високою непередбачуваністю та значним впливом на систему вантажних перевезень. Далі на основі двох або трьох найбільш важливих невизначеностей формують

сценарну матрицю, де кожен сценарій відповідає окремій комбінації можливих станів цих чинників.

Третій етап передбачає опис логіки розвитку сценаріїв. На цьому кроці здійснюється якісний аналіз взаємодії факторів у межах кожного сценарію. Кожен варіант майбутнього має власну внутрішню логіку від стартових умов і рушійних сил до кінцевих результатів. Розробляються описи можливого перебігу подій, які формують наратив, який перетворює абстрактні комбінації факторів на цілісні історії розвитку логістичного ринку.

Четвертим етапом є перехід від якісного сценарного опису до кількісного прогнозування, де для кожного сценарію формуються окремі прогнози обсягів перевезень: очікувані вантажопотоки, зміни у структурі вантажів, сезонні коливання, пропускна спроможність. На цьому етапі використовують як класичні методи статистичного аналізу, так і моделі машинного навчання, однак їхні параметри змінюються відповідно до логіки конкретного сценарію.

Особлива цінність методу сценаріїв полягає у тому, що він забезпечує підготовленість до невизначеності і дозволяє ідентифікувати вразливі місця, оцінити стійкість системи та оперативно реагувати на потенційні ризики. Це не лише покращує прогнозування, а й формує стратегічне бачення, необхідне для планування інвестицій, модернізації інфраструктури, вибору технологічних рішень або диверсифікації логістичних потоків [2].

У міжнародних вантажних перевезеннях метод сценаріїв допомагає оцінити широкий спектр можливостей від різкого збільшення обсягів перевезень через зміцнення світової торгівлі до суттєвого падіння вантажопотоків унаслідок глобальних криз, моделювати альтернативні варіанти розвитку подій, зокрема появу нових логістичних вузлів, зміну маршрутів транспортування, інфляційний тиск на контейнерні перевезення та нерівномірне відновлення регіональних ринків [3].

Таким чином сутність методу сценаріїв полягає у поєднанні аналітики, експертної інтуїції та моделювання складних систем, що забезпечує високу гнучкість прогнозів, дозволяє підготуватися до впливових подій і формує стратегічну основу для підвищення стійкості логістичної інфраструктури в умовах глобальних викликів.

[1] Schoemaker, P. J. H. Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. *Sloan Management Review*. 1995. Volume 36, No. 2, Pages 25-40.

[2] Schumacher, P. Strategic Foresight and Scenario Planning in Logistics and Supply Chain Management. Berlin: Springer, 2011, Pages 280.

[3] OECD. Logistics Resilience and Supply Chain Scenarios under Global Disruptions. Paris: OECD Publishing, 2020, Pages 120.

**ОПТИМІЗАЦІЯ ВАГОНОПОТОКІВ У МІЖНАРОДНОМУ
СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ
СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

**OPTIMIZATION OF WAGON TRAFFIC OF INTERNATIONAL
TRANSPORTATION IN CONDITIONS OF LIMITED RAILWAY
INFRASTRUCTURE CAPACITY**

*П.В. Долгополов, канд. техн. наук., С.С. Осаковський, Р.І. Хлебик
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*P. Dolgoplov, PhD (Tech.), S. Osakovskiy, R. Khliebyk
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

На залізничному транспорті актуальною була і залишається задача оптимізації перевізного процесу в умовах закриття колій для проведення ремонтних робіт або під час пошкоджень залізничної інфраструктури. В таких умовах є необхідним більш ефективне використання пропускної спроможності мережі для прискорення доставки вантажів. Особливо важливим ця задача стає, в умовах прогнозованого збільшення поїздопотоків на окремих напрямках [1], коли залізниця масово транспортує вантажі в міжнародному сполученні.

При дослідженнях побудовано математичну модель базового полігону, який об'єднує взаємопов'язані залізничні напрями, по яким масово перевозяться вантажі у міжнародному сполученні. Полігон забезпечує транспортування потоку міжнародних вантажів через прикордонні станції Чоп, Ужгород, Вадул-Сирет, Мостиська. Але, не дивлячись на порівняно густу мережу базового залізничного полігону, вона має багато одноколійних ліній.

Досліджено, що при закритті колій перегонів диспетчерський апарат переспрямовує поїздопотоки по не завжди економічно вигідним або перевантаженим маршрутам. Інші поїзди зупиняють на станціях, що знижує швидкість перевезень [2].

Для оптимізації поїздопотоків при закритті ділянок при дослідженнях розроблена модель пропуску поїздів по паралельним маршрутам. Модель базується на теорії графів, зокрема, методі Форда-Фалкерсона. Згідно конфігурації базового залізничного полігону побудовано зважений граф $H(V, E)$ з пропускною спроможністю $c(u, v)$ його розрізу і потоком $f(u, v)$ для ребер з u до v .

При знаходженні максимального потоку з джерела s до стоку d на кожному кроці моделювання діють відповідні умови, основні з яких мають вигляд

$$f(u, v) \leq c(u, v), \quad (1)$$

а також для вхідного $f_{in}(u)$ і вихідного $f_{out}(u)$ поїздопотоків

$$\sum_{v=1}^k f(u, v) = 0 \Leftrightarrow f_{in}(u) = f_{out}(u). \quad (2)$$

Поки є ділянки з більшими пропускними спроможностями – на кожному наступному кроці обираємо найменш витратний маршрут проходження поїздопотoku – і так до вичерпання всього поїздопотoku.

В результаті моделювання отримано варіанти розподілу змінних поїздопотоків по будь-якому маршруту.

Особливо важливим таке моделювання поїздопотоків стає при проведенні ремонтних робіт із закриттям перегонів або колій, коли пропускна спроможність різко скорочується. Тому також проведено моделювання на випадок закриття однієї колії перегона.

Розроблена модель регулювання поїздопотоків необхідна для вибору оптимального розподілу поїздопотоків на полігонах з великою кількістю ділянок. Для впровадження даної моделі, запропонована удосконалення комплексу автоматизованих робочих місць (АРМ) оперативно-диспетчерського персоналу. Модернізація технічних і програмних засобів при цьому включає: розробку адекватного програмного забезпечення і бази даних, встановлення АРМ диспетчерів, удосконалення ліній передачі даних на основі волоконно-оптичних технологій [3].

При допомозі інтелектуалізованого модуля на своїх АРМ відповідальні працівники матимуть можливість оптимально розподіляти додатковий поїздопоток при наданні «вікон» і при інших перервах у роботі інфраструктури.

Реалізація розробленої технології дає залізниці можливість зменшити експлуатаційні витрати на пропуск поїздопотоків вигідними паралельними шляхами замість ділянок з вичерпаною пропускною спроможністю. Це підвищить маршрутну швидкість і ефективність транспортування вантажів по залізниці як у внутрішньому, так і в міжнародному сполученні.

[1] Головка Т. В., Долгополов П. В., Ляпін Д. Ю., Демченко І. С. Прогнозування обсягів вагонопотоків пунктів взаємодії з використанням методу Random Forest // 36. Наук. праць Укр. держ. унів. заліз. трансп. 2025. № 212. С. 259–267.

[2] Долгополов П. В., Думбасар О. Є., Назаренко М. І. Оптимізація обслуговування вагонопотоків на залізничній мережі в умовах міжнародних перевезень / 3-я міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», м. Харків, 22–23 листоп. 2022 р. Харків, 2022. С. 26.

[3] Долгополов П.В., Гудзенко Р.В. Дослідження проблематики і удосконалення розподілу масових експортних залізничних перевезень вантажів / 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, 27–28 листоп. 2024 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 41.

FIBER-OPTIC SENSOR–BASED PROACTIVE RAILWAY TRACK MONITORING USING VIBRATION ANALYSIS AND NEURAL NETWORKS

PhD (Tech.) S.O. Zmii, M.V. Kanevskiy, D.S. Kanevskiy
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

The safety and efficiency of railway infrastructure directly depend on the integrity of the track infrastructure. However, transitional monitoring methods such as visual inspections, non-destructive testing, and track circuits are mostly reactive or periodic [1, 2]. They leave significant time intervals during which critical defects can appear and develop, while their effectiveness is limited by their scope, high cost, and vulnerability to external factors. This creates an urgent need for innovative, automated systems that are capable of providing continuous, high-precision, and most importantly, proactive monitoring of railway track conditions in real-time.

Under conditions of full-scale military aggression against Ukraine, the importance of such systems grows exponentially. Railway infrastructure has become a target, constantly subjected to attacks and sabotage aimed at disrupting military and humanitarian logistics. Traditional control methods are not effective enough at countering such threats; therefore, they need the immediate implementation of technologies that function as a system of continuous surveillance and instant response. They are capable of providing not only early warnings about the consequences of attacks, such as tracking damage caused by explosions, but also detecting attempts at physical interference by adversaries, including the installation of explosive devices or other sabotage objects.

This work proposes and theoretically substantiates an innovative approach that employs fiber-optic sensors (FOS), specifically the technology of distributed acoustic sensors (DAS), for monitoring railway infrastructure. The scientific novelty lies in the use of vibration and acoustic signals generated by the rolling stock itself to diagnose track conditions at a significant distance ahead of the train. This methodology transforms the train from a passive transport object into an active diagnostic tool that continuously “listens” to the path ahead. Instead of passively waiting for an event at the point of the sensor’s location, the system actively analyzes the propagation of energy emitted by the train within the rail structure. This allows proactive detection of rail integrity violations or the presence of foreign objects long before approaching them, providing critically important time to prevent emergencies.

The methodological basis of the system is the analysis of two key components of the vibration signal. First, rail integrity is assessed by analyzing the spatial attenuation of the transmitted wave. The presence of microcracks, fastening defects, or ballast degradation changes the physical properties of the rail, leading to a local increase in the attenuation coefficient. The DAS system, acting as a continuous array of virtual sensors, records an abnormally sharp drop in signal amplitude, accurately identifying

a potentially damaged section. Second, the detection of foreign objects on the track is carried out through the analysis of reflected waves. An obstacle creates an acoustic impedance, reflecting part of the vibration energy to the source. The system identifies this “echo,” and the propagation time makes it possible to precisely determine the distance to the object. Thus, one “natural” signal from the train is used to obtain two different types of diagnostic information: about distributed defects of the medium and about point obstacles.

The DAS technology generates enormous volumes of data, reaching terabytes per day, making manual analysis impossible. Therefore, a key, integral component of the proposed system is artificial intelligence and machine learning. The use of modern neural network architectures, such as convolutional neural networks (CNN) for recognizing unique patterns in signal spectrograms and long short-term memory (LSTM) recurrent networks for analyzing the temporal dynamics of events, makes it possible to automate the classification process. These models can, with high accuracy, distinguish vibrations from normal train movement, track defects, or external interference. AI in this context is not merely a tool for improvement but a fundamental technology that transforms arrays of raw optical data into structured, actionable information, without which the system cannot function [3].

In conclusion, the synergy of fiber-optic sensing technologies and advanced AI methods creates the foundation for transitioning from outdated reactive approaches to proactive and predictive management of railway infrastructure. Based on the neural network’s conclusions, a practical algorithm for classifying the danger level has been developed, dividing the system’s state into three levels—normal, warning, and critical. This makes it possible to generate clear, timely, and adequate alerts for operators and maintenance services, from scheduling technical inspections to the immediate suspension of traffic, which significantly enhances the safety, reliability, and economic efficiency of railway operations.

[1] Łomżyńska A, Strugarek K, Nowak M, Ludwiczak A, Klekowicki M, Szymański GM. Identification of railway track damage using vibration signal characteristics. Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe. 2024;3-4:64-72. <https://doi.org/10.53502/RAIL-201445>

[2] Industry Track Inspection. CN. URL: <https://www.cn.ca/-/media/Files/Customer-Centre/Track-Specifications/industry-track-inspection-en.pdf> (дата звернення: 15.10.2025).

[3] Al-Ashwal, N.H.; Al Soufy, K.A.M.; Hamza, M.E.; Swillam, M.A. Deep Learning for Optical Sensor Applications: A Review. Sensors 2023, 23, 6486. <https://doi.org/10.3390/s23146486>

QUANTUM INTERFEROMETRY AS A BASIS FOR NAVIGATION UNDER INDEPENDENCE FROM SATELLITE SYSTEMS

*M.Yu. Kushch, S.O. Zmii (Scientific Supervisor) PhD (Tech.)
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

The development of global navigation systems has significantly impacted the safety and efficiency of modern transportation, while also creating a critical dependence on satellite systems. The current geopolitical situation and the technological characteristics of global navigation satellite systems reveal the vulnerabilities of this dependence. Signals from global navigation satellite systems are extremely weak and vulnerable to jamming, spoofing, and electronic warfare measures. Moreover, these signals do not penetrate environments critically important for railway transport, such as underground tunnels and dense urban areas. Although traditional inertial navigation systems provide some degree of autonomy, they suffer from significant drift error accumulation, making them unsuitable for long-term navigation without external corrections. Quantum navigation offers a revolutionary solution to this dilemma by leveraging the fundamental properties of quantum systems to achieve a new level of positioning accuracy and reliability.

The conceptual foundations of quantum navigation are based on the unique phenomena of quantum mechanics. Atomic interferometry enables the measurement of acceleration and angular velocity with nano-g precision, which surpasses by orders of magnitude the capabilities of classical sensors. Quantum sensors utilize coherent control over atomic clouds and fundamental constants of nature, resulting in imperceptibly small errors. In addition to inertial measurements, quantum navigation incorporates geophysical methods based on measuring local variations of the Earth's magnetic and gravitational fields. Magnetic fields create natural "fingerprints" of the terrain that can be used for unambiguous determination of absolute position without any external radio signals. Gravitational measurements, in turn, reveal geological structures and anomalies beneath the surface. This combination of methods ensures fully autonomous navigation independent of satellite systems, limited only by physical constraints set by nature itself. [1]

The application of quantum navigation in the railway industry addresses several critically important problems. Accurate positioning of trains in tunnels and other GPS-restricted areas is a necessary condition for the development of autonomous train control systems. Current signaling systems only determine the section of track but not the absolute position. Quantum inertial navigation sensors can provide positioning with meter-level accuracy even under the most challenging conditions. Additionally, monitoring the condition of railway infrastructure entails enormous costs since defects are often detected only after failure occurs. Quantum gravimeters installed on trains can detect ground subsidence, hidden underground utilities, and other geological

anomalies, enabling preventive maintenance before the onset of accidents. Furthermore, quantum navigation provides complete autonomy from external radio signals, making the railway system resistant to electronic warfare and other destabilization attempts targeting critical infrastructure. [2]

The current state of development demonstrates the transition of quantum navigation from theoretical concepts to practical implementation. Research consortia in developed countries actively test quantum sensors aboard transportation vehicles. Flight tests have shown positioning accuracy that surpasses traditional systems by orders of magnitude, with errors less than 0.03% after several hours of autonomous operation [3]. Underground trials in public transport systems demonstrated reliable positioning in environments completely deprived of GPS signals. Prototypes of compact quantum sensors are being developed, capable of being installed on trains without bulky auxiliary infrastructure. Scientific progress in miniaturization of quantum components, especially through the use of silicon photonics, has enabled revolutionary reductions in the size and cost of equipment.

However, implementing quantum navigation in the railway sector faces significant challenges. Ensuring the stability of quantum sensors in real operational conditions aboard trains, characterized by significant vibrations, temperature fluctuations, and electromagnetic interference, remains a key issue. Quantum states are extremely fragile, and external disturbances can easily distort measurements. Two parallel approaches are being developed to address this problem: hardware redesign of sensors to achieve internal insensitivity to disturbances, and software reinforcement using artificial intelligence that filters noise from useful signals in real time. Additionally, while magnetic navigation promises absolute positioning, it requires preconstructed precise maps of magnetic anomalies for each route, as well as methods for correcting the impact of space weather and diurnal magnetic field variations. Furthermore, the current quantum sensing ecosystem remains fragmented and relatively small, with a limited number of companies developing specialized components, leading to high costs and long investment payback periods for developing and deploying new systems. [4, 5]

The future development strategy of quantum navigation for railways envisions a hybrid approach, combining quantum sensors with traditional positioning and control systems. This symbiosis allows railway systems to remain independent from satellite positioning systems for extended periods while gradually reducing dependence on external signals. Quantum navigation is not intended to replace satellite positioning systems imminently but rather to serve as a critically important backup layer and a tool for verifying the validity of GPS data. Over time, as technology progresses and the cost of quantum components decreases, these systems will have the potential to transform into the foundation of railway navigation architecture, facilitating the advent of truly autonomous and secure railway transportation.

[1] Barruffo, Lorenzo & Caiazzo, Bianca & Petrillo, Alberto & Santini, Stefania. (2024). A GoA4 Control Architecture for the Autonomous Driving of High-Speed Trains Over ETCS: Design and Experimental Validation. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. PP. 1-16. 10.1109/TITS.2023.3338295.

- [2] Ullah, Inam & Su, Xin & Zhang, Xuewu & Choi, Dongmin & Hou, Zhenguo & Zhu, Jinxiu. (2020). Evaluation of Localization by Extended Kalman Filter, Unscented Kalman Filter, and Particle Filter-Based Techniques. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2020. 15. 10.1155/2020/8898672.
- [3] Kong, Huifang & Zhang, Qian. (2022). Path Planning for Collision Avoidance Based on Artificial Potential Field with Vehicle Dimension Constraint. 5371-5376. 10.23919/CCC55666.2022.9901691.
- [4] Ahmadvand, Reza & Sharifi, Safura & Banad, Yaser. (2024). Swarm Intelligence in Collision-free Formation Control for Multi-UAV Systems with 3D Obstacle Avoidance Maneuvers. 10.48550/arXiv.2412.12437.

УДК 656.2:355.4:658.7(477)

ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСТАВЛЕННЯ ВІЙСЬКОВОГО ВАНТАЖУ В ЗОНУ БОЙОВИХ ДІЙ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВІ ЛОГІСТИКИ

ORGANIZATION OF DELIVERY OF MILITARY CARGO TO THE COMBAT ZONE BY RAIL TRANSPORT ON THE BASIS OF LOGISTICS

*Канд. техн. наук Т.Ю. Калашнікова, студент О.О. Клочков
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Tech.) T.Y. Kalashnikova, st. O.O. Klochkov
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Логістичний підхід у вантажних перевезеннях забезпечує системне управління матеріальними потоками з урахуванням принципів оптимізації маршрутів, скорочення витрат часу та ресурсів, а також підвищення надійності транспортування.

Військова логістика є специфічною галуззю транспортної системи, де ключовим завданням стає забезпечення швидкого, безпечного й гарантованого постачання озброєння, техніки, боєприпасів і гуманітарних ресурсів у зону бойових дій.

Пріоритети при доставці військових вантажів:

- мінімізація часу доставки;
- захищеність маршрутів від обстрілів та диверсій;
- адаптивність до змін обстановки;
- багатоваріантність логістичних рішень (альтернативні маршрути, дублювання каналів постачання).

Залізничний транспорт зберігає провідну роль у стратегічних перевезеннях завдяки великій провізній спроможності, однак потребує інтеграції з автомобільними, авіаційними та річковими видами транспорту для забезпечення гнучкості в умовах війни.

Мультимодальні та комбіновані перевезення дозволяють оптимізувати доставку військових вантажів, використовуючи сильні сторони різних видів транспорту та створюючи стійкі ланцюги постачання.

Цифровізація та моніторинг перевезень (GPS-трекінг, автоматизовані логістичні системи) набувають критичного значення для контролю за рухом вантажів, своєчасного реагування на зміни бойової обстановки та координації між військовими й цивільними структурами [1].

Захисні та маскувальні заходи при організації перевезень включають використання нічних рейсів, розосередження вантажів, застосування спеціальних платформ та захисних контейнерів.

Міжнародний досвід та партнерська підтримка (НАТО, ЄС) сприяють впровадженню сучасних стандартів військової логістики, що дозволяє підвищити ефективність та безпеку доставки вантажів.

Таким чином, організація вантажних перевезень у воєнний час повинна ґрунтуватися на принципах гнучкої логістики, інтеграції різних видів транспорту, цифрових технологіях управління та врахуванні специфіки воєнної обстановки, що забезпечить надійність і безперервність військового постачання.

[1] Діджиталізація залізниці Німеччини. <https://www.railway.supply/uk/didzhitalizacziya-zalizniczi-nimechchini/>

УДК 656.22

АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ НА ДІЛЯНЦІ ЯГОДИН – ДОРОГУСЬК

ANALYSIS OF THE STATE OF PASSENGER TRAFFIC ORGANIZATION ON THE YAHODYN–DOROHUSK SECTION

П.Р. Хінельова, канд. техн. наук Т.Ю. Калашнікова

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

P. R. Khinelova, PhD (Tech.) T.Y. Kalashnikova

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Залізничний переїзд Ягодин-Дорогуськ є одним зі стратегічних ланок українсько-польського транспортного сполучення, що забезпечує ефективний рух вантажних і пасажирських поїздів та сприяє розвитку транспортних, економічних і соціальних зв'язків між Україною та Польщею.

Інфраструктура ділянки Ягодин-Дорогуськ включає залізничні системи обох стандартів (1520 мм і 1435 мм), станції для перевірки вагонів, а також приміщення для технічного обслуговування та заміни колісних пар. По обидва боки кордону функціонують вантажні та пасажирські термінали.

Рух пасажирських поїздів на цій ділянці координується залізничною компанією «Укрзалізниця» у співпраці з РКР Intercity. В середньому щодня проходить три-чотири пари пасажирських поїздів. Щоденні сполучення включають маршрути Київ-Хелм і Київ-Варшава, а сезонні маршрути, такі як Харків-Хелм і Дніпро-Хелм, обслуговуються один або два рази на день, залежно від потреб сполучення.

Пасажири та вантаж перевіряються одночасно представниками органів влади обох країн, при цьому пасажирам не потрібно виходити з вагонів. З українського боку перевірки здійснюють співробітники Ягодинського митного пункту Державної митної служби України та Луцького прикордонного пункту Державної прикордонної служби України. З польського боку подвійні перевірки проводяться відповідно до принципу «зеленого коридору» Європейського Союзу, що допомагає оптимізувати процес і скоротити його тривалість приблизно на 30% [1, 2].

Аналіз ділянки Ягодин-Дорогуськ виявив кілька системних проблем:

1. Тривалість прикордонних операцій висока – 1,5-2 години, що знижує конкурентоспроможність залізничного транспорту порівняно з автомобільним.
2. Відсутність електрифікації української ділянки Ковель-Ягодин обмежує використання електровозів і вимагає маневрової роботи тепловозами.
3. Обмежена пропускна спроможність пункту заміни колісних пар (до 4 складів на добу).
4. Недостатня координація графіків поїздів УЗ та РКР, що ускладнює стикування рейсів до Варшави чи Гданська.
5. Відсутність системи аналітичного прогнозування пасажиропотоків, через що складно регулювати сезонні навантаження.

У 2024-2025 роках на прикордонному переході Ягодин-Дорогуськ було вжито низку заходів для підвищення ефективності пасажироперевезень та оптимізації контролю. Часткова автоматизація митних процедур та прикордонного контролю дозволила скоротити середню затримку поїздів на 15-20 хвилин. Це стало можливим завдяки електронній системі управління рухом, цифровому обміну даними між митними органами України та Польщі та попередній декларації пасажирів, що є частиною процесу цифровізації відповідно до європейських стандартів.

Водночас триває масштабна технічна модернізація інфраструктури, як передбачено в національній транспортній стратегії України до 2030 року та проектом Connecting Europe Facility (CEF). У 2025 році розпочато встановлення стаціонарних і мобільних сканерів для огляду залізничних вагонів на прикордонному переході Ягодин-Дорогуськ [3]. Щоб контролювати пасажиропотік використовуються автоматизовані біометричні системи, що сканують обличчя та відбитки пальців, а також цифрові паспортизатори для швидкої ідентифікації. Крім того, застосовуються сучасні системи відеоспостереження з функціями аналізу [4]. Також у планах завершити електрифікацію ділянки Ковель-держкордон, що дозволить скоротити час

перестановки колісних пар та підвищити пропускну спроможність станції. Передбачається, що проєкт буде завершено до 2030 року [5].

Проведений аналіз показав, що впровадження сучасних цифрових технологій, автоматизація митних процедур і проходження кордону, а також модернізація інфраструктури значно скорочують час контролю, збільшують пропускну спроможність пунктів пропуску і створюють більш комфортні умови для пасажирів. Реалізація запропонованих заходів підвищить ефективність міжнародного сполучення і посилить транзитний потенціал України.

Таким чином, поліпшення організації пасажирських залізничних перевезень на маршруті Ягодин-Дорогуськ є важливим елементом інтеграції української транспортної системи в європейський простір.

[1] Ягодин (станція). <https://uk.wikipedia.org/>. Вікіпедія. URL: Ягодин (станція) — Вікіпедія

[2] Дорогуськ (станція). <https://uk.wikipedia.org/>. Вікіпедія. URL: Дорогуськ (станція) — Вікіпедія

[3] *Центр транспортних стратегій.* URL: https://cfts.org.ua/news/2025/05/14/na_stantsi_yagodin_vstanovlyat_skaner_dlya_oglyadu_zaliznichnikh_vagoniv_82905.

[4] GORODPL. *Польща запускає біометричний контроль на кордоні з Україною — що це означає для українців?*. URL: <https://gorod.pl/polshha-zapuskaye-biometrychnyj-kontrol-na-kordoni-z-ukrayinoyu-shho-tse-oznachaye-dlya-ukrayintsiv/>.

[5] Криклій В. Укрзалізниця розпочала роботи з електрифікації напрямку «Ковель-Ізов-Держкордон». *Урядовий портал*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/ukrzaliznicya-rozpochala-roboti-z-elektrifikaciyi-napryamku-kovel-izov-derzhkordon-vladislav-kriklij>.

УДК 656.2:721.021

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЄКТІВ ПРИСТРОЇВ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ

INTELLIGENT METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF SIGNALLING, INTERLOCKING, AND BLOCKING SYSTEM DESIGN PROJECTS

Ю.В. Калюта¹, С.В. Буднікевич²

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

²*Львівська залізниця, ВСП «Ужгородська дистанція сигналізації і зв'язку» (м. Ужгород)*

Y.V. Kaliuta¹, S.V. Budnikevych²

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkov)*

²*Uzhhorod signaling and communication distance Lviv railway (Uzhhorod)*

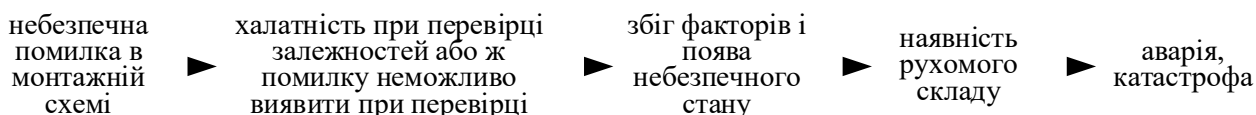
Неодмінним етапом життєвого циклу пристроїв сигналізації, централізації і блокування (СЦБ) є розроблення проєктних рішень і оформлення відповідної технічної документації як на початку їх експлуатації, так і під час змін у колійному розвитку або впровадження технічних удосконалень.

Сучасний стан проєктування пристроїв СЦБ характеризується низьким рівнем якості проєктної документації, що негативно впливає як на безпеку руху поїздів, так і на економічні показники. Основними чинниками цієї проблеми є:

- надмірна кількість та фрагментованість нормативної бази (тисячі документів, частина з яких діє понад півстоліття);
- недостатня кількість кваліфікованих інженерів-проєктувальників пристроїв СЦБ;
- необхідність поєднання сучасних технічних рішень із застарілими елементами інфраструктури;
- кумулятивне накопичення помилок в об'єктах, що тривалий час експлуатуються;
- значні обсяги будівництва на об'єктах АТ «Укрзалізниця».

Переважає більшість проєктних рішень у галузі СЦБ досі формується вручну, ґрунтуючись на досвіді та інтуїції інженера-проєктувальника, а також на копіюванні рішень, реалізованих на попередніх об'єктах. Використання комп'ютерної техніки, як правило, обмежується застосуванням графічних редакторів (AutoCAD, EPLAN, Microsoft Visio), які забезпечують лише часткову автоматизацію процесів проєктування. Розширені функціональні можливості цих програм – зокрема, автоматичне формування монтажних схем, генерація зворотних адрес або перевірка логічних зв'язків, – у більшості випадків залишаються нереалізованими на практиці. Це призводить до підвищення ризику технічних помилок, що безпосередньо впливає на рівень експлуатаційної безпеки.

Так, навіть за наявності коректно розробленої принципової схеми можлива поява неузгодженостей у монтажних кресленнях, що здатна ініціювати ланцюг небажаних подій:



Однак значна кількість помилок виникає і в принципових, і в схематичних кресленнях, зокрема під час розроблення схематичних планів станцій. У таких випадках традиційна автоматизація виявляється недостатньо ефективною, оскільки не забезпечує перевірки логічної та функціональної узгодженості рішень.

Для подолання цих обмежень пропонується впровадження інтелектуального проєктування пристроїв СЦБ. Цей підхід ґрунтується на використанні алгоритмів штучного інтелекту, технологій підтримки прийняття рішень, експертних систем та моделювання роботи електричних схем. Подібні принципи вже активно впроваджуються в інших галузях техніки – зокрема, у проєктуванні друкованих плат [1] та аерокосмічному машинобудуванні [2], де застосування інтелектуальних методів дозволяє оптимізувати структуру систем, зменшити кількість помилок і скоротити тривалість проєктного циклу.

Інтелектуальна система проєктування пристроїв СЦБ здатна:

- автоматизувати формування двониткових планів, схем кабельних мереж, зв'язків між елементами;
- надавати рекомендації щодо вибору оптимальних технічних рішень відповідно до умов експлуатації об'єкта (станції, перегону, переїзду);
- виявляти технічні рішення, що накладають обмеження на подальшу модернізацію (наприклад, вибір нормалей рейкових кіл, несумісних із перспективою електрифікації);
- виконувати аналіз і оптимізацію проєктних рішень з урахуванням технічних та економічних критеріїв (наприклад, траса прокладання кабелів, або розміщення апаратури на стативах);
- прогнозувати оптимальну послідовності впровадження елементів будівництва з урахуванням мінімізації часу технологічних «вікон»;
- аналізувати сумісність паралельних проєктів що виконувались одночасно для окремих елементів одного об'єкта різними інженерами-проєктувальниками;
- моделювати роботу електричних схем, здійснюючи перевірку їх функціональної коректності та взаємозалежностей.

Застосування інтелектуального проєктування створює передумови для підвищення надійності, ефективності та безпеки систем СЦБ на залізничному транспорті. Водночас впровадження штучного інтелекту у критично важливі процеси вимагає обережності. Залишається відкритим питання розподілу функцій між інженером-проєктувальником та інтелектуальним модулем, що визначатиме рівень відповідальності, надійності й безпеки систем. Пошук оптимального балансу між автоматизацією та інженерним контролем є науковим завданням, вирішення якого дозволить створити ефективну систему інтелектуального проєктування, орієнтовану на підвищення безпеки руху поїздів.

[1] Девід Марракчі (David Marrakchi). Altium Designer: інтуїтивне та інтелектуальне проєктування друкованих плат різної складності // CHIP NEWS - – 2024. - № 7 – С. 28-30.

[2] Alejandro Pradas Gómez. Design Automation techniques for the accelerated design of aerospace components. An exploration of different approaches and challenges // Department of Industrial and Materials Science CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Gothenburg, Sweden 2025

[3] William F. Lawless, Ranjeev Mittu, Donald A. Sofge, Thomas Shortell, Thomas A. McDermott. Systems Engineering and Artificial Intelligence // Springer Nature Switzerland AG, 2021

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВАГОНОПОТОКІВ
У ПЛАНІ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ
СИНХРОНІЗАЦІЇ В СКЛАДНИХ МЕРЕЖАХ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRANSMISSION SPEED OF WAGON
FLOWS IN THE PLAN OF TRAIN FORMATION BASED ON THE THEORY
OF SYNCHRONIZATION IN COMPLEX NETWORKS**

*Докторант А.М. Киман, аспірант С.А. Золотарьов, магістр
М.С. Мусієнко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*Doctoral student A. Kyman¹, PhD student S. Zolotarov¹,
Master's student M. Musienko¹*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Залізниця України належить до залізничних систем без дотримання розкладу руху вантажних поїздів, що спричиняє високу невизначеність часу слідування поїздопотоків та строків доставки вантажів до пунктів призначення [1]. Це істотно ускладнює аналітичні підходи до оцінювання ефективності роботи мережі. Процес перевезень характеризується значним рівнем невизначеності, квазістохастичним характером руху та мінливістю інтенсивності передачі вагонопотоків між технічними станціями. У таких умовах одним з перспективних напрямів поглибленого аналізу моделей перевезень є вивчення плану формування поїздів на макрорівні мережі з урахуванням структурних властивостей просторової організації вагонопотоків та рівня зв'язаності між ключовими станціями мережі. Це дозволяє оцінювати не лише поточні показники виконання перевезень, а й потенційну здатність залізничної системи до узгодженого функціонування. Традиційні підходи не дають можливості кількісно оцінити здатність мереж ПФП різних років до узгодженої роботи при зміні операційної моделі перевезень вантажів. За таких умов виявлення прихованих структурно динамічних властивостей мережі передачі вагонопотоків в залізничній системі на основі теорії синхронізації в складних мережах є актуальним.

У роботі застосовано теорію синхронізації складних мереж і модель Курамото для найбільших сильно зв'язаних компонент двох орієнтованих графів ПФП за 2013 та 2019 роки. Це дозволило дослідити швидкість встановлення узгоджених режимів залежно від спектральних характеристик та сили зв'язку між вузлами. Моделювання показало що мережа 2013 року має вищу структурну інтегрованість більший спектральний розрив, що забезпечує стійкість до фрагментації та швидке зростання параметра порядку при підвищенні сили

зв'язку. Мережа 2019 року продемонструвала прискорений, але переважно локальний характер синхронізації та низьку здатність до глобальної когерентності. Це є наслідком децентралізованої топології та меншого розміру сильно зв'язної компоненти. Аналіз фазових діаграм підтвердив наявність обмеженої здатності обох мереж до глобальної синхронізації, оскільки параметр порядку залишався низьким у всьому діапазоні сил взаємодії, що вказує на фрагментованість операційної структури. У надкритичному режимі мережа 2013 року досягала вищого рівня когерентності та значно швидше виходила на усталений стан, що дозволяє ототожнити її з централізованою системою hub-and-spoke, тоді як мережа 2019 року має властивості point-to-point із вразливістю до втрати ключових вузлів та зв'язків.

Зроблено висновок, що швидкість передачі вагонопотоків визначається не лише величиною взаємодії між станціями, а передусім топологічною сформованістю мережі, здатністю до глобальної інтеграції та розміром компоненти, що забезпечує інформаційний перенос. Подальші дослідження запропоновано спрямувати на глибше розуміння внутрішньої просторової структури SCC та виявлення локальних концентрацій синхронізованої активності шляхом переходу до аналізу її кластерної організації. Для цього доцільно застосувати методи неконтрольованого навчання, зокрема кластеризацію вершин за алгоритмом DBSCAN, який дає змогу ідентифікувати щільні підмножини станцій із подібною фазовою поведінкою без попереднього визначення кількості кластерів.

- [1] Butko, T., Prokhorchenko, A., Golovko, T., & Prokhorchenko, G. Development of the method for modeling the propagation of delays in non-cyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1(3):91, P. 30–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123141>
- [2] Kyman, A., Prokhorchenko, A., Panchenko, A., Zolotarov, S., Kravchenko, M., Prokhorchenko, H., & Orda, O. (2025). Devising of a method for analysing the propagation speed of car flows in a train formation plan based on synchronisation theory in complex networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3 (137), 56–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341559>
- [3] Lei L., Han W. Junzhong Yang Kuramoto model with correlation between coupling strength and natural frequency. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2021. Vol. 144. 110734. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110734>
- [4] Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD)*, 226–231.

**ПОТРЕБИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ**

**NEEDS FOR THE DEVELOPMENT OF RAILWAY PASSENGER
TRANSPORT IN UKRAINE IN THE CONDITIONS OF EUROPEAN
INTEGRATION**

Канд. техн. наук Д.В. Константинов, Д.С. Безгін

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

PhD (Tech.) D.V. Konstantinov, D.S. Bezgin

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

В умовах інтеграційних процесів України в Європейський Союз (ЄС), спостерігається інтенсифікація конкурентного тиску на ринку пасажирських перевезень. З огляду на зростаючу потребу залучення додаткових споживачів до вибору залізничного транспорту у внутрішніх та зовнішніх перевезеннях, стратегічним імперативом стає підвищення якості та ефективності послуг, що надаються АТ «Укрзалізниця».

Для забезпечення високого рівня сервісу та операційної ефективності пасажирських перевезень, необхідною є розробка, систематична імплементація та практичне впровадження комплексу організаційно-технічних заходів удосконалення. Ключовим аспектом удосконалення функціонування системи є впровадження інструментів логістичного управління процесами пасажирських перевезень. У цьому контексті, швидкість доставки (транзитний час) набуває статусу одного з пріоритетних факторів конкурентоспроможності.

В умовах воєнного стану та посилення міжнародної взаємодії, фіксується значне зростання попиту на міжнародні пасажирські перевезення. Цей сегмент вимагає пріоритетної уваги через недостатній рівень розвитку мережі сполучень та обмежену кількість поїздів, що курсують між Україною та державами-членами ЄС. Розширення географії міжнародних маршрутів у співпраці з європейськими партнерами є необхідним заходом, що узгоджується з державною програмою європейської інтеграції.

Сучасна організаційна модель перевезень, включно зі схемами поїздоутворення та композицією составів, демонструє низку системних недоліків, основним з яких є недостатня адаптивність до динамічних умов транспортного ринку. У зв'язку з цим, виникає об'єктивна потреба у розробці та імплементації гнучких технологій поїздоутворення. Ці технології повинні базуватися на прогностичному моделюванні пасажиропотоків, що характеризуються значною нерівномірністю. Це дозволить на основі досліджень і систематизації даних корегувати схеми та композиції составів на оптимальний розрахунковий період [1].

В свою чергу одним з основних векторів оптимізації організації пасажирського руху є розвиток швидкісного залізничного сполучення між великими міськими агломераціями. Це передбачає технологічне вдосконалення експлуатації пасажирського рухомого складу та формування економічно обґрунтованої й раціональної мережі маршрутів для швидкісних перевезень у межах України з перспективою розширення в міжнародні сполучення. Це в свою чергу потребує переходу від інформаційних до інформаційно-аналітичних інтелектуальних систем управління, важлива роль в яких належить взаємозв'язку маркетингових та логістичних досліджень. При цьому логістичні підрозділи, що можуть оцінювати маркетингову інформацію про реальний попит, можуть і забезпечувати логістичну пропозицію в наданні транспортних послуг [2].

Мінімальні витрати на перевезення можуть бути досягнуті, якщо ввести для кожного поїзда відповідну оцінку. Оскільки зараз швидкості пасажирських поїздів суттєво не відрізняються, то як порівняльну оцінку можна прийняти час прямування поїзда в одному напрямку із врахуванням середнього простоя в пунктах обороту.

Тоді умовні витрати будуть мати вигляд цільової функції [3]:

$$z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (C_i^{nj} x_i^j + C_i^{bj} y_i^j) \alpha_n \rightarrow \min, \quad (1)$$

де C_i^{nj} , C_i^{bj} – умовні оцінки поїздів відповідно, які прибувають на головну станцію і відправляються з головної станції;

α_n - коефіцієнт нерівномірності руху, що враховує різні фактори впливу та відображає фактичні обсяги перевезень.

Отже, доцільно розвивати маркетингово-логістичне управління швидкісним рухом, ефективна реалізація якого дозволить підвищити якість обслуговування пасажирів, збільшити доходи від пасажирських перевезень, знизити експлуатаційні витрати, і в подальшому проаналізувати напрямки підвищеного попиту, які приносять найбільші доходи, для впровадження високошвидкісного руху за європейською моделлю.

[1] Константинов Д.В. Дослідження сучасних пасажирських перевезень залізничним транспортом України. / Д.В. Константинов, Л.В. Коновалюк // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, випуск 145.- 2014.- с.24-28.

[2] Шандер О.Е. Удосконалення організації залізничних швидкісних пасажирських перевезень в умовах коливання пасажиропотоків / О.Е. Шандер, Д.Б. Ярмач, О.Ю. Федоренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : тези стендових доповідей та виступів учасників 34-ї міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Харків, 29 жовтня, 2021 р.). – 2021. – Т. 26 № 3 (додаток). – С. 32.

[3] Грушевська Т.М. Організація високошвидкісних перевезень в умовах реформування залізничного транспорту. Залізничний транспорт України. 2013. №1. С. 16 – 19

**ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ
ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ**

**FORECASTING TRANSPORT VOLUMES UNDER MARTIAL ARTS
CONDITIONS**

*Канд. техн. наук Д.В. Константінов, Prof. (Associate), Ph.D., R. Keršys,
С.С. Єрьоменко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*PhD (Tech.) D. Konstantinov, Prof. (Associate), Ph.D., R. Keršys,
S. Yeriomenko*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Організація залізничних перевезень в Україні в умовах правового режиму воєнного стану є критичним елементом забезпечення національної транспортної стійкості та функціональної безперервності. Визначена проблематика виходить за межі стандартної логістичної практики і набуває статусу стратегічного завдання для підтримки економічної діяльності, гуманітарного забезпечення та оборонного потенціалу держави.

Тенденції розвитку галузі характеризуються рецесією та значним зниженням динаміки порівняно з довоєнним періодом. Організаційний процес суттєво ускладнюється впливом дестабілізуючих зовнішніх факторів, зокрема:

1. Нестабільність операційного середовища. Прямі та опосередковані воєнні ризики (ракетні удари, мінування, пошкодження інфраструктури) зумовлюють високу волатильність графіків руху та непередбачуваність виконання перевізного процесу.

2. Забезпечення безпеки руху. Рівень виконання нормативних показників безпеки руху прямо корелює зі ступенем мінливості факторів операційного середовища, що об'єктивно підвищує ризик інцидентів та знижує рівень надійності транспортної системи.

3. Економічна диспропорція. Спостерігається інтенсивне зростання експлуатаційних витрат (собівартості перевезень) внаслідок підвищення цін на паливно-мастильні матеріали, страхування ризиків та прискореної амортизації основних фондів.

Матеріально-технічна база АТ «Укрзалізниця» піддається посиленій інтенсивності зносу та деградації через екстремальні умови експлуатації. Процеси відновлення та технічного оновлення рухомого складу та інфраструктури сповільнюються через обмеження у доступі до фінансових ресурсів, логістичні перешкоди та пріоритезацію оборонних потреб.

Ця ситуація змушує регіональні філії АТ «Укрзалізниця» вдаватися до скорочення розмірів руху на менш пріоритетних дільницях, що, у свою чергу,

призводить до формування відкладеного попиту та неповного задоволення потреб суб'єктів економіки та населення у пасажирських та вантажних перевезеннях.

Вищеописаний системний дисбаланс актуалізує наукову та практичну необхідність розробки та впровадження адаптивних інтелектуальних механізмів управління залізничним транспортом. Це передбачає реалізацію заходів, спрямованих на удосконалення системи оперативного планування (перехід до ризик-орієнтованого підходу та динамічного моделювання розкладу руху), оптимізацію маршрутної мережі (пошук найменш витратних та максимально безпечних альтернативних логістичних коридорів), підвищення економічної ефективності (розробку методик мінімізації питомих експлуатаційних витрат в умовах обмеженого ресурсу). Таким чином, дослідження вимагає фокусу на підвищенні стійкості та ефективності функціонування залізничної системи України в умовах перманентної загрози та ресурсних обмежень.

Система залізничного руху, в умовах дефіциту рухомого складу, повинна адаптуватися до попиту через прогнозування та удосконалення технологій формування поїздів, застосовуючи оперативне регулювання їхнього складу залежно від актуальних потреб на всіх напрямках.

Задача прогнозування в загальному вигляді має зводиться до оцінки майбутніх значень впорядкованих в часі даних на основі аналізу та виявлення складних залежностей у вже існуючих даних. Це дасть змогу підвищити точність прогнозування для проведення оперативних регулювальних заходів [1]. Вихідною інформацією для проведення прогнозування має бути тимчасовий ряд, що складається зі значень з минулих періодів часу. Тому загальний вигляд задачі прогнозування буде

$$(X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-d-1}, X_{t-d}) \rightarrow y_{t+1} = f(X), \quad (1)$$

де $X = (X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-d-1}, X_{t-d})$ - значення пасажиропотоку в певні періоди доби t , що подаються на вхід моделі, з глибиною занурення d ;

$y_{t+1} = f(X)$ - прогнозне значення пасажиропотоку на наступний період доби $t+1$, що залежить від значення входу.

Можливі варіанти вирішення задач оперативного регулювання складу можуть залежати від трьох параметрів технологічного процесу - очікуваних темпів зміни пасажиропотоку чи вантажопотоку ΔA , що можуть бути отримані прогнозуванням їх надходження на транспорт, коефіцієнту використання місткості або вантажопідйомності вагонів в конкретному складі α , та достатнього часу на реалізацію оперативного регулювання $t_{об}$ в умовах обмеження за розкладом руху [2]. Таким чином, задача розробки відповідних рішень для оперативного регулювання композиції складу полягає у виконанні відображення

$$(\Delta A, \alpha, t_{об.}) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\}, \quad (2)$$

де $d_1, d_2, \dots, d_k$ - можливі варіанти заходів оперативного регулювання.

Також можливим напрямом удосконалення системи залізничного руху в умовах військового стану окрім оперативного регулювання композицій складів може бути розробка нових гнучких схем курсування, заснованих на принципах безпеки, адаптації до рівня попиту та мінімізації витрат на перевезення [3].

Комплексна реалізація запропонованих заходів дозволить суттєво покращити організацію залізничних перевезень в умовах військового стану, підвищити рівень безпеки та знизити експлуатаційні витрати.

[1] Константинов Д.В. Моделирование системы оперативного прогнозирования пассажиропотоков в примыском сполученні на основі використання інтелектуальних технологій [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Константинов, Т.О. Дервянко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2009. – №1/3(37). – С. 43–47.

[2] Константинов Д.В. Розробка системи підтримки прийняття рішень з застосуванням нейро-нечіткого моделювання для реалізації оперативного регулювання композиції составів у примыському сполученні [Текст] / Д.В. Константинов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – №111. – С. 68–81.

[3] Константинов Д.В. Моделирование оперативного регулювання маршрутами примыського руху на основі нечіткої логіки та нейронних мереж [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Константинов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №1(80)'. – С. 13–19.

УДК 656.2

РОЗРОБКА ВИМОГ ДО ЦИФРОВОЇ ПЛАТФОРМИ АГРЕГАТОРА ДЛЯ КООРДИНАЦІЇ ВАНТАЖОВІДПРАВНИКІВ ТА ПЕРЕВІЗНИКА

DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR A DIGITAL AGGREGATOR PLATFORM FOR THE COORDINATION OF FREIGHT SHIPPERS AND THE RAILWAY CARRIER

Докторант М.А. Кравченко, магістр В.Р. Борщ

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Doctoral student A. Kravchenko¹, Master's student V. Borsch¹

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Одним із напрямів підвищення ефективності вантажних залізничних перевезень є цифровізація планування перевезень. Залізнична система України характеризується нерівномірністю використання залізничної інфраструктури, обмеженою пропускною спроможністю окремих напрямків та зростанням конкуренції між учасниками ринку логістичних послуг. В умовах воєнного стану та післявоєнного відновлення особливої важливості набувають цифрові рішення, які здатні забезпечити оптимізацію використання вагонного парку, підвищення ефективності планування перевезень та скорочення простоїв у місцях навантаження і передбачуваність руху до місць призначення. Сучасні підходи до організації перевезень на залізниці України потребують гнучкої та прозорої моделі координації дій між вантажовідправниками та перевізником із забезпеченням швидкого погодження логістичних рішень та можливості самоорганізації користувачів на мережі [1]. За таких умов дослідження зумовлені

необхідністю впровадження цифрових механізмів кооперації в межах перевізного процесу, що відповідають принципам райдшерингу є актуальними. На залізничному транспорті існує потенціал формування спільних ступеневих маршрутів, однак відсутні механізми, які забезпечують взаємодію та швидке узгодження пропозицій між одночасно кількома вантажовідправниками [1, 2]. Цифрова платформа може стати інструментом синхронізації планів навантаження, скорочення витрат на логістику та підвищення рентабельності використання вагонів і локомотивів, що відповідає стратегічним цілям розвитку залізничної галузі України.

У дослідженні запропоновано концепцію цифрової платформи агрегатора, що поєднує інтереси вантажовідправників та перевізника і забезпечує два рівні узгодження перевезень. Перший рівень передбачає можливість самоорганізації вантажовідправників на суміжних станціях для формування пропозицій щодо ступеневих маршрутів шляхом обміну планами навантаження та узгодження часових параметрів. Другий рівень реалізується зі сторони перевізника із застосуванням оптимізаційної моделі пошуку плану перевезень, яка враховує технічні й технологічні можливості, та забезпечує формування обґрунтованого рішення щодо доцільності маршрутизації. Платформа передбачає модулі реєстрації користувачів, пошуку та бронювання місць у групах маршрутів, маршрутизації з використанням наявних інформаційних систем, проведення розрахунків вартості, механізмів інформаційного обміну, аналітики, рейтингу та підтримки користувачів. Сформовано вимоги до функціонування та інтеграції платформи з АСК ВП УЗ Є, АС МЕСПЛАН, АС УППВ та сервісами клієнтської взаємодії [3, 4]. Обґрунтовано доцільність застосування моделі автоматизованого бронювання порожніх вагонів, а також забезпечення прозорості статусів замовлень для всіх причетних учасників технологічного ланцюга.

Отримані теоретичні результати дають підстави стверджувати, що впровадження цифрової платформи агрегатора сприятиме зниженню логістичних витрат, скороченню часу узгодження рішень, зменшенню нерівномірності навантаження станцій та створенню механізму ефективної взаємодії у форматі сучасних цифрових сервісів. Перспективою подальших досліджень є деталізація алгоритмів оптимізації, розроблення прототипу інтерфейсу та проведення тестування за даними реальних планів навантаження зернових вантажів.

[1] Dahal K., Prokhorchenko A., Koirala R., Ahmed Md. S., Parkhomenko L., Kravchenko M., Kharchenko D. Improvement of railway transportation of grain cargoes in ukraine based on the principles of shared logistics. 4th International Scientific and Technical Conference "Intelligent Transport Technologies" (Kharkiv, November 27-28, 2023). Abstracts of reports. – Kharkiv: USURT. 2023. P.77-79.

[2] Кравченко М.А. Прохорченко А.В. Удосконалення системи організації вагонопотоків у поїзди на основі моделей перевезень за принципами спільного використання. Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, Україна, 22-23 листопада 2022 р.). Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ. 2022. С. 61-63.

[3] Укрзалізниця запустить систему розподілу вантажних вагонів. УНІАН інформаційне агенство: веб-сайт. URL: <https://www.unian.ua/economics/transport/2132804-ukrzaliznitsya-zapustit-sistemu-rozpodilu-vantajnih-vagoniv.html> (дата звернення 09.11.25)

УДК 656.222.3:658.5

IMPROVEMENT OF TRANSPORTATION OF MILITARY EQUIPMENT BY RAILWAY IN THE CONDITIONS OF APPLICATION OF RISK-ORIENTED TECHNOLOGIES

УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Докт. техн. наук, О.В. Лаврухін¹, канд. тех. наук. А.О. Ковальов¹,
док. істор. наук, О.Г. Стрелко²*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²Національний транспортний університет (м. Київ)

Dr.Sc., Lavrukhin O.V., PhD (Tech.) A.O. Kovalov, Dr.Sc. O.H. Strelko

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²National Transport University (Kyiv)

Сучасні завдання військової мобільності потребують поєднання технічних стандартів залізничної безпеки з методами ризик-орієнтованого управління (Risk-Based/Risk-Oriented). Це дозволяє підвищити швидкість, надійність і безпеку перевезень важкої бронетехніки та спецвантажів при мінімізації логістичних ризиків і зменшенні навантаження на інфраструктуру [1].

Метою роботи є розробка методології та практичних заходів для забезпечення ефективного переміщення військової техніки залізницею, що базується на ризик-орієнтованих технологіях, а саме: ідентифікації ризиків, їх кількісна оцінка, оптимізація планування маршрутів і навантаження, цифровий моніторинг-керування і процедури реагування.

Відповідно до визначеної мети можна поставити наступні завдання:

Визначити й класифікувати основні ризики при перевезенні (технічні, інфраструктурні, процедурні, оперативні).

Запропонувати модель кількісного ризик-аналізу (PRA / ERA) та показники прийнятності ризику.

Розробити інструменти моніторингу (телеметрія ваги/центру мас, стан колії, погодні умови) і алгоритми прийняття рішень.

Надати практичні інженерні формули для перевірки стійкості й безпеки завантаження.

Сформулювати рекомендації з процедур, підготовки станцій та взаємодії цивільно-військових структур.

Стисло методологію можливо навести наступним чином:

- ідентифікація ризиків: структурована карта ризиків (FMEA / HAZID);

- кількісна оцінка: модель очікуваних втрат / ймовірності подій)
 $E[L] = \sum_i p_i \times L_i$, моніторинг ключових показників ефективності (KPI);

- оптимізація маршрутів і укладів: множинні критерії — час, пропускна здатність, конструкційні обмеження (осі, габарит), ризик пошкодження інфраструктури;

- інформаційні технології: телеметрія, цифрові карти інфраструктури, системи раннього попередження та прогнозування на основі ML/аналітики [2];

Запропонована ризик-орієнтована модель може бути представлена наступним чином:

Ідентифікація подій: список подій і (наприклад: деформація колії, напад/саботаж, погодні ускладнення, помилка навантаження).

Ймовірності p_i

Наслідки L_i - визначаються на основі історичних даних та експертної оцінки економічні, часові, бойові (штучно шкалізуються в умовних одиницях).

Очікувані втрати:

$$E[L] = \sum_i p_i \times L_i.$$

Рівень ризику R (пороговий критерій):

$$R = E[L] / C,$$

де C — допустимий поріг (визначається командуванням/оператором).

Слід зазначити, якщо $R > 1$ - необхідні коригувальні заходи.

Відповідно наведеного можливо сформулювати практичні рекомендації:

Попередня інфраструктурна розвідка: цифрові карти габаритів, несучої здатності мостів і стану колії; пріоритизація маршрутів за мінімальним ризиком пошкодження інфраструктури [3].

Контроль навантаження й центрів мас: вимірювання маси й положення центру мас на точках формування (використовувати вагові платформні модулі та датчики).

Стандарти фіксації вантажу: застосування сертифікованих кріпильних систем, перевірка коефіцієнта тертя, використання блокувальних клинів, план перевірок під час маршруту.

Цифровий моніторинг і прогнозування: телеметрія ваги / вібрацій / температури вузлів, система раннього попередження про перевантаження або зміщення вантажу; застосування ML для прогнозу дефектів колії.

Процедури взаємодії (цивільно-військові): узгоджені регламенти, швидкі форми пропуску та митного оформлення у кризових ситуаціях (приклад ініціатив ЄС/НАТО щодо «military mobility») [4].

Оцінка ризику та прийнятні пороги: впровадити у щоденну практику показники $E[L]$, ліміти R і автоматизовані сценарії коригування (наприклад, перенаправлення або зниження швидкості при перевищенні ризику).

В результаті впровадження запропонованої методології прогнозуються наступні результати:

- зменшення інцидентів з пошкодженням техніки та інфраструктури;
- скорочення часу підготовки й простоїв завдяки цифровому моніторингу;
- раціоналізація маршрутів із урахуванням ризиків і технічних обмежень;
- підвищення сумісності й оперативності спільних військово-цивільних операцій.

Ризик-орієнтований підхід дозволяє трансформувати процес перевезення військової техніки залізницею з реактивного в про активний: від прогнозування ризиків, через їх кількісну оцінку до автоматизованих рішень та безпечних інженерних практик. Впровадження цифрових інструментів і стандартизованих процедур (у тому числі, у межах міжнародної співпраці ЄС/НАТО) підвищить мобільність і знизить логістичні ризики.

[1] Report on Railway Safety and Interoperability in the EU - 2024

[2] szru.gov.ua/en/news-media/news/the-eu-and-nato-are-creating-a-joint-military-mobility-system-for-the-rapid-redeployment-of-forces-in-case-of-a-crisis?utm_source=chatgpt.com

[3] Risk-based approach to transportation and logistics services in the railway transportation system | AIP Conference Proceedings | AIP Publishing

[4] Transportability Guidance

УДК 004.89

ІНЕРЦІЙНО-ІНВАРІАНТНИЙ ПІДХІД ДО ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ У ВІДКРИТИХ СИСТЕМАХ

INERTIAL-INVARIANT APPROACH TO THE PROBLEM OF DETERMINING SPEED IN OPEN SYSTEMS

Н.М. Лазарєва

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

N.M Lazarieva

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

На основі групового аналізу Лі будується інваріантна різницева схема, що дозволяє ітерувати по відстані та одночасно підбирати невідомі параметри сил, що діють на об'єкт, зі збереженням структурних інваріант при дискретизації. Наводиться загальна побудова, визначення дискретних інваріантів, інваріантна форма схеми, а також схема ітераційного підбору при параметричній ідентифікації моделі.

Лі-симетрія задається векторним полем

$$X = \xi(x, v) \partial_x + \eta(x, v) \partial_v.$$

Шуканими є перетворення $x^* = x + \varepsilon \xi(x, v)$, $v^* = v + \varepsilon \eta(x, v)$, що залишають інваріантним базове диференціальне рівняння руху у просторі:

$$mv \frac{dv}{dx} = S(x, v; p),$$

де $S(x, v; p)$ – сумарна проекція усіх сил уздовж напрямку руху, як функція невідомих параметрів $p(p_1, p_2, \dots, p_k)$, аналітичні вирази яких невідомі. Методами, заснованими на дискретних операторах, які задовольняють умови інваріантності, конструюються різницеві рівняння, що можуть включати нелінійні комбінації змінних у точках x , $x+1$, а також $x-1$, щоб забезпечити збереження симетрії [1].

На основі дискретної схеми виконується інтегрування від $x=0$ до $x=x_i$. Отримані значення v_n є базою для ітераційного підбору p по спостереженню. Метою навчання є знаходження оптимальних значень параметрів $p(p_1, p_2, \dots, p_k)$, які мінімізують різницю між швидкостями, прогнозованими моделлю, та фактичними значеннями у контрольних точках.

Інваріантна схема, розроблена за методом групового аналізу, буде більш точно відтворювати фізику процесу, навіть при великих кроках Δt , та забезпечувати стійкість моделювання.

[1] Cherevko I., Piddubna L. On approximation of solutions of differential-difference equations. *Matematychni Studii*. V.9 (1998), No.2, p.187-192.

UDK 004.896

FEATURES OF ROBOTIC SYSTEMS FOR APPLICATION ON RAILWAY

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ НА ЗАЛІЗНИЦІ

O.V. Lazarev¹, A.I. Svinar¹, O.O. Lazareva²

¹Ukrainian State University of Railway Transport

²V.N. Karazin Kharkiv National University

О.В. Лазарев¹, А.І.Свинар¹, О.О. Лазарева²

¹Український державний університет залізничного транспорту

²Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

In the current conditions of railway transport development, robotic systems play a significant role in improving the efficiency and safety of transportation. In global practice, they are used for infrastructure monitoring, maintenance, and automation of

transport processes. In Ukraine, these technologies are in their formative stages, mainly in the form of research and laboratory projects.

The main areas of application for robotics on the railways are the inspection and diagnosis of the condition of tracks, contact networks, bridges, and tunnels. Ground-based mobile platforms are capable of detecting defects in rails and sleepers using computer vision, laser, and ultrasonic inspection systems. Air drones are used to monitor long sections of track and inaccessible objects, ensuring rapid detection of damage or obstacles in the path of trains.

Sorting stations abroad use automated systems of maneuvering operations capable of moving cars without the involvement of a machinist. Such systems are based on artificial intelligence, radar, and laser scanning technologies. In Ukraine, such solutions have not yet been put into industrial operation, but developments in this area are underway at technical universities and scientific institutions.

Maintenance robots play a special role, as they can inspect and repair signaling, centralization, and interlocking devices, as well as communication system components. They are capable of operating in difficult or dangerous conditions, reducing risks to staff. A promising area is the introduction of autonomous security systems equipped with video cameras and remote control devices.

The further development of robotics on the railway is linked to the introduction of intelligent control systems that combine robots means, sensor networks, and artificial intelligence. Such solutions will ensure comprehensive monitoring of infrastructure, optimization of rolling stock operation, and increased safety.

Despite being in the early stages of implementation, the potential for using robots in Ukraine's railway industry is significant. Robotization will reduce operating costs, improve maintenance efficiency, and contribute to the modernization of the country's transport system.

Therefore, robotics is an important element of innovative development in railway transport. Its application allows for increased traffic safety, automation of complex technological processes, and reduced risks for employees. It is important for Ukraine to continue scientific research, testing, and the gradual introduction of robotic systems into the railway industry, which will contribute to its competitiveness and technological modernization.

[1] Randika Vithanage, Colin S Harrison Importance and Applications of Robotic and Autonomous Systems (RAS) in Railway Maintenance Sector: A Review [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/334779963-Importance-and-Applications-of-Robotic-and-Autonomous-Systems-RAS-in-Railway-Maintenance-Sector-A-Review>.

[2] The use of unmanned aerial vehicles in railways: tasks, benefits and advantages of implementation [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://microavia.com/news/drones-for-railways-benefits-and-use-cases>.

[3] Next-gen rail maintenance: Robel Rail Automation unveils robotic system [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://railmarket.com/news/technology-innovation/7134-next-gen-rail-maintenance-robels-rail-automation-unveils-robotic-system>.

[4] Safety first: how robots are making railway inspection safer [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://railbi.com/how-robots-are-making-railway-inspections-safer>.

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ
СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ДІЛЬНИЦЬ З УРАХУВАННЯМ
РЕЗЕРВІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ГРАФІКІВ РУХУ**

**IMPROVEMENT OF METHODS FOR DETERMINING THE
THROUGHPUT CAPACITY OF RAILWAY LINES, TAKING INTO
ACCOUNT RESERVES FOR STABILIZING TRAFFIC SCHEDULES**

*Канд. техн. наук О.А. Малахова, аспірант М.Д. Попов, здобувач
В.А. Ніжегольцев*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*Cand. Sc.(Tehn.) O. Malakhova¹, PhD student M. Popov, Student
V. Nizheholtsev¹*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Методи розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць у деяких країнах зазнали зміни з плином часу. Вони змінилися разом із змінами в технології, з урахуванням необхідного часу для технічного обслуговування, а також із забезпеченням часу для досягнення більшої надійності експлуатації технічних засобів.

Для розрахунку пропускної спроможності технічних засобів та різних структур поїздів використовуються два принципово різні методи [1].

Перший метод спочатку визначає максимальну пропускну спроможність у кількості поїздів або пар поїздів, які переважають (є основними) на спостережуваній залізничній дільниці. Для переведення поїздів інших типів або категорій до цього основного (розрахункового) типу поїздів використовуються певні еквіваленти. Потім проводиться оцінка впливу на пропускну спроможність поїздів, що рухаються з різною швидкістю, тобто розраховується пропускну спроможність для непаралельного графіка організації руху.

Другий метод визначає пропускну спроможність без виділення категорії розрахункових поїздів, але з урахуванням ймовірності впливу: аналітичні методи, такі як метод UIC 406, який розраховує пропускну спроможність шляхом аналізу даних розкладу та часу використання інфраструктури, а також методи, засновані на моделюванні, які використовують програмне забезпечення для моделювання руху поїздів і аналізу продуктивності в різних сценаріях. Графоаналітичні методи — це ще один підхід, що дозволяє візуально відображати маршрути руху поїздів у розкладі для визначення пропускної спроможності, в тому числі і при автоматизованій побудові графіка руху поїздів.

Точний розрахунок елементів пропускної спроможності дає змогу найраціональніше використовувати всі потужності залізниць, забезпечуючи перевезення з найкращими показниками а також підвищити стабільність

виконання графіку руху поїздів. Вимога стабільного виконання особливо актуальна для дільниць з інтенсивним пасажирським і приміським рухом.

Таким чином, для підвищення стабільності графіка руху поїздів необхідним є виконання наступних вимог:

- між кінцевими пунктами дільниці допускається нагін або прямування поїздів завчасно, при неодмінному дотриманні умови, щоб на жодному з проміжних зупинкових пунктів не скупчувалося більше одного вантажного поїзда в кожному з напрямків;

- якщо у зв'язку з відсутністю відповідного вантажного поїзда локомотив доводиться повертати резервом, то він повинен йти з граничною швидкістю і не повинен користуватися перевагою перед поїздами нетермінового обороту, тобто «різати» графік.

Окремим великим напрямком є підвищення ефективності та стабільності графіка руху поїздів за рахунок удосконалення прийомів експлуатації виділених ресурсів і регулювання резервів.

До резервів при побудові графіка зазвичай відносять три типи резервів: перевізний, технічний і економічний.

Пропускна спроможність має бути настільки великою, щоб її величина давала змогу укласти не тільки всі постійні поїзди, а й додаткові, у разі збільшення руху або нестандартних ситуацій, які заздалегідь не можуть бути передбачені (перевізний резерв).

Крім того, на найважчих перегонах повинні завжди залишатися резерви часу (вільний час) для ліквідації порушення графіка, тобто у випадках, коли виникають втрати часу на перегонах, їх мають покрити технічний резерв пропускної спроможності.

Резерви в пропускній спроможності забезпечують стабільність дотримання графіка руху поїздів і збільшення швидкості просування поїздів, але вони не завжди виправдовують великі капіталовкладення і збільшення експлуатаційних витрат на утримання додаткового обладнання. Це збільшення витрат має бути зіставлено із заощадженнями витрат, які отримують завдяки збільшенню швидкостей поїздів. Ці зіставлення народжують третій вид резерву - економічний. Економічний резерв пропускної спроможності має завжди бути присутнім на графіку за нормальної експлуатації дільниць, і залежно від цього резерву заповнення пропускної спроможності не повинно перевищувати економічного ступеня заповнення γ_e .

Таким чином, можна зробити висновок, що методи розрахунку пропускної спроможності залізничних ліній є досить складними. Вони особливо ускладнюються в умовах змішаного руху та різної структури поїздів, а також є надзвичайно чутливими до значних відмінностей у швидкості руху поїздів. Це особливо відображається на можливості регулювання резервами з метою стабілізації графіка руху. Як правило, доцільно визначати резерви на основі дослідження, проведеного для кожної дільниці окремо, використовуючи методи моделювання для експериментів з численними варіантами організації руху.

УДК 656.1

**ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ
РОЗВ'ЯЗКИ М. ДНІПРО НА ПЕРЕТИНІ ПРОСПЕКТА ДМИТРА
ЯВОРНИЦЬКОГО З ВУЛ. БАРИКАДНА ТА ВУЛ. СІЧОВИХ СТРІЛЬЦІВ**

**WAYS TO REDUCE CONGESTION AT THE DNIPRO CITY TRANSPORT
INTERSECTION AT THE INTERSECTION OF DMYTRA
YAVORNYTSKOGO AVENUE WITH BARIKADNA STR. AND
SICHOVYKH STRILTSIV STR.**

*к.т.н., доцент М.І. Музикін¹, к.т.н., доцент Г.І. Нестеренко²,
Т.О. Слишук¹*

¹Університет митної справи та фінансів (м. Дніпро)

²Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

*Ph.D., Associate professor M.I. Muzykin¹, Ph.D., Associate professor
H.I. Nesterenko², T.O. Slyshyk¹*

¹University of Customs and Finance (Dnipro)

²Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

В дослідженні розглядається проблема перевантаженості транспортної розв'язки, що розташована в центрі Дніпра – на перетині проспекту Дмитра Яворницького, вулиць Барикадна та Січових Стрільців. Це одна з найінтенсивніших ділянок дорожньої мережі міста, де щодня проїждять тисячі автомобілів, маршруток та іншого громадського транспорту. Через велику кількість машин, нерівномірний розподіл транспортних потоків і застарілу систему організації руху тут постійно утворюються затори.

Основна причина перевантаження, на нашу думку, полягає у неефективному регулюванні дорожнього руху. Світлофори на цій розв'язці працюють за фіксованими часовими інтервалами, які не змінюються залежно від кількості автомобілів. У результаті, навіть коли в одному напрямку рух доволі помірний, а в іншому – черга з десятків машин, система продовжує працювати «за розкладом», створюючи затримки там, де їх можна уникнути.

Під час підготовки дослідження аналізувався досвід інших міст України, зокрема Києва, Харкова та Львова [1]. Наприклад, у столиці вже кілька років функціонує система «розумних» світлофорів, яка автоматично регулює тривалість зеленого сигналу світлофора відповідно до інтенсивності трафіку. Завдяки цьому середня швидкість руху транспорту збільшилася на 12-15 %, а кількість заторів у години пік зменшилася на третину. У Львові впровадження

подібної системи на основних магістралях дало змогу знизити затримки на перехрестях майже на 20 %.

Досвід цих міст показує, що використання комп'ютерних технологій у сфері організації дорожнього руху може суттєво покращити ситуацію. Зокрема, сучасні програмні комплекси дають можливість проводити моделювання транспортних потоків і прогнозувати, як зміниться ситуація після певних рішень. Для цього можна застосовувати програми PTV VISSIM, AnyLogic або Aimsun, які дозволяють створювати комп'ютерні моделі конкретних ділянок міста та «програвати» різні сценарії руху. [2]

На прикладі нашої розв'язки в Дніпрі можна змодельовати кілька варіантів, наприклад: зміну напрямків руху, оптимізацію світлофорних фаз, створення окремої смуги для громадського транспорту або навіть введення кругового руху. Такі віртуальні експерименти за допомогою імітаційного моделювання дозволять обрати раціональне рішення без дорогих помилок у реальному житті.

Окрім світлофорного регулювання, важливо звернути увагу на інфраструктурні аспекти. У центрі міста багато пішохідних переходів, які розташовані занадто близько один до одного, тому потоки машин постійно зупиняються. Раціональним рішенням може бути перенесення деяких пішохідних переходів або облаштування підземних, що дозволить скоротити зупинки транспорту й, водночас, підвищить безпеку пішоходів.

Ще один напрям – розвиток громадського транспорту. Якщо підвищити його зручність і швидкість, більше людей відмовляться від поїздок власним авто. Для цього можна створити смуги для руху лише автобусів і тролейбусів, оновити рухомий склад, а також запровадити єдиний електронний квиток для всіх видів транспорту.

Не менш важливим кроком є розвиток інтелектуальної транспортної системи міста (ІТС). Вона може включати мережу камер, датчиків і GPS-трекерів, які в режимі реального часу збиратимуть інформацію про трафік. Отримані дані передаються на сервер, де аналітична система обробляє їх і пропонує оптимальні зміни у налаштуванні світлофорів. Такий підхід використовується в багатьох європейських містах і дозволяє оперативно реагувати на зміну дорожньої ситуації.

Окрім технічних рішень, важливим фактором є інформаційна робота з населенням. Водії часто обирають ті самі маршрути зранку і ввечері, навіть якщо існують менш завантажені альтернативи. Використання мобільних додатків, що показують актуальний стан трафіку, допоможе людям обирати оптимальний шлях і тим самим зменшити навантаження на ключові вулиці.

Також доцільно розглянути питання паркування. У центрі Дніпра чимало автомобілів займають смуги руху, паркуючись уздовж дороги, що суттєво звужує проїжджу частину. Якщо облаштувати окремі багаторівневі паркінги, це звільнить дороги для проїзду і покращить пропускну здатність розв'язки.

Загалом можна сказати, що вирішення проблеми заторів потребує комплексного підходу. Недостатньо просто розширити дороги або додати нову смугу – потрібно розумно організувати рух, спираючись на дані та результати

моделювання. Поєднання адаптивного регулювання, оновленої інфраструктури, розвитку громадського транспорту та використання комп'ютерних технологій може дати відчутний результат.

[1] Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua> (дата звернення 24.10.2025 р.)

[2] Intelligent Transport Systems: Case Studies from European Cities. European Commission, 2023.

УДК 656.1

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ PTV VISUM

FEATURES OF MODELING TRANSPORT NETWORKS USING PTV VISUM

к.т.н., доцент М.І. Музикін¹, к.т.н., доцент С.І. Бібік², М.А. Юрченко¹

¹Університет митної справи та фінансів (м. Дніпро)

²Національний транспортний університет (м. Київ)

*Ph.D., Associate professor M.I. Muzykin¹, Ph.D., Associate professor S.I. Bibik²,
M.A. Yurchenko¹*

¹University of Customs and Finance (Dnipro)

²National Transport University (Kyiv)

Імітаційне моделювання дозволяє відтворити детальну комп'ютерну модель досліджуваної транспортної мережі, надаючи можливість обчислити певні характеристики, оцінити ризики та наслідки управлінських рішень, відтворюючи актуальні процеси функціонування транспортної розв'язки з усіма пов'язаними деталями (інфраструктура, затримки руху), без ризику шкоди реальній системі. Використання імітаційного моделювання дозволяє знаходити оптимальні варіанти зниження інтенсивності руху на тій чи іншій ділянці, одночасно забезпечуючи можливі варіанти розвитку інфраструктури за допомогою аналізу транспортної поведінки всіх учасників дорожнього руху. [1]

Найбільш відомими спеціалізованими програмними продуктами, що забезпечують моделювання транспортної системи є AnyLogic, AIMSUN2, Paramics, CORSIM, PTV Visum та ін. Серед перелічених програм, транспортні експерти особливо відзначають німецький мультифункціональний пакет макро-моделей PTV Visum, це програмне забезпечення від компанії PTV Group, яке активно використовується інженерами для покращення та оптимізації дорожнього транспортного руху.

PTV Visum створює математичну модель транспортної системи міста, регіону чи країни, створюючи віртуальний «двійник» обраної транспортної мережі. На першому кроці під час роботи в PTV Visum необхідно обрати масштабовану карту досліджуваної ділянки в якості схематичної моделі. Варто зазначити, що

чим точніше будуть внесені дані векторної карти та збережено масштабування, тим якісніше буде моделювання. Після завантаження карти користувачу необхідно ввести актуальні параметри згідно обраної транспортної моделі: дані про кількість населення, його поведінку, специфіку, додатково вказується інформація про розклад та маршрути руху громадського транспорту, схема дорожнього руху і т.і.

PTV Visum дає змогу поєднувати моделі власного та громадського транспорту. Завдяки комплексності дана система може відобразити: велосипедний рух, міжміський пасажирський потік, міжміський вантажний транспортний рух, відображення повноцінних шляхопроводів національного та регіонального рівня.

Якщо розглядати мультимодальні перевезення, то в останньому оновленні PTV Visum приділено їм значна увага. На сьогоднішній день використання декількох видів транспорту є актуальним питанням, тому важливо правильно організувати спільне користування транспортною мережею. Тому в програму додали пункти обміну транспортними засобами, що дозволяє поєднувати класичний громадський транспорт із засобами власного користування. [3]

Після побудови транспортної мережі, програмний пакет PTV Visum дає можливість розрахувати прогноз пасажирських та вантажних автомобільних потоків загалом. Також комплекс допомагає оцінити ефективність впроваджених управлінських рішень залежно від реалізації експертної думки у впровадженні нових елементів. Аналіз проводиться на основі раніше наданих статистичних даних та прогнозованих. [2]

Перевагою даного комплексу є інтегрування геоінформаційних систем про транспортне забезпечення в одну багаторівневу базу даних, що дозволяє класифікувати та узагальнити інформацію, забезпечивши візуалізацію оцінки транспортної доступності для всіх учасників дорожнього руху.

Додатковим модулем у програмному забезпеченні PTV Visum став «Safety», за допомогою якого можна завантажити дані про аварії та прогнозовані в майбутньому аварії на складних транспортних розв'язках. Для цього використовується тільки певна мережа та дані щодо наявних аварій. [3]

Однією із особливостей програми PTV Visum є впровадження візуалізації в 3D просторі, оскільки дана функція дозволяє наочно візуалізувати транспортний процес. Нажаль просторове відтворення в двовимірній системі на сьогоднішній день не може передати складність реальної ситуації, тому розробники PTV Visum адаптувалися під вимоги сьогодення і розробили тривимірне моделювання. 3D моделювання є особливо важливим при складних багаторівневих транспортних розв'язках, наприклад, коли присутній кільцевий рух, реверсивний рух, з'їзд на міст, тунель або наявне складне перехрестя. Додатковою функцією в тривимірному просторі стала можливість додавати інформаційні знаки.

Узагальнюючи, можна прийти до висновку, що програмне забезпечення PTV Visum має низку важливих особливостей, за рахунок яких можливо швидко та якісно відтворити транспортну мережу з усіма деталями. Моделювання в

описаному середовищі дозволяє ефективно проаналізувати транспортний потік за допомогою багатокритеріального аналізу та дозволяє проводити оптимізацію функціонування транспортної мережі.

[1] Неруш В. Б., Курдеча В. В. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій : НН ІТС НТУУ КПІ, 2012. С. 6-15.

[2] Транспортне планування. PTV Visum. PTV Vissim. Веб-сайт URL: <https://dfkip.ust.edu.ua/transportne-planuvannya-ptv-visum-ptv-vissim/> (дата звернення: 16.09.2025 р.)

[3] Особливості PTV Visum 17. веб-сайт URL: <https://pro-mobility.org/instruction/osoblyvosti-ptv-visum-17/> (дата звернення: 14.09.2025 р.)

УДК 620.313:004.891

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЗАВДЯКИ ЗАЛУЧЕННЮ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ СЬОГОДЕННЯ

MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF BRUSHLESS TRACTION MOTORS THROUGH THE INVOLVEMENT OF TODAY'S DIGITAL TECHNOLOGIES

канд. техн. наук В.П. Нерубацький

Український державний університет залізничного транспорту, (м. Харків)

Cand. of Eng. Sci. V.P. Nerubatskyi

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Сучасний розвиток засобів транспорту нерозривно пов'язаний із впровадженням технологій штучного інтелекту. Вони не лише взаємодоповнюють одна одну, а й формують нову концепцію мобільності, де екологічність поєднується з розумною автоматизацією, безпекою та зручністю [1, 2]. Завдяки штучному інтелекту докорінно трансформуються підходи до керування, технічного обслуговування та взаємодії засобів транспорту з довкіллям.

Безколекторні тягові двигуни широко застосовуються у засобах транспорту: сучасних локомотивах, трамваях, електромобілях, промислових тягових приводах. Зростання експлуатаційних навантажень, вимоги до безпеки та доступності рухомого складу, а також прагнення знизити експлуатаційні витрати роблять актуальним впровадження систем моніторингу технічного стану обладнання із застосуванням методів машинного навчання. Сьогодні розвиток і поступове впровадження методів машинного навчання безумовно є пріоритетним напрямом у сфері діагностики та виявлення несправностей вузлів і деталей засобів транспорту, адже вони виступають важливим засобом запобігання пошкодженням, що можуть призвести до збоїв у функціонуванні всієї системи [3, 4]. Сучасні цифрові технології (IoT, edge-обчислення, хмарні платформи, машинне навчання, Digital Twin, 5G) дозволяють здійснювати

безперервний моніторинг параметрів двигуна, передбачати відмови за допомогою аналізу даних, зменшувати витрати на технічне обслуговування та підвищувати ефективність експлуатації засобів транспорту [5–7]. Крім того, вони дають змогу перейти від планового або реактивного обслуговування до предиктивного (прогнозного), що зменшує простої, підвищує безпеку та оптимізує витрати.

Профілактичне обслуговування ґрунтується на моніторингу технічного стану тягового електродвигуна, що дає змогу своєчасно прогнозувати й запобігати можливим несправностям. Такий підхід підвищує надійність роботи двигуна та зменшує витрати на його обслуговування. Процес моніторингу технічного стану включає декілька основних етапів: локалізацію джерела несправності, ідентифікацію пошкоджених деталей, діагностику несправностей і причин їх появи, прогнозування можливих відмов і запобігання їм до моменту виникнення.

Етапи моніторингу реалізуються за допомогою датчиків, вбудованих у тягові електричні двигуни, які фіксують параметри напруги, струму, температури, вібрацій та рівня шуму. Інтелектуальні датчики збирають дані від тягового двигуна в режимі реального часу, після чого вони зберігаються в базі даних, створеній на основі хмарних технологій. Отримані параметри технічного стану порівнюються з еталонними значеннями нормальної роботи двигуна, а результати аналізу проходять подальшу обробку. На основі цих сигналів здійснюється оцінка технічного стану тягового двигуна в реальному часі та, за потреби, приймається рішення щодо проведення технічного обслуговування [8].

Таким чином, моніторинг технічного стану безколекторних тягових двигунів із застосуванням сучасних цифрових технологій – стратегічно важлива ініціатива для будь-якого оператора рухомого складу або промислового підприємства, що прагне підвищити надійність та знизити витрати. Хоча впровадження вимагає інвестицій та технічної експертизи, очікувані переваги (менше непланових простоїв, прогнозне обслуговування, підвищена безпека) зазвичай переважають початкові витрати. Впровадження моніторингу технічного стану тягових двигунів слід починати з розробки пілотного проєкту, поступово масштабуючи систему та поєднуючи класичні методи обробки сигналів із сучасними алгоритмами машинного навчання і концепцією Digital Twin для досягнення максимальної точності діагностики.

[1] Нерубацький В. П., Фалєєв Ф. Р. Інноваційні технології штучного інтелекту в галузі електричного транспорту. Матеріали двадцять першої науково-практичної міжнародної конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (Харків, УкрДУЗТ, 5–6 червня 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 351–354.

[2] Нерубацький В. П., Шаповалова Д. С. Системи прогнозування та оптимізації енергоспоживання трамвайного руху на основі технологій Big Data. Матеріали двадцять першої науково-практичної міжнародної конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (Харків, УкрДУЗТ, 5–6 червня 2025 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 354–356.

[3] Rasheed R., Qazi F., Dur e Shawar Agha, Ahmed A., Asif A., Shams H. Machine learning approaches for in-vehicle failure prognosis in automobiles: A review. *VFAST Transactions on Software Engineering*. 2024. Vol. 12, No. 1. P. 169–182. <https://doi.org/10.21015/vtse.v12i1.1713>.

[4] Нерубацький В. П., Фалєєв Ф. Р., Огурцов С. С. Застосування можливостей штучного інтелекту для розпізнавання об'єктів під час руху залізничного рухомого складу. Тези дванадцятої міжнародної науково-технічної конференції «Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2025)» (Харків – Краматорськ – Тернопіль, НТУ «ХПІ» – ДДМА, 14–16 травня 2025 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 77.

- [5] Pliuhin V., Herasymenko V., Trotsai A., Loktionov G., Sakhoshko T. The state and prospects of technical condition diagnostics methods for electric motors considering the digital twin concept. *Lighting Engineering & Power Engineering*. 2025. Vol. 64, No. 2. P. 145–152. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2025.64.2.02>.
- [6] Morkmechai S., Prainetr N., Prainetr S. A novel real-time monitoring and fault detection platform for enhanced reliability in brushless direct-current motor drive system. *Engineering Proceedings*. 2025. Vol. 86, Iss. 1. 4. <https://doi.org/10.3390/engproc2025086004>.
- [7] Нерубацький В. П., Шаповалова Д. С., Огурцов С. С. Розвиток концепції інтернету речей у сучасних містах. Тези дванадцятої міжнародної науково-технічної конференції «Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2025)» (Харків – Краматорськ – Тернопіль, НТУ «ХПІ» – ДДМА, 14–16 травня 2025 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 78.
- [8] Manafov E. K., Guliyev H. B., Huseynov F. H. Real-time assessment of the technical condition of traction motors using machine learning and IoT technologies. *Наука та прогрес транспорту*. 2025. № 2(110). С. 50–64. <https://doi.org/10.15802/stp2025/331096>.

УДК 656.2

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В СИСТЕМІ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ПРИКОРДОННИМИ СТАНЦІЯМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

DEVELOPMENT OF RISK MANAGEMENT METHODS IN THE OPERATIONAL MANAGEMENT SYSTEM OF TECHNICAL BORDER STATIONS OF RAILWAY TRANSPORT

*Професор, д.т.н., Л.О. Пархоменко,
аспірант О.М.С. Микитась, магістр А.В. Гмирянський
Український державний університет залізничного транспорту (м.
Харків)*

*Professor, Doctor of Technical Sciences, Parkhomenko L.O.,
postgraduate student Mykytas O-M. S., master Hmyryanskyi A.V/
Ukrainian State University of Railway Transport*

Сучасна система залізничного транспорту є складним багаторівневим механізмом, ефективність якого значною мірою визначається здатністю забезпечувати стабільні строки доставки вантажів. Особливу роль у міжнародних перевезеннях відіграють прикордонні технічні станції, де здійснюється передача вагонопотоків між залізничними адміністраціями різних країн. У таких умовах виникає низка ризиків, пов'язаних з технічними, організаційними та адміністративними чинниками, що можуть призвести до затримок у доставці вантажів і порушення логістичних графіків.

Дослідження показують, що найпоширенішими причинами ризиків у роботі прикордонних технічних станцій є: затримки, пов'язані з митними, прикордонними та контрольними процедурами; різниця у технічних параметрах колій і вагонів між країнами; неузгодженість графіків руху між суміжними адміністраціями; перевантаження інфраструктури або технічні несправності; людський фактор та недосконалість системи оперативного управління.

Для мінімізації впливу таких ризиків запропоновано впровадження технології ризик-менеджменту, яка передбачає системний підхід до виявлення, оцінки та управління ризиками в режимі реального часу. Основні етапи запропонованої технології включають: ідентифікацію ризиків, оцінку ризиків, розробку плану реагування, моніторинг та аналіз ефективності. Застосування даної технології базується на принципах оперативності, адаптивності та інформаційної прозорості, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни у виробничих процесах та мінімізувати ризики затримок.

Розробка технології ризик-менеджменту для прикордонних технічних станцій спрямована на підвищення ефективності управління транспортними процесами та забезпечення дотримання строків доставки вантажів. Її впровадження сприятиме підвищенню пропускнуєї спроможності станцій, скороченню простоїв вагонів, зменшенню економічних втрат від затримок і поліпшенню взаємодії між міжнародними залізничними структурами. Отже, застосування ризик-орієнтованого підходу є одним із ключових напрямів підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в умовах розвитку міжнародних логістичних коридорів.

[1] Бутко Т. В. Організація перевізного процесу на залізничному транспорті. — Харків: УкрДУЗТ, 2020.

[2] Кірта Г. М. Менеджмент і логістика на залізничному транспорті. — Київ: Транспорт України, 2019.

[3] ISO 31000:2018 — Risk Management — Guidelines. International Organization for Standardization.

[4] Сафронова А. В. Системи управління ризиками в логістиці: методологія та інструменти. — Одеса: ОНМУ, 2021.

[5] Гапоненко І. В. Моделювання логістичних ризиків у транспортних системах. — Львів: ЛНТУ, 2022.

УДК 656.2

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОНТЕЙНЕРНОЇ ЛОГІСТИКИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

OPTIMIZATION OF RAIL CONTAINER LOGISTICS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL PLATFORMS AND INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

*Док. техн. наук Л.О. Пархоменко, канд. техн. наук В.М. Прохоров,
Д.Д. Ковальов, О.В. Кофанов
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*L.O. Parkhomenko, Dr.Sc. (Tech.), V.M. Prokhorov, PhD (Tech.),
D.D. Kovaliov, O.V. Kofanov
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Зростання обсягів глобальних перевезень та конкуренція в логістичній галузі висувають підвищені вимоги до ефективності залізничної контейнерної логістики. Ключовою проблемою сьогодні є не окремі операції, а їхня

взаємозв'язок у рамках єдиного ланцюга поставок. Низька прозорість проходження контейнера, розрізненість інформаційних систем різних учасників процесу (залізниці, порти, логістичні оператори, клієнти) призводять до значних простоїв, неефективного використання парку контейнерів, збільшення термінів доставки та, як наслідок, втраті конкурентоспроможності залізничного транспорту порівняно з іншими видами перевезень.

Для подолання цих викликів необхідний перехід від управління окремими перевезеннями до управління складними логістичними системами на основі цифровізації та даних. Основними векторами розвитку є:

1. Створення єдиної цифрової екосистеми (англ. Digital Platform). Інтеграція всіх учасників ланцюга поставок на єдиній платформі, що забезпечує:

Повну візуалізацію та відстеження в реальному часі: Моніторинг місцезнаходження, стану контейнера (наприклад, за допомогою датчиків IoT), та його вантажу на всьому шляху проходження.

Автоматизацію документообігу: Цифрові транспортні накладні, митні декларації та інші документи, що зменшують адміністративні затримки.

«Вікно єдиного запиту»: Надання клієнтам та операторам можливості отримувати всю необхідну інформацію, розраховувати терміни та вартість, а також здійснювати бронювання через один інтерфейс.

2. Впровадження інтелектуальних систем прогнозування та планування. Використання технологій Великих Даних (Big Data) та Штучного Інтелекту (ШІ) для:

Прогнозування навантаження на термінали та станції: Аналіз історичних даних, сезонності, економічних індикаторів для оптимального розподілу ресурсів (крани, площадки, локомотиви).

Динамічного планування порожніх контейнерів: Алгоритми ШІ можуть визначати оптимальні маршрути та точки для збалансованого перерозподілу порожнього контейнерного парку, мінімізуючи його холостий пробіг.

Оптимізації маршрутів та складання поїздів: Формування контейнерних поїздів з урахуванням пріоритетності вантажу, можливості інтермодальних перевезень та мінімізації часу на сортувальних станціях.

Очікувані економічні та операційні ефекти. Реалізація запропонованих заходів дозволить досягти значного синергетичного ефекту:

Скорочення часу обороту контейнера: Мінімізація простоїв на станціях перевантаження та в очікуванні документів призведе до збільшення кількості рейсів за рік одним і тим же контейнером.

Підвищення пропускної спроможності терміналів: Завдяки точному плануванню та оптимізації вантажних операцій.

Зниження операційних витрат: Економія за рахунок скорочення часу простою рухомого складу, зменшення адміністративних витрат та більш ефективного використання контейнерного парку.

Підвищення якості сервісу та клієнтоорієнтованості: Надання клієнтам прозорості, передбачуваності та гнучкості, що є вирішальними факторами в сучасній логістиці.

Таким чином, трансформація залізничної контейнерної логістики на основі цифрових платформ та інтелектуальних систем є стратегічним імперативом. Це дозволить залізничному транспорту не лише підвищити власну ефективність, але й стати повноцінною інтегрованою ланкою в глобальних мультимодальних ланцюгах поставок, забезпечуючи швидкі, надійні та економічно вигідні перевезення.

[1] Пархоменко Л.О., Прохоров В.М., Калашнікова Т.Ю., Шандер О.Е. Розроблення СППР для управління процесом формування контейнерних поїздів у рамках системи інтермодальних перевезень. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2023. № 3. С. 29–42.

УДК 004.9:656.078

ІНТЕГРОВАНІ BIM-МОДЕЛІ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ТЕРМІНАЛІВ

INTEGRATED BIM MODELS AS A TOOL FOR INCREASING THE RESILIENCE OF TRANSPORT TERMINALS

аспірант П.В. Квасов, к.т.н. доц. С.М. Продащук
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

postgraduate P.V. Kvasov, PhD (Tech.) S.M. Prodashchuk
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Актуальність дослідження зумовлена зростаючими вимогами до стійкості та безперервності функціонування транспортних терміналів, які в умовах інтенсивних логістичних потоків та підвищеної інфраструктурної вразливості стикаються з ризиками перевантаження, неефективного використання ресурсів і зниження пропускної спроможності. Традиційні підходи до проектування та управління об'єктами транспортної інфраструктури не забезпечують достатнього рівня прозорості даних, швидкості реагування та здатності моделювати складні динамічні сценарії [0]. Використання BIM-технологій є необхідним у сучасному транспортному секторі, адже забезпечує прогнозованість, адаптивність і підвищену стійкість інфраструктури в умовах зростаючої невизначеності та складності логістичних процесів.

Метою дослідження є обґрунтування ролі інтегрованих BIM-моделей у підвищенні стійкості транспортних терміналів та визначення ключових напрямів їх практичного застосування в управлінні інфраструктурними процесами.

Основою сучасної цифрової трансформації транспортної інфраструктури є концепція Building Information Modeling, що передбачає створення багатовимірних цифрових моделей об'єкта з урахуванням його геометричних, технологічних, економічних та експлуатаційних характеристик. Інтегровані BIM-моделі поєднують дані різних форматів у єдиному інформаційному

середовищі, забезпечуючи узгодженість параметрів, прозорість процесів і можливість комплексного аналізу функціонування інфраструктурного комплексу [0]. У транспортній сфері такі моделі виступають цифровою основою для проєктування, експлуатації, планування потоків та побудови сценаріїв розвитку терміналів.

Транспортні термінали функціонують в умовах значної динамічності вантажопотоків, нерівномірного розподілу навантажень, підвищених ризиків затримок, перевантаження та технічних збоїв. Їх стійкість залежить від здатності оперативно реагувати на зміну зовнішніх параметрів, підтримувати оптимальний рівень пропускної спроможності та забезпечувати ефективну координацію дій між усіма учасниками логістичного процесу [0]. Традиційні схеми управління виявляються недостатніми для забезпечення такої гнучкості, що актуалізує потребу у цифрових інструментах, здатних моделювати складні операційні сценарії та прогнозувати поведінку системи в умовах невизначеності.

Використання BIM-технологій дозволяє підвищити стійкість транспортних терміналів завдяки можливості створення тривимірних, часових, вартісних та експлуатаційних моделей (3D/4D/5D/6D), що відображають увесь життєвий цикл об'єкта. Створення цифрових двійників терміналів відкриває можливість тестування різних сценаріїв роботи, оцінки впливу зовнішніх факторів і оптимізації ресурсного забезпечення.

Інтеграція BIM-моделей у систему управління транспортним терміналом забезпечує суттєве підвищення його операційної стійкості за рахунок оптимізації потоків, зменшення простоїв та більш точного прогнозування завантаження інфраструктури. Для візуалізації впливу впровадження BIM на ефективність функціонування терміналу доцільно проаналізувати зміну його пропускної спроможності протягом останніх років (рис 1.)

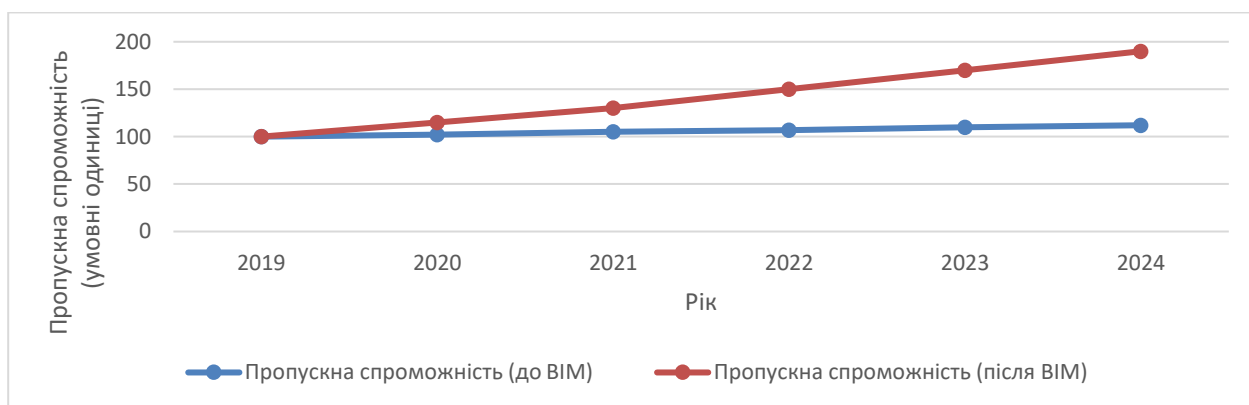


Рис. 1 - Динаміка пропускної спроможності транспортного терміналу до та після впровадження інтегрованих BIM-моделей[0;0]

Практичне впровадження інтегрованих BIM-моделей забезпечує транспортним терміналам низку важливих переваг, серед яких оптимізація логістичних маршрутів, підвищення пропускної здатності інфраструктури, скорочення часу простою обладнання та покращення координації між операторами. Цифрова модель стає інструментом стратегічного і оперативного

управління, що дозволяє підвищувати ефективність використання інфраструктурних ресурсів, зменшувати витрати та забезпечувати стійке функціонування терміналів в умовах зростаючої складності логістичного середовища.

- [1] Alhady A., Alanany M., Khodair Y., Salem S., El Maghraby Y. Integrating building information modelling (BIM) and extended reality (XR) in the transportation infrastructure industry. *Advances in Bridge Engineering*. 2024. Vol. 5. Article no. 22. URL: <https://aben.springeropen.com/articles/10.1186/s43251-024-00132-6> (дата звернення: 16.11.2025).
- [2] Pirdavani A., et al. Application of building information modeling (BIM) for infrastructure projects: a scoping review. *ScienceDirect*. 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523011973> (дата звернення: 16.11.2025).
- [3] Lee S.-J., Yun H.-S., Kim J.-S., Byun H.-D., Lee S.-H. Disaster Risk Reduction Audits and BIM for Resilient Highway Infrastructure: A Proactive Assessment Framework. *Buildings*. 2025. Vol. 15. No. 14. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/14/2545> (дата звернення: 16.11.2025).
- [4] Nielsen O. A. A Review of Global Efforts in BIM Adoption for Road Infrastructure. *Buildings*. 2024. Vol. 9. Issue 8. Article 126. URL: <https://www.mdpi.com/2412-3811/9/8/126> (дата звернення: 16.11.2025).

УДК 656.22:004.42

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДИСПЕТЧЕРІВ ЗАЛІЗНИЦІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ ВВЕДЕННЯ КОМАНД

IMPROVING THE EFFICIENCY OF RAILWAY DISPATCHERS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF ALTERNATIVE COMMAND INPUT METHODS

канд. техн. наук С.М. Продащук, О.В. Горкун

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

S. Prodashchuk PhD (Tech.), O. Horkun

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

У сучасних умовах цифровізації транспортної галузі одним із ключових напрямів підвищення ефективності та безпеки управління рухом поїздів є вдосконалення технологій роботи диспетчерів. Згідно з Правилами технічної експлуатації залізниць, основним пріоритетом у роботі залізничного транспорту є безпека руху [1]. Диспетчери – поїзні, маневрові та чергові по станції – здійснюють контроль поїзної та маневрової роботи, ведуть графіки руху, оформлюють документацію та координують дії працівників різних підрозділів. Висока тривалість робочої зміни (12 годин) призводить до накопичення втоми, що безпосередньо впливає на точність і швидкість прийняття рішень.

Аналіз наукових джерел [2-4] засвідчив, що найбільш перспективним напрямом підвищення ефективності роботи диспетчерів є застосування альтернативних методів введення команд на автоматизованих робочих місцях

(АРМ), які дозволяють зменшити навантаження на оператора, підвищити точність дій та скоротити час виконання операцій.

Запропоновано низку альтернативних методів введення: радіальне меню, у якому команди розташовані навколо курсору, що забезпечує рівновіддаленість опцій, швидкий доступ і зменшення кількості помилок; сенсорне управління, що забезпечує більшу швидкість і зручність вибору команд при роботі на великих дисплеях; гарячі клавіші, які дозволяють мінімізувати час між виявленням події та реакцією; голосове управління та жести, що дають змогу зменшити фізичне навантаження, але потребують спеціалізованих алгоритмів розпізнавання та шумоізоляції.

Для порівняння ефективності методів було використано закон Фіттса [5], який визначає час переміщення в залежності від відстані до цілі та її розміру. На основі експериментального моделювання визначено, що радіальне меню забезпечує найкращий баланс між швидкістю та точністю введення команд, тоді як гарячі клавіші є найшвидшим методом. Використання сенсорних екранів покращує ергономіку роботи, а голосове управління та жести мають найнижчі показники надійності через технічні обмеження.

Для реалізації радіального меню розроблено логічну схему визначення команд на основі координат курсору та кута його переміщення. Оптимальні клавіші для гарячих команд – «QWERTASDF», що зручно розташовані під лівою рукою диспетчера. Визначено, що сила натискання перед точкою активації клавіші має бути не менше 50 г (тип CherryMX Blue), що забезпечує необхідну тактильну та звукову віддачу.

У результаті дослідження створено оціночну таблицю за критеріями швидкості, точності, надійності, необхідності концентрації, зрозумілості та традиційності. За загальною оцінкою найефективнішим методом виявилось радіальне меню, найшвидшим – гарячі клавіші, а найменш напруженим – голосове управління та жести.

Впровадження альтернативних методів введення команд доцільно здійснювати як доповнення до традиційних, забезпечуючи диспетчерам можливість вибору найбільш зручного інтерфейсу. Це сприятиме зменшенню професійної втоми, підвищенню швидкості прийняття рішень та загальному рівню безпеки руху поїздів.

Таким чином, розроблені рішення дозволяють підвищити ефективність роботи диспетчерів залізничного транспорту, зменшити ризики помилок і покращити безпеку руху завдяки впровадженню адаптивних, ергономічних і швидкодіючих методів введення команд.

[1] Правила технічної експлуатації залізниць. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text>

[2] Carl Stanton Ross & Baruzzini | Macro. Augmented Reality Dispatcher Interface *IDEA Program Transportation Research Board* – Washington, 2021. №92. 31 с

[3] Jinglong He, Sheng Yang, Jingming Liu, Yuan Fu. Construction and realization of simulation training environment based on AI-assisted simulation of real scenarios of dispatching and commanding operations. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences* – Guangxi, 2024. – Vol. 9. №1. С. 1–19.

[4] J Arcadi Grigorian, Paul Fang, Tate Krikio. Learning from gamers: integrating alternative input devices and auto hotkey scripts to simplify repetitive tasks and improve workflow. *Radiological society of North America* – Oak Brook, 2020 – Vol. 40. №1. С. 141–149.

УДК 656.2

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

RELIABILITY ENHANCEMENT OF COMPLEX TRANSPORTATION SYSTEMS USING DIGITAL TWINS

канд. техн. наук В.М. Прохоров

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

V.M. Prokhorov, PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Ефективність сучасної транспортної системи України залежить не лише від надійності окремих видів транспорту, але й від їх безшовної взаємодії. Залізничний транспорт, як основа вантажопотоку та ключовий елемент пасажирських перевезень на далекі відстані, часто стає «вузьким місцем» через відсутність оперативної синхронізації з автомобільним, міським та річковим транспортом. Ця системна розбалансованість призводить до неоптимальних простоїв, зриву логістичних вікон та критичного зниження загальної надійності мережі.

Цифрова трансформація вимагає переходу до якісно нового рівня управління. Впровадження цифрових двійників залізничної інфраструктури та рухомого складу є ключовим інструментом для підвищення надійності всієї транспортної системи шляхом створення інтелектуального середовища для проактивного прогнозування, оперативного управління та мультимодальної інтеграції.

Ключові аспекти впровадження цифрових двійників із акцентом на залізницю та системну стійкість:

1. *Проактивне управління ризиками та забезпечення технологічної пропускної здатності.* Цифровий двійник, інтегруючи прогнози функціонального стану інфраструктури та рухомого складу, дозволяє системі до настання фактичного збою оцінити вплив потенційних технологічних відмов на пропускну та переробну спроможність вузлів. На основі цих даних система оперативно обирає рухові та маневрові рішення (перенаправлення, зміна черговості), які раціонально мінімізують потенційні обмеження на рух, запобігаючи невиробничим простоям у процесі перевезень.

2. *Оптимізація пропускної спроможності вузлів та хабів.* Створення цифрового двійника великих сортувальних станцій, морських портів із залізничними під'їздами та логістичних центрів дозволяє моделювати й

оптимізувати всі внутрішні процеси. Система в режимі, близькому до реального часу, здатна координувати маршрутизацію рухомого складу, усуваючи конфлікти та створюючи «зелені коридори» для критично важливих вантажопотоків.

3. *Синхронізація розкладів у єдиний логістичний ланцюг.* Цифровий двійник виступає як єдине середовище для тестування різних сценаріїв руху. Це дає змогу не просто скласти розклад руху поїздів, а інтегрувати його з графіками роботи суміжних видів транспорту (автобусні підвози до вокзалів, міський електротранспорт, обробка контейнерів у портах), максимізуючи частку часу функціонування системи у штатному режимі.

4. *Управління наслідками та відновленням після збоїв.* У разі технологічних відмов (наприклад, збою графіка руху через технічну несправність) цифровий двійник дозволяє швидко розробити оптимальний план відновлення. Система моделює альтернативні маршрути та організовує перерозподіл потоків, значно скорочуючи час повернення до нормального функціонування.

5. *Формалізація управління наслідками* на основі семантичних онтологій. Для оперативного реагування на системні збої використовується онтологія транспортної мережі. Ця формальна модель, що описує зв'язки та правила, дозволяє системі автоматично, шляхом логічного виводу, визначати всі порушені маршрути, доступні альтернативи та формувати формалізований план відновлення для інтелектуальних планувальників.

Таким чином, цифровий двійник залізничної системи виступає не як ізольований інструмент, а як системоутворююче ядро, що забезпечує глибоку мультимодальну інтеграцію. Використання формальних математичних моделей (онтологій, предикативних обмежень) перетворює управління транспортною системою з реактивного на проактивне, забезпечуючи принципово новий рівень надійності, ефективності та стійкості всієї транспортної мережі країни.

[1] Krnac, E., Djordjevic, B. Digital Twins for Railway Sector: Current State and Future Directions. *IEEE Access*. 2024. 99, 1-1. doi:10.1109/ACCESS.2024.3439471.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЛОЧНИХ ПОЇЗДІВ У ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFICIENCY OF BLOCK TRAINS IN FREIGHT TRANSPORTATION

*Аспірант О.О. Логозинський, канд. техн. наук, доцент В.М. Прохоров
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*О.О. Logozyński (postgraduate), V.M. Prokhorov, PhD (Tech.),
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Інтенсивний розвиток логістичних технологій у залізничному транспорті обумовлює необхідність пошуку ефективних рішень для організації вантажних перевезень. Одним із таких рішень є блочні поїзди, що формуються на станції відправлення без подальшого сортування. Ця технологія активно використовується у Німеччині, Польщі та Китаї в рамках концепцій unit-train та shuttle-train, де показала високу ефективність у зниженні витрат і прискоренні доставки [1]. В Україні потенціал цієї технології залишається недостатньо реалізованим, що й зумовлює актуальність дослідження. Метою роботи є розробка математичної моделі для кількісного обґрунтування доцільності використання блочних поїздів у вантажних перевезеннях. Для цього було застосовано метод лінійного програмування, який дозволяє формалізувати задачу мінімізації сумарних витрат за певних технічних обмежень. Цільова функція моделі має вигляд [2]:

$$Z = 508x + 712y \rightarrow \min \quad (1)$$

де: x — кількість блочних поїздів; y — кількість звичайних поїздів.

Коефіцієнти 508 і 712 сформовано на основі оцінених витрат часу (8 годин і 12 годин відповідно) [3] та енерговитрат (500 та 700 умовних одиниць) [4].

Обмеження:

$$\left\{ \begin{array}{l} x + y \geq 20 \\ x \leq 15 \\ 2x + 3y \leq 60 \end{array} \right\} \quad (2)$$

де: $x + y \geq 20$ (мін. кількість поїздів), $x \leq 15$ (інфраструктурне обмеження), $2x + 3y \leq 60$ (локомотивні ресурси).

Допустима область задачі представлена як трикутник, в межах якого графічно знайдено оптимальну точку (15;5). Аналіз напрямку градієнта $\nabla Z = (508; 712)$ підтвердив, що ця точка є точкою мінімуму.

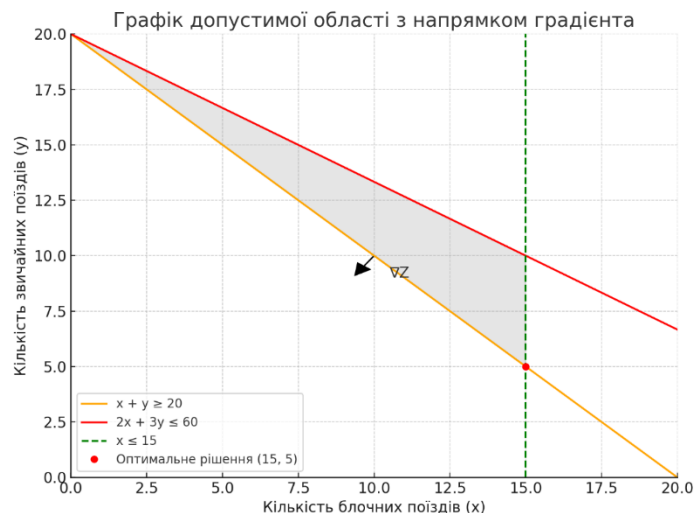


Рис.1 Графічне представлення допустимої області з напрямком градієнта

Таким чином, максимальне використання блочних поїздів за наявних обмежень є оптимальним рішенням [5]. Розроблена модель може бути адаптована до змін зовнішніх умов (наприклад, дефіциту енергоресурсів, збоїв у логістиці) та використана у складі автоматизованих систем підтримки прийняття рішень [6]. Подальші дослідження доцільно спрямувати на врахування стохастичних чинників, топологічних змін мережі та розвиток інтегрованих транспортних моделей.

- [1] An Integrated Rescheduling Model for Minimizing Train Delays in the Case of Line Blockage. *International Journal of Railway Operations and Management*, 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/316454915> (дата звернення: 24.05.2025)
- [2] Бутко ТВ, Прохоров ВМ. Побудова математичних моделей для розробки методу розрахунку оптимального плану формування поїздів та забезпечення його виконання. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016;160 Дод:104.
- [3] Офіційна статистика АТ «Укрзалізниця» за 2023–2024 роки. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: <https://mindev.gov.ua/diialnist/napiamy/zaliznychnyi-transport/statystychni-dani-pro-ukrainsku-zaliznytsiu/statystychni-dani-po-at-ukrзалізnytisia-za-2023-2024-roky> (дата звернення: 24.05.2025).
- [4] АТ «Укрзалізниця». Оперативна статистична інформація. Презентація ЦЧУ ОК Жовтень 2024 р.
- [5] Правила планування перевезень вантажів: Затв. наказом Міністерства транспорту України від 09.12.2002 № 873. Зареєстр. в Мін'юсті України 29.12.2002 за № 1030/7318. URL: https://uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/terms_of_freight/263045/ (дата звернення: 05.05.2025).
- [6] Прохоров В.М. Розробка методу розрахунку плану формування поїздів на основі стохастичної комбінаторної оптимізації // *ScienceRise*. – 2016. – № 6(31). – С. 35–39. DOI: 10.15587/2313-8416.2016.84109.

ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАГОНОПОТОКІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ БЛОЧНИХ ПОЇЗДІВ

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ORGANIZING WAGON FLOWS BASED ON THE BLOCK TRAIN SYSTEM

*Аспірант О.О. Логозинський, канд. техн. наук, доцент В.М. Прохоров
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*О.О. Logozynskyi (postgraduate), V.M. Prokhorov, PhD (Tech.),
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

У сучасних умовах зростання вимог до надійності та передбачуваності залізничних перевезень особливо актуальним є впровадження технологій, які зменшують кількість маневрових операцій, скорочують простої вагонів та забезпечують інтеграцію української залізничної мережі у міжнародні транспортні коридори. Однією з таких технологій є система блочних поїздів, що передбачає формування однорідних вагонопотоків без проміжної переробки та виконання сортувальних операцій лише на початковій станції [1,2].

У роботі проведено аналітичне дослідження двох технологічних варіантів формування поїздів:

(1) традиційна технологія (варіант Т1), яка включає накопичення вагонів із нерівномірним надходженням та виконанням додаткових сортувальних операцій,

(2) блочна технологія (варіант F1), яка характеризується стабільністю надходження вагонів та відсутністю проміжної переробки [3,4].

Потік надходження вагонів у моделі описано стохастичним пуассонівським процесом з інтенсивністю λ , що відповідає реальним умовам роботи багатьох промислових та під'їзних колій. Час накопичення вагонів визначається співвідношенням:

$$T_{\text{нак}} = \frac{N}{\lambda}, \quad (1)$$

де N - необхідна кількість вагонів для формування поїзда. Для традиційної технології враховано додаткові часові складові, зокрема сортування, маневрування та можливі технологічні затримки, що збільшують загальний час формування та знижують регулярність [5].

Дисперсія часу накопичення для нерівномірного потоку визначається формулою:

$$D(T) = \frac{N}{\lambda^2}, \quad (2)$$

що свідчить: за низьких значень λ стохастичні коливання є суттєвими та можуть порушувати технологічний цикл формування поїздів. Блочна технологія (F1), на відміну від традиційної, передбачає детерміноване надходження вагонів або регламентований потік інтермодальних контейнерів, що практично усуває дисперсію та забезпечує високу передбачуваність [3,4].

На основі запропонованої моделі виконано сценарний аналіз. Для умовного вагонопотоку обсягом 120 вагонів/добу встановлено, що блочний поїзд формується на 22-30 % швидше за традиційний, а дисперсія часу накопичення є нижчою майже у 1,7 раза [5,6]. У варіанті F1, що характерний для військових або інтермодальних перевезень із постійною інтенсивністю, час формування є фіксованим, що критично важливо для логістики високої відповідальності [1,3].

Окрему увагу приділено можливості використання моделі на практиці. Розрахунки можуть бути адаптовані до реальної станції за умови введення фактичних параметрів: інтенсивності прибуття вагонів, структури потоків, тривалості маневрових операцій, кількості колій накопичення. У роботі наведено рекомендації щодо застосування MATLAB для візуалізації залежностей $T_{\text{нак}}(\lambda)$, дисперсії та показників надійності. Модель дозволяє оперативно оцінити вплив структурних змін вагонопотоку на час формування поїздів та пропускну спроможність вузла [1,2,3].

Отримані результати підтверджують значні переваги блочних поїздів при роботі з великими однорідними вагонопотоками або стабільними потоками контейнерів. Впровадження такої технології в умовах Укрзалізниці сприятиме зменшенню навантаження на сортувальні станції, підвищенню інтероперабельності із системами залізниць країн ЄС та скороченню часу проходження міжнародних коридорів [4,5]. Модель може бути використана як основа для розробки автоматизованих систем підтримки прийняття рішень щодо поїздоутворення.

[1] Бутько ТВ, Прохоров ВМ. Перспективи використання нейронечітких технологій при удосконаленні АРМ оперативного персоналу залізниць. Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2006;8:29–36.

[2] Лаврухін ОВ, Прохоров ВМ. Принципи удосконалення технології управління маневровою роботою на основі Байєсових мереж. Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2007;(11):21–7.

[3] Прохоров В.М., Рябушка Ю.А. Розрахунок плану формування поїздів на основі стохастичної комбінаторної оптимізації. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016;165:214–25. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/272> (дата звернення: 10.11.2025)

[4] Newton HN, Barnhart C, Vance PH. Constructing railroad blocking plans to minimize handling costs. Transp Sci. 1998;32:330–45.

[5] Бутько ТВ, Прохоров ВМ. Побудова математичних моделей для розробки методу розрахунку оптимального плану формування поїздів та забезпечення його виконання. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016;160 Дод:104.

[6] Прохоров В.М. Розробка методу розрахунку плану формування поїздів на основі стохастичної комбінаторної оптимізації // *ScienceRise*. – 2016. – № 6(31). – С. 35–39. DOI: 10.15587/2313-8416.2016.84109.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

OPTIMIZATION OF CLASSIFICATION STATION OPERATIONS BASED ON THE INTEGRATION OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

К.А. Мирошниченко, канд. техн. наук В.М. Прохоров

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

K.A. Myroshnychenko, V.M. Prokhorov, PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Сучасні залізничні станції та ділянки функціонують як складні багатофакторні системи, ефективність яких безпосередньо впливає на пропускну здатність всієї транспортної мережі. Традиційні підходи до управління місцевими операціями, такі як формування складів, маневрова робота та розподіл ресурсів, все частіше виявляються неефективними перед лицем різких коливань вантажопотоків, необхідності інтеграції в міжнародні транспортні коридори та високих вимог до точності логістики. Існуюча неефективність призводить до значних матеріальних втрат, збільшення енерговитрат і нераціонального використання кадрового потенціалу.

Вирішення цих проблем лежить у площині комплексної цифровізації та впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (DSS). Ключовими складовими такого підходу є:

1. Створення єдиного інформаційного простору станції. Це передбачає інтеграцію даних від різноманітних джерел: систем телемеханіки, датчиків IoT на коліях та вагонах, GPS-трекерів маневрових локомотивів, а також зовнішніх логістичних систем. Об'єднання цих даних у реальному часі формує цілісну картину операційної обстановки.

2. Впровадження передових методів аналітики та штучного інтелекту (ШІ). Алгоритми машинного навчання, застосовані до історичних та поточних даних, здатні не тільки оптимізувати розклад маневрової роботи, але й прогнозувати можливі порушення графіка, пропонувати превентивні заходи щодо їх усунення та автоматично перенаправляти ресурси. Системи на основі ШІ можуть моделювати різні сценарії розвитку подій, що дозволяє оцінити наслідки управлінських рішень до їх практичної реалізації.

3. Розробка адаптивних моделей управління. Замість жорстких регламентів пропонуються гнучкі методи оперативного планування, здатні динамічно адаптуватися до змінних умов. Наприклад, система може автоматично перерозподіляти маневрові локомотиви між гірками при раптовому збільшенні інтенсивності прибуття потягів або змінювати пріоритетність завдань при виникненні «вікон» у графіку руху.

Очікувані ефекти та результати. Реалізація запропонованого підходу дозволить досягти синергетичного ефекту:

– *Економічного*: Скорочення часу простою вагонів на 15-25%, зниження експлуатаційних витрат за рахунок оптимального використання тягових ресурсів та електроенергії, мінімізація штрафів за порушення графіку руху.

– *Технологічного*: Підвищення точності та швидкості виконання операцій, зменшення впливу людського фактора, автоматизація звітності та документообігу.

– *Стратегічного*: Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту шляхом забезпечення високої надійності та передбачуваності доставки вантажів, що є критично важливим для участі в глобальних ланцюгах поставок. Це також сприяє підвищенню безпеки руху та екологічності перевезень за рахунок мінімізації маршрутів холостого пробігу.

Таким чином, трансформація залізничних сортувальних станцій на основі інтелектуальних систем управління є не просто технологічним оновленням, а стратегічним кроком у побудові стійкої, гнучкої та економічно ефективної транспортної системи майбутнього, здатної функціонувати в умовах високої динаміки та невизначеності.

[1] Пархоменко Л.О., Прохоров В.М., Калашнікова Т.Ю. Удосконалення технології управління місцевою роботою дільниці в умовах невизначеності на основі робастної оптимізації. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2024. № 3. С. 3–12.

УДК 656.2

УДОСКОНАЛЕННЯ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАГОНІВ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ МЕРЕЖІ

IMPROVING THE PLANNING OF RAILWAY TRANSPORTATION OF WAGONS WITH DANGEROUS GOODS IN THE RAILWAY NETWORK

к.т.н. А.І. Кузьменко¹, магістр М.А. Величко², аспірант О.В. Новіков²

¹Університету митної справи та фінансів (м. Дніпро)

²Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Ph.D. in Sci. Eng., A.I. Kuzmenko¹, Msc M. Velichko², PhD student O. Novikov²

¹University of Customs and Finance (Dnipro)

²Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Перевезення небезпечних вантажів (НВ) на залізничному транспорті України займає значну частку від загального обсягу вантажопотоків [1]. Це дозволяє забезпечити роботу таких ключових галузей як хімічної, нафтопереробної, аграрної, металургійної та оборонної. В умовах воєнного стану, руйнування та пошкодження інфраструктури, підвищення ризиків актуалізуються питання

безпеки, стійкості та ефективності управління перевезеннями з урахуванням особливостей і ризиків проведення операцій з вагонами завантаженими НВ. Під час організації операцій з НВ виникають додаткові загрози, що можуть призвести до вибухів, пожеж, токсичних викидів, техногенного ураження персоналу та населення [2]. Відсутність адаптивних планувальних механізмів призводить до затримок вагонів, додаткових витрат на простої та обмежень пропускну здатності дільниць і станцій. Тому виникає потреба у розробці сучасних математичних підходів до раціонального планування перевезень вагонів з небезпечними вантажами з урахуванням ризик-орієнтованого управління з врахуванням технічних та технологічних обмежень та можливих сценаріїв надзвичайних ситуацій на інфраструктурних об'єктах. Такий науково обґрунтований підхід сприятиме підвищенню безпеки руху поїздів, стійкості логістичних ланцюгів та ефективності функціонування залізничного транспорту України у воєнний та післявоєнний періоди розвитку [1-3].

Для досягнення поставленого завдання в роботі розроблено оптимізаційну модель планування операцій з вагонами завантаженими НВ з урахуванням оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій в елементах підсистеми «маневровий район станції – дільниця примикання». Розроблена математична модель враховує задані інфраструктурні обмеження, коефіцієнт безпеки з урахуванням класу вантажу, технологічні режими обробки вагонів та ресурсоемності операцій за часом та витратами. Удосконалено модель прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на станціях за допомогою оцінки ризиків із урахуванням географічних, технологічних та стохастичних факторів на основі методу випадкових дерев.

Розроблена модель дозволяє оптимізувати послідовність операцій та час знаходження вагонів на станціях, зменшити витрати, підвищити рівень безпеки руху поїздів та підтримувати управлінські рішення у системах цифрового планування у т.ч. перспективних платформ eFTI [4]. У перспективі розроблений планувальник може бути інтегровано у системи управління перевізним процесом АТ «Укрзалізниця», з використанням цифрових технологій (GPS-моніторинг, телематики та аналітики ризиків), а також застосована для формування регламентів безпечної взаємодії підрозділів руху поїздів, охорони праці, ДСНС та органів місцевого самоврядування.

[1] Переста І. Я., Яришкіна Л. О., Музикіна С. І., Зеленько Ю. В., Журавель І. Л. Забезпечення вдосконалення профілактичних заходів під час перевезень небезпечних вантажів. Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2011. Вип. 1. С. 82-88. DOI: 10.15802/tstt2011/17172.

[2] Лаврухін О., Ковалов А., Шевченко В., Киман А., Кульова Д. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2, No. 3(98). P. 25–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163442.

[3] Mohammadfam I., Pishvaei M. S., Tavakkoli-Moghaddam R. Quantitative Risk Analysis on Rail Transportation of Hazardous Materials. Mathematical Problems in Engineering. 2022. Article ID 6162829. DOI: 10.1155/2022/6162829

[4] Регламент Європейського Парламенту та Ради (ЄС) 2020/1056 про електронну інформацію щодо вантажних перевезень (eFTI) від 15 липня 2020 року. Офіційний журнал Європейського Союзу. L 249. 31 с. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R1056> (дата звернення 12.11.2025).

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ВИБОРУ МІЖНАРОДНИХ
ЗАЛІЗНИЧНИХ МАРШРУТІВ СЛІДУВАННЯ ПАСАЖИРІВ НА ОСНОВІ
ЦИФРОВІЗАЦІЇ**

**IMPROVING THE PROCEDURE FOR SELECTING INTERNATIONAL
RAILWAY PASSENGER ROUTES THROUGH DIGITALIZATION**

*К.т.н. Г.О. Прохорченко, магістр Т.О. Кольєва,
магістр Я.С. Міщенко, магістр Д.Є. Цабора
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Eng.) H. Prokhorchenko, MSc T. Kolieva,
MSc Ya. Mishchenko, MSc D. Tsabora
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Підвищення мобільності населення у міжнародному сполученні є особливо важливим для України, оскільки після початку повномасштабної російської війни значно збільшились міграційні потоки [1]. Мільйони громадян були змушені перетинати кордон для пошуку безпечних умов життя, праці та навчання, що суттєво збільшило потребу у доступних, зручних та надійних маршрутах перевезень пасажирів. У цих умовах залізничний транспорт залишається ключовим елементом мобільності населення, адже забезпечує стійкість перевезень, високу пропускну спроможність і стабільність роботи навіть у періоди значних кризових явищ. Разом із тим міжнародні залізничні подорожі для українських пасажирів залишаються складними через відсутність єдиного інформаційного ресурсу, який би об'єднував дані про розклади, тарифи, пересадки, особливості транспортних вузлів, технічні параметри інфраструктури різних країн та доступність проїзних документів. Пасажири вимушені самостійно опрацьовувати численні джерела інформації, що ускладнює планування маршруту і знижує ефективність використання залізничного транспорту. Такі виклики підсилюють потребу у вдосконаленні цифрових платформ та процедур вибору міжнародних залізничних маршрутів слідування пасажирів.

В роботі запропоновано дослідити рівень цифровізації залізничних пасажирських перевезень Республіки Франція та порівняти з Україною [2]. Виявлено, що важливим напрямом підвищення доступності залізниці є створення інтегрованого цифрового середовища, що міститиме повну, узгоджену й стандартизовану інформацію про можливі міжнародні маршрути пасажирів до місць призначення. Для удосконалення процедур вибору міжнародних залізничних маршрутів слідування пасажирів розроблено математичну модель. Досліджено важливість застосування моделей на базі теорії ігор [3] та методів оптимізації [4]. Запропоновані критерії, що найбільше впливають на прийняття

рішень пасажирами щодо вибору маршруту подорожі. Доведено, що розробка цифрової платформи з інтеграцією функцій планування перевезеннями може суттєво спростити процес прийняття рішень, підвищити доступність залізничного транспорту та забезпечити менші транспортні витрати.

Удосконалення механізмів вибору міжнародних залізничних маршрутів створює передумови для формування сучасної транспортної системи України, інтегрованої з європейським простором, підвищує конкурентоспроможність залізничних перевезень та сприяє зміцненню мобільності населення в умовах воєнних викликів і майбутньої відбудови держави.

[1]. The forced migration from Ukraine after the full scale Russian invasion // European Societies. 2024. DOI: 10.1080/14616696.2023.2268150. MIT Press Direct. URL: <https://direct.mit.edu/euso/article/26/2/469/127330> (дата звернення: 15.11.2025).

[2]. SNCF Connect. Book your train tickets to France and Europe. URL: <https://www.sncf-connect.com/en-en/> (дата звернення: 14.11.2025).

[3]. Hwang S.H. Strategic decompositions of normal form games: zero-sum equivalent games and zero-sum equivalent potential games. Journal of Economic Theory. 2020. Vol. 188. Article 105023. DOI:10.1016/j.jet.2020.105023.

[4]. Yao Z., Nie L., Fu H. Railway line planning with passenger routing: Direct-service network representations and a two-phase solution approach. Transportation Research Part B: Methodological. 2024. Vol. 186. DOI:10.1016/j.trb.2024.102989

УДК 656.223.2.001.18

ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ УКРАЇНИ В МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

PASSENGER TRANSPORTATION BY RAILWAY TRANSPORT OF UKRAINE IN INTERNATIONAL CONNECTION

канд. техн. наук Л.І. Рибальченко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

L.I. Rybalchenko, PhD (Tech.)

Ukrainian State University of railway transport (Kharkiv)

У сучасних реаліях інтеграції України до європейського транспортного простору залізничні пасажирські перевезення у міжнародному сполученні набувають особливого значення. Залізниця забезпечує не лише зручний і відносно доступний спосіб подорожей, але й виступає важливим інструментом соціально-економічної та культурної взаємодії між державами. Особливої актуальності ця тема набула після 2022 року, коли залізничний транспорт став ключовим каналом мобільності громадян України та засобом підтримання транспортної єдності з ЄС.

На сьогодні мережа міжнародного залізничного сполучення України охоплює низку напрямків, що поєднують українські міста з країнами Центральної та Східної Європи — Польщею, Словаччиною, Угорщиною, Румунією, Молдовою,

Австрією та Чехією. Ці маршрути відіграють важливу роль у забезпеченні пасажирських перевезень, розвитку транскордонного співробітництва та підтримці економічних зв'язків між державами.

Зростання пасажиропотоку зумовлює необхідність модернізації прикордонної інфраструктури, підвищення пропускну здатності пунктів контролю та вдосконалення логістичних рішень. Особливої уваги потребує питання різної ширини колії — 1520 мм в Україні та 1435 мм у більшості країн ЄС. Для подолання цього бар'єра Укрзалізниця активно впроваджує технології перестановки візків, використання комбінованих вагонів та організацію зручних пересадок у прикордонних вузлах.

Такі заходи сприяють підвищенню якості транспортного обслуговування, регулярності рейсів і розширенню міжнародних перевезень, що є важливою умовою інтеграції української залізничної системи до європейського транспортного простору.

Важливим напрямом розвитку є цифровізація пасажирських сервісів. Уже сьогодні більшість квитків на міжнародні поїзди можна придбати онлайн через мобільний застосунок Укрзалізниці або міжнародних партнерів. Також активно розширюється інтеграція з європейськими системами бронювання (наприклад, RKP Intercity у Польщі), що полегшує планування подорожей. Разом із тим, відчувається необхідність уніфікації електронних квитків, які б визнавалися всіма країнами транзиту без додаткових паперових підтверджень.

З погляду інфраструктури, ключовим викликом залишається модернізація прикордонних переходів. Більшість пунктів пропуску мають обмежену пропускну здатність, що призводить до затримок, особливо в пікові періоди. Європейський Союз у співпраці з Україною вже розпочав проекти з розширення інфраструктури прикордонних станцій (зокрема на ст. Мостиська, Чоп, Ягодин), що має підвищити швидкість та комфорт поїздок.

Окремої уваги заслуговує питання комфорту та стандартів сервісу. Сучасні вагони, що курсують у міжнародному сполученні, повинні відповідати очікуванням пасажирів європейського ринку: безпечність, якісний Wi-Fi, системи кондиціонування, доступність для людей з обмеженими можливостями. Укрзалізниця поступово впроваджує оновлені моделі вагонів, однак масштаби модернізації потребують значних інвестицій.

Розвиток міжнародних пасажирських залізничних перевезень України має стратегічний вимір. По-перше, це спосіб інтеграції до європейської транспортної системи TEN-T, де залізниця визнається одним із пріоритетних видів транспорту. По-друге, це створення безпечного та сталого каналу мобільності, що зменшує викиди CO₂ у порівнянні з авіаперельотами та автомобільними поїздками. По-третє, це підтримка міжнародних контактів та туризму, що сприяє розвитку економіки.

У підсумку можна відзначити, що міжнародні пасажирські перевезення залізничним транспортом України переживають етап активної трансформації. Їхня подальша ефективність залежить від гармонізації правового регулювання з нормами ЄС, модернізації прикордонної інфраструктури, розширення

маршрутної мережі та підвищення якості сервісів. Для України цей сегмент є не лише транспортною послугою, але й важливим елементом стратегії європейської інтеграції та забезпечення сталого розвитку в умовах зростаючого попиту на мобільність.

Таким чином, міжнародні пасажирські перевезення залізничним транспортом України мають не лише економічне чи логістичне, а й стратегічне значення. Вони формують імідж держави як сучасного, надійного та інтегрованого партнера європейського транспортного простору. Подальше вдосконалення цього сектору є важливою передумовою для відновлення та розвитку національної економіки, посилення транзитного потенціалу України та утвердження її ролі як ключового елемента системи сталих перевезень у регіоні Центральної та Східної Європи.

- [1] Ukrinform. Ukrzaliznytsia transports more than 1.3M passengers on international routes over six months. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.net/rubric-economy/4017960-ukrzaliznytsia-transport-more-than-13m-passengers-on-international-routes.html>
- [2] UkrNews / Center for Transport Strategies. Ukrzaliznytsia transports 800,000 international passengers since year beginning. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukranews.com/en/news/1007465-ukrzaliznytsia-transport-800-000-international-passengers-since-year-beginning>
- [3] European Commission. Ukraine Launches EU Screening on Transport Policy and Trans-European Networks. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eu-ua.kmu.gov.ua/en/news/ukraine-launches-eu-screening-on-transport-policy-and-trans-european-networks/>
- [4] EEAS / Delegation to Ukraine. Ukraine opens its first railway line with European track width standard, boosting the country's integration with the European Union. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine/ukraine-opens-its-first-railway-line-european-track-width-standard-boosting-country%E2%80%99s-integration_en
- [5] Press release of Ukrzaliznytsia. Passenger trains of Ukrzaliznytsia via mobile app and booking.uz.gov.ua with verification via Diia ID. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.net/rubric-economy/4017960-ukrzaliznytsia-transport-more-than-13m-passengers-on-international-routes.html>
- [6] European Investment Bank (EIB) & Government of Ukraine. €50 million in EIB support for Ukraine's rail border crossings and infrastructure to boost EU connectivity and trade. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eib.org/en/press/all/2025-163-eur50-million-in-eib-support-for-ukraine-s-rail-border-crossings-and-infrastructure-to-boost-eu-connectivity-and-trade>
- [7] Interfax-Ukraine. Ukrzaliznytsia in 2024 posts UAH 20.4 bln of operating profit from freight transportation, UAH 18.1 bln of loss from passenger transportation. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interfax.com.ua/news/economic/1073694.html>

**ТЕХНОЛОГІЯ «ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА» ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА
ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ З
ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

**DIGITAL TWIN TECHNOLOGY FOR MODELLING AND DIAGNOSING
ELECTRICAL CENTRALISATION SYSTEMS USING ARTIFICIAL
INTELLIGENCE**

*канд. техн. наук В.О. Сотник, PhD О.В. Щебликіна
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Candidate of Technical Sciences V.O. Sotnyk, PhD O.V. Shcheblykina
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Розглянута в доповіді тема є важливою у контексті сучасних викликів, які пов'язані із надзвичайно високими вимогами до безпеки та надійності залізничного руху. Системи електричної централізації (ЕЦ), будучи основою безпеки, мають традиційні методи діагностики, які вимагають виведення обладнання з роботи та характеризуються високою вартістю, що накладає суттєві обмеження на їх використання. Це спонукає до переходу на предикативне обслуговування, де ключову роль відіграє технологія цифрового двійника (ЦД), що дозволяє прогнозувати потенційні відмови.[1]

Цифровий двійник – це динамічна, віртуальна репліка фізичного об'єкта або системи на відміну від простої симуляції чи 3D-моделі. Його ключова відмінність полягає у забезпеченні двостороннього, майже в реальному часі зв'язку між фізичним світом і віртуальною копією. Фізичним об'єктом ЦД є система ЕЦ та її найкритичніші компоненти для діагностики: стрілочні приводи, рейкові кола, а також релейна або мікропроцесорна централізація (МПЦ). Для синхронізації використовується безперервний потік даних, зібраний із сенсорів, систем технічної діагностики та лог-файлів. [2-4]

Побудова цифрового двійника передбачає розробку віртуальної моделі, яка відображає два основні аспекти системи: фізичну поведінку (математична імітація механічних, електричних, теплових процесів, наприклад, динаміки роботи стрілочного привода з урахуванням сил тертя, або впливу вологості на ізоляцію рейкових кіл) та логічну модель (відтворення схем залежностей та алгоритмів керування ЕЦ, що особливо важливо для МПЦ). Життєздатність моделі залежить від якості даних (струми двигунів, час переведення стрілок, напруга в рейкових колах) та їхньої попередньої фільтрації, нормалізації та очищення. Після інтеграції через IoT-платформи, критичним етапом є калібрування та валідація, де результати симуляції ЦД порівнюються з фактичними показниками фізичної ЕЦ, забезпечуючи достовірність діагностичних прогнозів. [5, 6]

Штучний інтелект перетворює ЦД з симуляційної моделі на інтелектуальну діагностичну платформу, забезпечуючи аналіз величезних обсягів даних та виявлення прихованих закономірностей. Основною функцією ШІ є виявлення аномалій, коли алгоритми машинного навчання, навчені на моделі "нормального" стану, миттєво класифікують відхилення, що дозволяє виявляти нетипові збої. Для класифікації несправностей використовуються згорткові нейронні мережі (CNN), здатні аналізувати часові ряди (наприклад, струмові криві) та автоматично ідентифікувати ознаки початкового зносу редуктора або перекосу рамних рейок за невеликими "зубцями" у формі кривої. Рекурентні нейронні мережі (RNN), зокрема LSTM, ідеально підходять для моделювання деградації критичних параметрів, аналізу трендів та прогнозування залишкового терміну служби з високою точністю. [7]

Практичне застосування ЦД та ШІ реалізується через тестування "що-як" у безпечному середовищі, де можна симулювати сценарії відмов, як-от різке падіння напруги в рейковому колі, для визначення критичних точок та розробки оптимальних алгоритмів відновлення без ризику для реального руху. ШІ постійно порівнює фактичні показники з еталонною поведінкою ЦД, виявляючи дефекти, які ще не призвели до повної відмови, але вже розпочали процес деградації. Економічним результатом цього інтелектуального аналізу є скорочення позапланових ремонтів, підвищення рівня використання інфраструктури та значне зниження загальних операційних витрат. [8]

Таким чином, впровадження ЦД та ШІ у діагностику ЕЦ є стратегічним кроком, що забезпечує найвищий рівень безпеки та ефективності функціонування залізничної інфраструктури.

- [1] L. Ai and P. Ziehl, "Advances in Digital Twin Technology in Industry: A Review of Applications, Challenges, and Standardization," in *Journal of Intelligent Construction*, vol. 3, no. 2, pp. 1-19, June 2025, doi: 10.26599/Jic.2025.9180083.
- [2] Heaton, J. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning. Genet Program Evolvable Mach 19, 305–307 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10710-017-9314-z>
- [3] Yang, Jia, Yongkui Sun, Yuan Cao, and Xiaoxi Hu. 2021. "Predictive Maintenance for Switch Machine Based on Digital Twins" *Information* 12, no. 11: 485. <https://doi.org/10.3390/info12110485>
- [4] De Donato L., et al. Towards AI-assisted digital twins for smart railways: preliminary guideline and reference architecture. – *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 2023. – DOI: 10.1007/s40860-023-00208-6.
- [5] R. Ferdousi, F. Laamarti, C. Yang and A. El Saddik, "RailTwin: A Digital Twin Framework For Railway," 2022 IEEE 18th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Mexico City, Mexico, 2022, pp. 1767-1772, doi: 10.1109/CASE49997.2022.9926529.
- [6] E. Krmac and B. Djordjevic, "Digital Twins for Railway Sector: Current State and Future Directions," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 108597-108615, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3439471.
- [7] Dirnfeld, R., De Donato, L., Flammini, F., Azari, M.S., Vittorini, V. (2022). Railway Digital Twins and Artificial Intelligence: Challenges and Design Guidelines. In: Marrone, S., et al. Dependable Computing – EDCC 2022 Workshops. EDCC 2022. Communications in Computer and Information Science, vol 1656. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16245-9_8
- [8] Ou, Y.; Mihăiță, A.-S.; Ellison, A.; Mao, T.; Lee, S.; Chen, F. Rail Digital Twin and Deep Learning for Passenger Flow Prediction Using Mobile Data. *Electronics* 2025, 14, 2359. <https://doi.org/10.3390/electronics14122359>

**ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ MAGLEV ТЕХНОЛОГІЙ В
НАЗЕМНОМУ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ ТРАНСПОРТІ**

**ON THE ISSUE OF IMPLEMENTING MAGLEV TECHNOLOGIES IN
GROUND-BASED HIGH-SPEED TRANSPORT**

докт. техн. наук А.В. Сохацький

Інститут транспортних систем та технологій НАН України (м. Дніпро)

Doctor of Technical Sciences A.V.Sokhatskyi

Institute of transport systems and technologies NAS of Ukraine (Dnipro)

Створення перспективних транспортних засобів, що працюють на нових фізичних принципах є надзвичайно складною проблемою [1-4]. Подальший розвиток наземного транспорту може бути пов'язаним з формуванням нової інтегрованої транспортної системи в контексті концепції сталого розвитку, що передбачає перехід на екологічно чисті та безпечні технології. Необхідні ефективні рішення проблеми кардинального підвищення швидкості та пропускну здатності транспортних систем при малих витратах енергії [1-5]. Крім традиційних вимог до безпеки, доступності та якості перевезень найбільш чітко проявляються вимоги до екологічності, мультимодальні та швидкості транспортних послуг, що надаються. Підвищення швидкості перспективних транспортних засобів вимагає ефективного розв'язування проблем, що пов'язані з динамікою руху та експлуатаційними характеристиками. Одним з перспективних напрямів підвищення ефективності роботи транспорту є впровадження Maglev технологій, тобто створення високошвидкісного наземного транспорту (ВШНТ) на магнітному підвісі [1,2].

Інтенсивні дослідження ВШНТ на магнітному підвісі беруть початок з 1970 років. В Німеччині, Японії, США були запропоновані основні технічні рішення та шляхи розвитку цього виду транспорту. В 90-ті роки ХХ ст. технічні ідеї починають втілюються в реальні конструкції та проекти. З'являються перші діючі експериментальні та діючі пасажирські лінії. На сьогодні найбільшого успіху, принаймні з комерційної точки зору, домоглася корпорація «Transrapid International» (Німеччина). У 2004 р. була відкрита перша пасажирська лінія в Китаї довжиною 32 км. Вона зв'язувала міжнародний аеропорт із центральним залізничним вокзалом Шанхая. Потяги на електромагнітному підвісі розвивали швидкість до 430 км/год. Будівництво цієї лінії тривало упродовж п'яти років, загальний бюджет проекту становив 1,2 млрд дол. США [1,2].

Друга комерційна Maglev-лінія у Китаї була побудована в місті Чанша. На відміну від Шанхайської лінії, вона не є високошвидкісною і побудована за власною технологією китайської розробки [2]. Maglev-лінія довжиною 6,1 км побудована та працює в Південній Кореї. Вона зв'язує міжнародний аеропорт на

острові Інчхон з материковою частиною. Максимальна швидкість руху не висока і становить 110 км/год. В цій транспортній системі використовуються технологічні розробки південнокорейської компанії Hyundai Rotem [1,2].

На сьогодні світовим лідером із розробки Maglev-технологій є Японія. За більш ніж 30 років досліджень було сконструйовано кілька реальних прототипів експериментальних пасажирських вагонів, запропоновано ряд цікавих технічних рішень щодо магнітного електродинамічного підвісу, систем управління та стійкості. На побудову експериментальної траси Yamanashi Maglev Test Line довжиною 17 км, було витрачено близько 2,4 млрд дол. США [2]. 21 квітня 2015 р. у ході випробувань на експериментальній шляховій ділянці протяжністю 42,8 км у префектурі Яманасі склад із вагонами серії L0 розвинув швидкість у 603 км/год [2]. В Японії планують введення в експлуатацію першої японської Maglev лінії Токіо – Осака та у 2027 р. планується відкриття регулярного руху між містами Токіо і Нагоя [1,2].

У 1989 році було створено Відділення фізико-технічних проблем високошвидкісного транспорту на надпровідних магнітах при Інституті геотехнічної механіки Національної академії наук України (м. Дніпро). Проведені дослідження показали, що існує цілий ряд проблем, як фундаментального так і прикладного характеру. Ось деякі з них:

- розробка та вибір конструкції перетинів шляхопроводів
- вибору форми і конструкції транспортного засобу;
- забезпечення власної енергоозброєності транспортного засобу;
- оптимізація аеродинамічних характеристик транспортного засобу;
- оптимізація електромагнітних сил транспортного засобу;
- забезпечення і контроль руху транспортних засобів;
- забезпечення стійкості, керованості надійності та безпеки руху.

Реальний рух транспортного засобу відбувається в турбулентному повітряному середовищі. Моделювання турбулентних рухів повітряних мас є фундаментальною проблемою як теоретичної фізики так і практичної аеродинаміки [3-5]. Відсутність універсальної теорії опису турбулентних течій створює проблеми з визначенням аеродинамічних навантажень [3-5]. Це питання є одним із ключових моментів при проектуванні високошвидкісних наземних транспортних засобів, оскільки при високих швидкостях руху тільки на подолання опору повітря може припадати до 90% загальних енергетичних витрат. Таким чином необхідні фундаментальні дослідження в цілому ряді наукових напрямів з розробки високошвидкісного наземного транспорту на магнітному підвісі [1,2].

В доповіді розглядаються ряд шляхів вирішення поставлених проблем.

[1] Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту п'ятого покоління / Геєць В.М., Волошин О.І., Дзензерський В.О., Никифоров О.І. Київ; НАН України, 2020. 254 с.

[2] Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И. и др. Киев. Наукова думка, 2001. 480 с.

[3] Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана: монография. Днепр: Наука и образование, 1998. 160 с.

[4] Anderson J. D. Computational fluid dynamics. McGraw-Hill series in mechanical engineering, USA, 1993. 540p.

УДК 656.2.07:005.52(100)

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

IMPROVING THE ROBUSTNESS OF INTERNATIONAL CARGO TRANSPORTATION

*Канд. техн. наук Г.М. Сіконенко, студент С.Г. Стеценко
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Cand. Sc.(Tehn.) G. Sikonenko, Student S. Stetsenko
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Міжнародні вантажні перевезення є базисом сталого розвитку та функціонування промисловості та економіки майже кожної країни. Дані перевезення передбачають планування та реалізацію численних технологічних операцій з рухомим складом та використанням інфраструктури одного або декількох видів транспорту щонайменше у двох країнах.

У роботі пропонується підходи по моделюванню просування вантажопотоків по транспортній мережі з оцінкою стійкості елементів. Мережа складається з вершин, де виконуються технологічні операції (залізничні станції, термінальні комплекси, порти, тощо) та ребер – елементів шляху (залізничні ділянки, автошляхи, морські маршрути, тощо).

Для визначення надійності при реалізації перевезень певної партії вантажу у міжнародному сполученні необхідно оцінити небезпечні фактори для кожного елементу. Під терміном «стійкість» розуміємо уникнення прямих та непрямих економічних втрат транспортної мережі, що визначається як ступінь, до якої транспортна мережа може функціонувати за наявності різних перебоїв у пропускній здатності транспортних елементів [1].

Дослідженню стійкості різних видів транспорту присвячено значну кількість наукових досліджень більшість з яких базується на оцінці зниження продуктивності мережі в умовах певних технічних чи організаційних ускладнень. При дослідженні стійкості міжнародних перевезень виникає низка проблем, що недостатньо, на нашу думку, представлена у джерелах:

- узагальнення елементів інфраструктури та її параметрів різних видів транспорту при оцінці стійкості»
- оцінка впливу наслідків збоїв на певних елементах транспортної мережі по відношенню до іншого виду транспорту;
- оцінка впливу деградації (зменшення) пропускної спроможності інфраструктурного елементу одного виду транспорту на інший вид транспорту;

- узгодження технологічних операцій різних видів транспорту при організації перевантаження;
- оцінка впливу збоїв місць переходу між країнами, перевантаження між видами транспорту просування вантажопотоків.

Параметри, що застосовуються для оцінки стійкості можна поділити на 2 групи: топографічні параметри та параметри на основі трафіку (реалізованої пропускної спроможності). Топологічні параметри зазвичай будуються на деяких географічних властивостях, адаптованих до теорії графів, таких як розмір найбільшого компонента, найкоротші шляхи, діаметр мережі, ефективність мережі [2], які ігнорують специфічні характеристики трафіку. Параметри на основі трафіку (наприклад час доставки, експлуатаційні витрати, екологічні витрати [3]) відображають більше функціональні та економічні аспекти пов'язані з реалізацією руху.

Більшість наукових робіт спрямовано суто на дослідження змін пропускної спроможності елементів транспортної мережі в умовах впливу різних негативних факторів. У запропонованій роботі пропонується низка математичних моделей для комплексної оцінки зміни топографічних та трафікових параметрів транспортної мережі при організації інтермодальних міжнародних перевезень в умовах негативних техногенних та природних факторів.

Всі порушення штатного функціонування мережі можна звести до двох сценаріїв. Перший – порушення чи відмова у роботі транспортного елементу, що приводить до вилучення несправного вузлу і зміні топологічних характеристик мережі. Сценарій вилучення вузла передбачає як вилучення одного так і декількох елементів, що відповідає масштабним лихам чи розповсюдженню каскадної відмови. У другому сценарії зменшення пропускної спроможності передбачається оцінка варіантів перерозподілу вантажопотоків як у межах одного так і між декількома видами транспорту.

Загальними показниками ефективності організації міжнародних вантажних перевезень при моделюванні виступають кількість тон вантажу що може бути перевезена, приведені експлуатаційні витрати на перевезення, строки доставки.

Отримані результати також дозволяють оцінювати вплив окремих вузлів на транспортування що дозволяє більш ефективно планувати інвестиції у інфраструктуру.

[1] Sullivan JL, Novak DC, Aultman-Hall L, Scott DM. Identifying critical road segments and measuring system-wide robustness in transportation networks with isolating links: A link-based capacity-reduction approach. *Transp Res A* 2010;44(5):323–336.

[2] Nagurney A, Qiang Q. A network efficiency measure for congested networks. *Europhys Lett* 2007;79(3):38005.

[3] Zhang M, Wiegman B, Tavasszy L. Optimization of multimodal networks including environmental costs: A model and findings for transport policy. *Comput Ind* 2013;64(2):136–45.

СТРУКТУРНА РЕФОРМА ЗАЛІЗНИЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА УРОКИ ДЕРЕГУЛЯЦІЇ США

STRUCTURAL REFORM OF THE UKRAINIAN RAILWAY SECTOR AND LESSONS FROM US DEREGULATION

*менеджерка Комітету з логістики Д. Січкарь
Європейська Бізнес Асоціація (м. Київ)*

*Manager of the Logistics Committee Daria Sichkar
European Business Association (Kyiv)*

Ефективність функціонування залізничної системи України визначається рівнем відповідності інституційної моделі галузі сучасним економічним умовам. Нинішня організаційно-фінансова структура характеризується високим ступенем централізації, регульованими тарифами, обмеженим доступом приватних операторів до інфраструктури та відсутніми можливостями залучення інвестицій у тяговий рухомий склад і модернізацію залізничної мережі загального користування. Проблема ускладнюється наслідками повномасштабної війни, зростанням витрат та падінням обсягів перевезень майже у два рази, що значно погіршило фінансові спроможності галузі [1, 2]. За таких умов особливо актуальним є вивчення світового досвіду регулювання залізничного транспорту та моделей його реформування з позицій реальної економічної дієвості.

З метою пошуку дієвих механізмів підвищення ефективності залізничної системи в даному дослідженні вивчено практики дерегуляції залізниць США. Досвід реформування залізничної галузі США після прийняття Staggers Rail Act [3] у 1980 році показав вирішальну роль дерегуляції тарифів та посилення ринкових механізмів у відновленні фінансової стійкості перевізників, скороченні витрат та підвищенні продуктивності. Конкурентне середовище разом із договірною свободою між перевізником і вантажовідправниками забезпечили суттєве зростання інвестиційної активності та обсягів перевезень, що є прикладом успішної структурної трансформації залізничної галузі. В межах дослідження вивчені практики Association of American Railroads [4], що дозволило визначити принципи та інструменти, адаптація яких може бути використана під час реалізації структурної реформи залізничної галузі в Україні. За результатами сформовані пропозиції. Для України актуальним є формування заходів, що передбачають відокремлення оператора інфраструктури від перевізної діяльності, створення незалежного регулятора залізничної галузі, виділення з діючого тарифу локомотивної складової і дерегулювання для запровадження економічно обґрунтованих ринкових тарифів, розвиток приватної тяги, демонополізацію сервісів обслуговування та залучення недержавних інвестицій у тяговий рухомий склад і залізничну інфраструктуру.

Необхідним є також законодавче забезпечення регуляторної передбачуваності та рівних правил доступу до мережі для всіх учасників ринку.

Очікуваним результатом структурної реформи є підвищення ефективності використання пропускнуої спроможності мережі, зниження логістичних витрат та створення конкурентного середовища, що відповідає майбутній інтеграції з європейським ринком залізничних послуг. Подальші дослідження доцільно зосередити на порівняльних моделях дерегуляції в ЄС, Канаді та Південній Кореї та адаптивних сценаріях для України.

[1] Державна служба статистики України. Транспорт України : статистичний збірник за 2023 рік. Київ, 2024. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2024/zb/10/zb_Trans_23.pdf (дата звернення: 09.11.2025).

[2] World Bank Group, Government of Ukraine, European Union, United Nations. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4): February 2022 – December 2024. Washington, D.C.: World Bank Group, 2025. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099022025114040022/pdf/P180174-ca39eccd-ea67-4bd8-b537-ff73a675a0a8.pdf> (дата звернення: 09.11.2025).

[3] Staggers Rail Act of 1980. Public Law 96-448 (96th Cong., Oct. 14 1980). URL: <https://www.congress.gov/bill/96th-congress/senate-bill/1946> (дата звернення: 11.11.2025).

[4] Association of American Railroads. Official website. URL: <https://www.aar.org> (дата звернення: 09.11.2025).

УДК 656.2:339.924:005.21

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

IMPROVEMENT OF THE RAILWAY TRANSPORT PROCESS IN INTERNATIONAL COMMUNICATION UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

О.Є. Титаренко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

О.YE. Tytarenko

Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)

У сучасних умовах глобальної нестабільності залізничний транспорт залишається ключовим для міжнародних перевезень. Для України, як транзитної держави, актуальним є підвищення ефективності та стійкості перевізних процесів, що вимагає удосконалення організації та впровадження сучасних управлінських і цифрових рішень.

Міжнародні залізничні перевезення забезпечують значну частку вантажообігу країни та сприяють інтеграції України до європейського логістичного простору. Вигідне географічне розташування формує потужний транзитний потенціал, що робить залізничний транспорт одним із ключових чинників економічної стабільності та міжнародної співпраці навіть в умовах невизначеності.

Однак у сучасних умовах зростає вплив факторів невизначеності, серед яких воєнні дії, логістичні обмеження, зміни митних процедур, дефіцит пропускнуої

спроможності прикордонних переходів та відмінність у ширині колії між Україною та країнами ЄС. Це призводить до додаткових витрат часу на перевантаження, перестановку візків і митне оформлення. Крім того, війна спричинила скорочення обсягів експорту та імпорту, зміну напрямів торгівлі й підвищення вартості перевезень. Попри це, залізничний транспорт залишається провідним видом перевезень в Україні — на нього припадає близько 50 % вантажообігу.

Серед ключових напрямів удосконалення процесу міжнародних перевезень варто відзначити цифровізацію управління перевізними процесами, впровадження електронного документообігу, автоматизацію митних процедур і створення єдиної інформаційної системи взаємодії між прикордонними службами [1]. Перспективним є також розвиток мультимодальних перевезень, модернізація інфраструктури, розширення прикордонних переходів і використання систем управління ризиками [2].

Наукові дослідження в цій сфері спрямовані на аналіз ефективності митної логістики, оптимізацію роботи прикордонних станцій, впровадження цифрових технологій і підвищення безпеки транспортних операцій [3]. Адаптація української транспортної системи до стандартів ЄС та участь у міжнародних угодах, зокрема в конвенції КОТІФ, створюють передумови для подальшого розвитку залізничних перевезень і зміцнення позицій України на світовому ринку транспортних послуг.

Міжнародні залізничні перевезення відіграють ключову роль у забезпеченні вантажопотоку та економічної стабільності України. Незважаючи на чинники невизначеності та військові виклики, залізничний транспорт зберігає провідні позиції і демонструє здатність до адаптації. Удосконалення управлінських, цифрових і мультимодальних процесів, а також гармонізація з європейськими стандартами створюють передумови для підвищення ефективності, безпеки та конкурентоспроможності міжнародних перевезень.

[1] Берестов І. В., Пестременко-Скрипка О. С., Берестова Т. Т. Оцінка ефективності інформаційних технологій на прикордонних передавальних станціях в умовах цифрової трансформації. Вісник економіки транспорту і промисловості № 81-82. Проблеми транспортного комплексу України. 2023. С. 75-81.

[2] Ломотько Д. В., Примаченко Г. О. Аналіз розвитку мультимодальних перевезень залізничним транспортом України. Залізничний транспорт України. 2023. С. 15-32.

[3] Берестов І. В., Пестременко-Скрипка О. С., Шелехань Г. І., Берестова Т. Т. Цифровізація процесів митного контролю та митного оформлення вантажів на залізничному транспорті. Центральний науковий вісник. Технічні науки 2022. Вип. 5 (36), ч. II. С. 291-298.

ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ПЕРИФЕРІЙНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ В УМОВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ

APPLICATION OF MOBILE EDGE COMPUTING FOR REAL-TIME DATA ANALYSIS IN A RAILWAY LOGISTICS CENTER

О.М. Харламова

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

O.M. Kharlamova

Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)

Сучасні залізничні логістичні центри (ЗЛЦ) стикаються з вимогою підвищення операційної ефективності та безпеки, що неможливо без обробки величезних масивів даних. Традиційні хмарні моделі не задовольняють вимог до низької затримки, тоді як бортові системи не мають достатньої обчислювальної потужності. Архітектура на основі мобільних периферійних обчислень (MSEC/VEC) пропонує рішення шляхом наближення обчислень до джерела даних [1]. У цій роботі аналізується застосування MSEC для вирішення трьох прикладних завдань ЗЛЦ: автоматизованого комерційного огляду, предиктивного обслуговування рухомого складу та моніторингу вантажів.

Розвиток інтелектуальних транспортних систем висуває нові вимоги до операційних процесів у ЗЛЦ. Обмежені обчислювальні можливості бортового обладнання стають вузьким місцем для впровадження технологій, що потребують аналізу даних у реальному часі, як-от моделі глибокого навчання [2]. Використання мобільних периферійних обчислень (MSEC) дозволяє перенести ресурсоємні завдання з бортових пристроїв на потужні VEC-сервери (Vehicular Edge Computing), розташовані безпосередньо в межах інфраструктури ЗЛЦ (на сортувальних гірках, вантажних фронтах) [1].

Це дозволяє реалізувати ключові функції, критичні для логістики:

1. Автоматизований комерційний огляд та інспекція вагонів. Замість ручного огляду, поїзди, що прибувають, можуть проходити через інспекційні портали з камерами високої роздільної здатності. Обробка відеопотоку (розпізнавання номерів вагонів (OCR), виявлення пошкоджень кузова, перевірка цілісності пломб) вимагає значних ресурсів. Сучасні підходи використовують для цього згорткові нейронні мережі (наприклад, YOLO), які ефективно працюють на периферійних пристроях [2].

Відеодані обробляються локально на VEC-сервері. У центральну хмару відправляються лише метадані (наприклад, "Вагон №12345, виявлено пошкодження"). Це знижує навантаження на магістральні мережі та забезпечує миттєве реагування.

2. Предиктивне обслуговування (PdM) рухомого складу. Рухомий склад, оснащений датчиками (вібрації, температури, акустичними), генерує безперервні потоки даних. Аналіз цих даних дозволяє прогнозувати відмови (наприклад, перегрів буксового вузла) до їх виникнення.

Дані з датчиків можуть бути розвантажені на VEC-сервер під час руху поїзда територією ЗЛЦ. Існуючі фреймворки предиктивного обслуговування для залізниць вже передбачають використання периферійних обчислень для попередньої обробки та ML-аналізу даних з сенсорів *негайно*, ідентифікуючи вагони, що потребують обслуговування [3].

3. Моніторинг стану чутливих вантажів (Smart Cargo). Для рефрижераторних контейнерів або вантажів, що вимагають контролю (температура, вологість), критична швидкість реакції на відхилення.

Периферійний сервер виступає як локальний агрегатор даних з IoT-датчиків вантажу. Він може миттєво виявити порушення режиму перевезення та сповістити персонал ЗЛЦ, на відміну від хмарної системи, де затримка передачі даних може призвести до псування вантажу.

Архітектура мобільних периферійних обчислень знаходить своє практичне застосування у вирішенні конкретних операційних завдань ЗЛЦ. Застосування MSEC для аналізу відео [2], предиктивної діагностики [3] та моніторингу вантажів дозволяє отримати прямий економічний ефект за рахунок скорочення часу на інспекцію, зменшення простоїв обладнання та збереження вантажів.

Наступним кроком є розробка алгоритмів динамічного розподілу ресурсів VEC-сервера, оскільки різні завдання (наприклад, аналіз безпеки руху та OCR) мають різний пріоритет та вимоги до затримки, що є актуальною проблемою в MSEC [1].

[1] Optimization design of railway logistics center layout based on mobile cloud edge computing / J. Su, Q. Li // 2024 International Conference on Intelligent Transportation and Logistics (ICITL). – 2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/370171576_Optimization_design_of_railway_logistics_center_layout_based_on_mobile_cloud_edge_computing

[2] An Edge Computing-Enabled Train Obstacle Detection Method Based on YOLOv3 / W. Zhang, et al. // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/355297396_An_Edge_Computing-Enabled_Train_Obstacle_Detection_Method_Based_on_YOLOv3

[3] A data-driven predictive maintenance framework for railway systems using edge analytics / R. Alves, L. Ferreira // Journal of Rail Transport & Planning. – 2025. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/371456045_Data-driven_predictive_maintenance_framework_for_railway_systems

ПРЕСКРИПТИВНИЙ ПІДХІД ДО КЕРУВАННЯ СТАНОМ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ ШІ

A PRESCRIPTIVE APPROACH TO ROLLING STOCK CONDITION MANAGEMENT BASED ON AI DATA ANALYSIS

канд. техн. наук П.О. Харламов

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

P.O. Kharlamov, PhD (Tech)

Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)

Безпека та ефективність залізничних перевезень залежать від технічного стану рухомого складу. Традиційні регламентні підходи до обслуговування є неефективними проти раптових відмов. У роботі пропонується комплексна концепція переходу до предиктивного та прескриптивного обслуговування. Вона базується на трьох стовпах: 1) аналіз даних з бортових сенсорів, 2) діагностування на основі комп'ютерного зору, 3) інтелектуальний аналіз архіву аварійних випадків та інцидентів для виявлення першопричин та прогнозування ризиків.

Традиційна система технічного обслуговування (ТОіР) рухомого складу, що базується на планово-попереджувальних ремонтах, не враховує реальний стан вузлів, що призводить до надлишкового обслуговування або, навпаки, до раптових відмов [1].

Рішенням є впровадження інтелектуальної системи керування станом, що використовує AI для аналізу даних з трьох ключових джерел:

1. Діагностування на основі даних з сенсорів (Sensor-driven Analytics). Аналіз часових рядів (вібрації, температури, акустичних шумів) від ключових вузлів (напр., буксових). Моделі машинного навчання (наприклад, LSTMs) в реальному часі виявляють аномальні патерни, що передують несправності, та класифікують її тип [2].

2. Діагностування на основі комп'ютерного зору (Computer Vision Analytics). Використання стаціонарних порталів огляду або бортових камер. Моделі глибокого навчання (CNN, YOLO) автоматично детектують візуальні дефекти: тріщини на рамах візків, знос гальмівних колодок, дефекти профілю колісних пар [3].

3. Аналіз архіву інцидентів та проекція ризиків (Historical Incident Analysis). Цей напрямок додає до системи історичний контекст. Створюється єдина база знань з усіх минулих аварійних випадків, відмов та інцидентів. Це зумовлює:

- Аналіз першопричин (RCA): Системи обробки природної мови (NLP) та інтелектуального аналізу даних (Data Mining) обробляють звіти про інциденти, журнали обслуговування та дані "чорних скриньок" для виявлення прихованих

кореляцій та першопричин (наприклад, поєднання конкретної моделі компонента, певних погодних умов та порушення регламенту обслуговування) [4].

- Проекція на поточний стан: Система в реальному часі порівнює поточні дані (з пунктів 1 і 2) з виявленими історичними патернами. Якщо поточна ситуація (наприклад, вібрація + температура + мікротріщина) збігається з "підписом" минулої аварії, система не просто попереджає про ризик, а й визначає потенційне джерело проблеми (наприклад, "Ризик руйнування підшипника. 90% аналогічних випадків були пов'язані з помилкою змащування під час останнього ТО").

Запропонований трикомпонентний підхід дозволяє фундаментально змінити керування станом рухомого складу. Поєднання аналізу даних з сенсорів, комп'ютерного зору та архіву інцидентів переводить систему від предиктивного (прогнозування що зламається) до прескриптивного рівня (визначення чому це станеться та хто або що є першопричиною). Це забезпечує безпрецедентний рівень безпеки та дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення для усунення першопричин несправностей.

Подальші дослідження можуть бути зосереджені на створенні комплексних "цифрових двійників" (Digital Twins) рухомого складу, де історичні дані про інциденти [4] будуть використовуватися для валідації та калібрування моделей деградації компонентів.

[1] A review on the application of artificial intelligence in railway systems / D. T. Kostov, S. S. Iliev // 2023 15th International Conference on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). – 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10134426>

[2] Machine Learning for Fault Diagnosis and Prognosis in Railway Bogies: A Survey / A. F. G. Neto, et al. // 2023 IEEE 20th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). – 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10222955>

[3] A Review of Computer Vision-Based Defect Detection in Railway Maintenance / F. J. G. R. M. D. L. Iglesia, et al. // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10006240>

[4] A Text Mining Approach for Root Cause Analysis in Railway Incident Reports / F. H. A. Khan, et al. // 2022 International Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA). – 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9863009>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ КОНФЛІКТУ

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF RAILWAY INFRASTRUCTURE ALLOCATION IN CONFLICT SITUATIONS

Д.Р. Харченко, аспірант, Д.Е. Раковський, магістр
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

D. Kharchenko, PhD Student, D. Rakovskiy, postgraduate Student
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

В умовах лібералізації ринку залізничних перевезень в Україні та впровадження відкритого доступу до залізничної інфраструктури, виникає проблема у визначенні правил пріоритетності під час розподілу інфраструктурних активів залізниці серед всіх зацікавлених стейкхолдерів. Враховуючи обмежені ресурси залізничної інфраструктури, в умовах виникнення конфлікту, необхідна розробка чіткого механізму розподілу залізничної інфраструктури. Сучасний механізм розподілу залізничної інфраструктури в країнах ЄС є ієрархічним та використовує правила пріоритетності, які ґрунтуються на типі поїзду. Даний підхід може негативно впливати на загальну пропускну та провізну здатність залізничної ділянки, особливо в умовах її перевантаженості.

Для покращення ефективності розподілу залізничної інфраструктури та через необхідність врахування правил пріоритету з'являється необхідність у використанні математичних моделей, в основі яких лежить ієрархічна структура прийняття рішень. Для моделювання такого процесу ефективною є модель Штакельберга [1], яка дозволяє представити транспорту задачу з розподілу пропускну спроможності у вигляді ієрархічної гри (лідер – послідовник). Гра за моделлю Штакельберга передбачає взаємозв'язок між всіма гравцями на ринку залізничних перевезень. Перевізник, який має роль лідера, першим визначає оптимальну для нього обсяг ниток графіка руху для придбання, яка забезпечить його максимальний прибуток, при цьому враховуючи роль перевізника-послідовника. У свою чергу, перевізник-послідовник адаптує свою стратегію в залежності від вибору перевізника-лідера, однак впливати на його рішення він не може. Остаточний процес вирішення гри можна відобразити наступним чином:

$$x_{ТОС}^* = \max P_{ТОС}(x_{ТОС}; R(x_{FOC})); x_{FOC}^* = P_{FOC}(x_{ТОС}; x_{FOC})$$

Де $x_{ТОС}^*, x_{FOC}^*$ - оптимальний обсяг вибору (покупки) ниток графіка руху для пасажирського / вантажного перевізника;

$P_{ТОС}, P_{FOC}$ – обсяг прибутку пасажирського / вантажного перевізника;

$R(x_{FOC})$ – функція реакції перевізника-послідовника.

Оптимальність обраної кількості ниток у графіку руху в умовах ринкового розподілу ґрунтується на різних економічних та експлуатаційних показниках, які забезпечать максимізацію прибутку залізничного перевізника (на прикладі пасажирського перевізника), які можна відобразити за допомогою наступної функції прибутку:

$$P_i(x_{TOS}, x_{FOC}) = k_{\text{приб}} x_{TOS} - E_{\text{дост}}^{\text{min}} x_{TOS} - k_{\text{шв}} (x_{TOS} k_{\text{зн}}^{\text{пас}} + x_{FOC} k_{\text{зн}}^{\text{вант}}) \rightarrow \max$$

Де x_{TOS}, x_{FOC} – обсяг обраних ниток графіка руху;

$k_{\text{приб}}$ – коефіцієнт прибутку від курсування одного поїзду;

$E_{\text{дост}}^{\text{min}}$ – мінімальний тариф до залізничної інфраструктури;

$k_{\text{шв}}$ – коефіцієнт залежності доходу перевізника від середньої швидкості.

Для пасажирських перевізників, враховуючи характер перевезень, де середня швидкість перевезень залежить від загальної дохідності від рейсу, характерний високий рівень чутливості $k_{\text{шв}}$ до швидкості;

$k_{\text{зн}}^{\text{пас}}, k_{\text{зн}}^{\text{вант}}$ – коефіцієнти впливу на середню швидкість при збільшенні завантаженості залізничного перегону (дільниці).

Подальше дослідження процесу розподілу залізничної інфраструктури, дозволить сформулювати ефективні правила пріоритетності, які забезпечать оптимальний розподіл пропускну спроможності при вирішенні конфліктів для наявну пропускну спроможність.

[1] Wang H., Yi W. A Stackelberg game model for ,construction waste transportation. *Advanced Engineering Informatics*. 2023. Т. 56. С. 101991. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101991> (дата звернення: 10.11.2025).

УДК 656.072.2

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

IMPROVING INTEROPERABILITY IN THE ORGANIZATION OF INTERNATIONAL PASSENGER RAILWAY TRANSPORTATION

*канд. техн. наук Є.В. Ходаківська,
магістранти О.С. Бондаренко та Г.В. Проценко
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Ye. Khodakivska PhD (Tech.),
Master's students O. Bondarenko and H. Protsenko
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Сучасний розвиток міжнародних пасажирських перевезень супроводжується підвищенням вимог до інтероперабельності залізничних систем, що зумовлено

інтеграцією України до транспортної мережі Європейського Союзу та необхідністю забезпечення стійкого функціонування міжнародних маршрутів. Одним із ключових завдань галузі є узгодження технологічних і цифрових процесів з вимогами стандартів TAP TSI, положеннями мережі TEN-T та рекомендаціями Європейського агентства залізниць (ERA) [1].

Метою дослідження є формалізація впливу технологічної та цифрової інтероперабельності на ефективність організації міжнародних пасажирських перевезень та розроблення індикаторно-імітаційного підходу до оцінювання й оптимізації сумісності операцій на прикордонних переходах.

У роботі запропоновано підхід, що поєднує індикаторну модель оцінювання рівня інтероперабельності (ICCI – Interoperability and Cross-border Consistency Index), часову мережу Петрі для відтворення технологічних процесів стикування поїздів та імітаційний експеримент для аналізу впливу цифровізації на організацію перевезень. Індекс ICCI дає можливість кількісно оцінити цифрову, технологічну та сервісну сумісність міжнародного маршруту та визначити чинники, що обмежують ефективність взаємодії між залізничними адміністраціями. Модель мережі Петрі дозволяє встановити критичні елементи технологічного процесу, пов'язані з пересадкою пасажирів, виконанням прикордонно-митних процедур і зміною ширини колії. Проведений імітаційний експеримент забезпечує можливість порівняння параметрів роботи у базовому та удосконаленому сценаріях [2,3].

За результатами моделювання встановлено, що впровадження цифрового обміну службовою інформацією, попередньої перевірки проїзних документів та узгодження графіків руху і технологічних операцій на прикордонних стиках дозволяє скоротити середню тривалість технологічних затримок під час пересадки пасажирів на 15–30 %. Також підвищується показник дотримання графіка руху міжнародних поїздів на 8–12 % за рахунок зменшення невикористаних простоя і вирівнювання інтервалів прибуття. Отримані результати свідчать про можливість більш ефективної організації пасажиропотоків і підвищення прогнозованості роботи міжнародних маршрутів.

Практичне значення результатів полягає у можливості застосування розробленої методики для удосконалення планування міжнародних пасажирських маршрутів, оптимізації роботи прикордонних станцій та формування рішень щодо розвитку цифрової інфраструктури АТ «Укрзалізниця» відповідно до вимог сумісності з залізничними адміністраціями країн ЄС.

[1] European Union Agency for Railways (ERA). *Telematics Applications for Passenger Service – Technical Documents (TAP TSI). Consolidated Version (Technical Documents B.1–B.9)*. Valenciennes: ERA, 2011. Available at: <https://www.era.europa.eu>. - (Дата звернення: 14.11.2025).

[2] Aleshinskiy E., Naumov V., Pestremenko-Skripka O. The modelling of technological processes at border transfer stations in Ukraine. *Czasopismo Techniczne*. 2018; 6(115): 55–66. <https://doi.org/10.4467/2353737XCT.18.086.8691> . - (Дата звернення: 14. 11. 2025).

[3] Kabashkin I., Sansyzbayeva Z. Methodology for International Transport Corridor Macro-Modeling Using Petri Nets at the Early Stages of Corridor Development with Limited Input Data. *Modelling*. 2024; 5(1): 238–264. <https://doi.org/10.3390/modelling5010013> . - (Дата звернення: 14.11.2025).

УДК 656.078

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ**

**IMPROVING THE ORGANIZATION OF INTERNATIONAL FREIGHT
TRANSPORT BASED ON INTEROPERABILITY**

*канд. техн. наук Є.В. Ходаківська, канд. техн. наук В.Ф. Чеклов
магістрант С.В. Боришова*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*Ye. Khodakivska PhD (Tech.), V. Cheklov PhD (Tech.),
Master's student S. Borshchova
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Міжнародні транспортні коридори можуть функціонувати ефективно лише за умови узгодженої взаємодії між учасниками перевізного процесу. В умовах інтеграції України до європейської транспортної системи та розвитку мережі ТЕН-Т особливо важливим є забезпечення сумісності технологічних, цифрових та інформаційних процедур, що впливають на швидкість, стабільність і передбачуваність переміщення вантажів у транскордонному сполученні [1].

Метою дослідження є удосконалення організації міжнародних вантажних перевезень шляхом формалізації впливу параметрів інтерооперабельності на ефективність функціонування міжнародних транспортних коридорів.

У роботі запропоновано систему кількісних показників, що дозволяє оцінити основні складові інтерооперабельності МТК [2, 3]. До системи входять: показник цифрової сумісності (ПЦС), коефіцієнт інформаційної прозорості (КІП), фактор синхронності технологічних операцій (ФСТО) та індекс пропускної здатності прикордонного переходу (ІПЗПП). Зазначені показники відображають відповідно рівень цифрової сумісності, доступності інформації, технологічної узгодженості та інфраструктурних можливостей транскордонної ділянки.

Для узагальнення впливу цих характеристик сформовано індекс інтерооперабельності МТК (ІМТК). Цільова функція оптимізації індексу має вигляд (1):

$$\max \text{ІМТК} = w_1 C + w_2 I + w_3 S + w_4 P, \quad (1)$$

за умов:

$$\begin{cases} 0 \leq w_i \leq 1, i = 1, 2, 3, 4, \\ w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1. \end{cases}$$

де C - показник цифрової сумісності (ПЦС); I - коефіцієнт інформаційної прозорості (КІП); S - фактор синхронності технологічних операцій (ФСТО); P - індекс пропускної здатності прикордонного переходу (ІПЗПП); w_1, w_2, w_3, w_4 - вагові коефіцієнти відносної значущості складових.

Запропонована модель дозволяє інтерпретувати інтероперабельність МТК як взаємопов'язану систему цифрових, інформаційних, технологічних та інфраструктурних характеристик. Застосування інтегрального індексу ІМТК у поєднанні з цільовою функцією оптимізації забезпечує можливість порівняння міжнародних маршрутів за участю залізничного транспорту, виявлення «вузьких місць» та обґрунтування пріоритетів модернізації прикордонної інфраструктури.

Наукова новизна полягає у формуванні комплексного підходу до кількісного оцінювання інтероперабельності міжнародних транспортних коридорів, заснованого на системі показників ПЦС, КІП, ФСТО, ІПЗПП та інтегральному індексі ІМТК, а також у введенні цільової функції максимізації інтероперабельності.

Практична значущість полягає у можливості застосування ІМТК для моніторингу стану прикордонної інфраструктури, оцінювання ефективності організаційних рішень, а також планування цифрових і технологічних заходів, спрямованих на скорочення затримок і підвищення пропускної здатності міжнародних транспортних коридорів за участю України.

- [1] Karam, A., Jensen, A.J.K. & Hussein, M. Analysis of the barriers to multimodal freight transport and their mitigation strategies. *Eur. Transp. Res. Rev.* **15**, 43 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00614-0>. (Дата звернення: 13. 11. 2025).
- [2] Jarašūnienė A, Čižiūnienė K. Ensuring Sustainable Freight Carriage through Interoperability between Maritime and Rail Transport. *Sustainability*. 2021; 13(22):12766. <https://doi.org/10.3390/su132212766>. (Дата звернення: 13. 11. 2025).
- [3] Čuš-Babič N, Guerra De Oliveira SF, Tibaut A. Interoperability of Infrastructure and Transportation Information Models: A Public Transport Case Study. *Applied Sciences*. 2022; 12(12):6234. <https://doi.org/10.3390/app12126234>. (Дата звернення: 13. 11. 2025).

**МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ БЛОКЧЕЙН ПРИ
МИТНОМУ КОНТРОЛІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

**MODEL FOR ASSESSING THE EFFECT OF USING BLOCKCHAIN IN
CUSTOMS CONTROL IN RAIL TRANSPORT**

канд. техн. наук О.М. Ходаківський

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

PhD (Tech.) O.M. Khodakivsky

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

У сучасних умовах глобалізації та зростаючої цифровізації логістичних і транспортних процесів питання забезпечення прозорості, оперативності та надійності митного контролю набуває особливої актуальності. Залізничний транспорт, як один із ключових елементів зовнішньоекономічної інфраструктури України, стикається з численними викликами, пов'язаними з затримками при митному оформленні, ризиками корупції, а також недостатньою інтеграцією з міжнародними інформаційними системами.

Одним із перспективних рішень цих проблем є впровадження технології блокчейн у митні процедури. Блокчейн забезпечує незмінність, прозорість і доступність даних для всіх зацікавлених сторін у режимі реального часу, що може суттєво підвищити ефективність митного контролю на залізничному транспорті.

У рамках даного дослідження за допомогою штучного інтелекту сформовано та використано модель оцінки ефекту від використання блокчейн-технологій у процесі митного контролю, що дозволяє кількісно виміряти вплив цифрових інновацій на економічні та логістичні показники залізничних перевезень [1]. Модель враховує такі параметри, як час проходження контролю, витрати на оформлення, рівень затримок, обсяг документообігу та інші критично важливі аспекти.

Використання блокчейн-технологій у митному контролі на залізничному транспорті забезпечує значне підвищення прозорості, ефективності та безпеки обробки вантажів. Це особливо важливо в умовах зростаючих обсягів міжнародних перевезень і потреби в мінімізації часу, витраченого на проходження митних процедур [2-6]. За результатами досліджень наукових публікацій відомих вчених можемо виділити такі основні ефекти від використання блокчейн у митному контролі:

1. Прозорість та зменшення шахрайства. Блокчейн створює незмінну та відкриту базу даних, де фіксується кожна операція з вантажем, починаючи з моменту відправлення до прибуття на митницю. Всі сторони (митниця, перевізники, відправники) мають доступ до актуальної інформації, що знижує можливість підробки документів або приховування частини вантажу.

2. Прискорення митних процедур. Автоматизація процесів перевірки документів та вантажів дозволяє зменшити час на митний контроль. Усі дані про вантаж (сертифікати, рахунки, митні декларації) зберігаються в блокчейні та є доступними для перевірки митними органами в режимі реального часу.

3. Зниження витрат. Завдяки автоматизації зменшується кількість паперової документації та людських помилок, що призводить до скорочення адміністративних витрат. Відсутність посередників та пришвидшення обробки вантажів дозволяє значно скоротити витрати перевізників і вантажовласників.

4. Підвищення безпеки даних. Блокчейн забезпечує захист інформації від несанкціонованого доступу або змін. Кожна транзакція має криптографічний підпис, що гарантує цілісність даних.

5. Оптимізація логістики. Завдяки інтеграції блокчейну з іншими цифровими системами (IoT, GPS) забезпечується точне відстеження руху вантажів на всіх етапах транспортування. Це знижує ризик втрат або затримок.

Використовуючи модель оцінки ефекту від використання блокчейн при митному контролі на залізничному транспорті України змодельовано та дослідимо цей ефект.

Опис моделі. Ціль моделі – мінімізувати загальні витрати на митний контроль шляхом зменшення часу простою вагонів та оптимізації витрат на адміністративні процедури за допомогою блокчейн-технологій. Цільова функція:

$$J = \sum_{i=1}^n (Tblock_i \cdot Plosses) + Cblock \rightarrow \min \quad (1)$$

де:

- J – загальні витрати на митний контроль;
- $Tblock_i$ – час митного контролю на i -тому етапі з блокчейн;
- $Plosses=5000$ грн/год – втрати через простої вагонів;
- $Cblock=100000$ грн – витрати на впровадження блокчейн;
- $n=4$ – кількість етапів митного контролю.

Система обмежень:

1. Час обробки з блокчейн не перевищує час традиційної системи:

$$Tblock_i \leq Ttradi \quad (2)$$

2. Загальний час не перевищує критичний ліміт:

$$\sum_{i=1}^n T_{blocki} \leq T_{\text{крит}} = 24 \text{ год} \quad (3)$$

3. Витрати на блокчейн не перевищують максимальний бюджет:

$$C_{\text{block}} \leq B_{\text{max}}.$$

Моделювання було виконано за допомогою методу нелінійного програмування з використанням функції `minimize` з бібліотеки `scipy.optimize`. Метод оптимізації - функція `minimize` з `scipy.optimize` використовує метод SLSQP (Sequential Least Squares Programming) для вирішення задачі з обмеженнями. Як відомо, SLSQP (Sequential Least Squares Programming) – це числовий метод оптимізації, який використовується для вирішення задач нелінійного програмування з обмеженнями. Метод SLSQP дозволяє знаходити мінімум або максимум. В результаті отримано значне скорочення часу на кожному етапі митного контролю при використанні блокчейн-технологій (Етап «Документація» з 8 годин скорочено до 2 годин, етап «Перевірка» - з 10 годин до 4 годин, етап «Розмитнення» - з 6 годин до 3 годин, етап «Випуск вантажу» - з 12 годин до 5 годин). Документація та перевірка займають значно менше часу, що дозволяє прискорити весь процес і зменшити затримки на залізничному транспорті.

Впровадження блокчейн-технологій у митний контроль на залізничному транспорті забезпечує: зниження часу митного оформлення в 2-3 рази, підвищення прозорості процесів, зменшення витрат на адміністративні процедури, підвищення рівня довіри між учасниками процесу.

[1] OpenAI. ChatGPT [Електронний ресурс] : мовна модель GPT-5 / OpenAI. – Режим доступу: <https://chat.openai.com> (дата звернення: 11.11.2025).

[2] Panchenko S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises // S.V. Panchenko, T.V. Butko, A. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko / Scientific Bulletin of National Mining University, 2016. – Vol. 2. – P. 93–98.

[3] Parkhomenko L., Khodakivskyi O., Khodakivska Y., Kuzmenko O., Pakalnis A. Improvement of the organization of operation of the Ukrainian railway transport on the basis of the idea of unification of the automated freight and passenger transportation control system (Conference Paper). Transport Means - Proceedings of the International Conference Volume 2019-October, 2019, Pages 859-861 23rd International Scientific Conference on Transport Means 2019; Hotel GabijaPalanga; Lithuania; 2 October 2019 до 4 October 2019.

[4] Khodakivska Ye., Butko T., Khodakivskyi O., Cheklov V. Improvement of interoperability and joint utilization of freight wagon fleets in countries of the “1520 gauge” for the national transport system of Ukraine and other countries:

analysis of the structure and parameters of the additional wagon fleet (Conference Paper). PROCEEDINGS OF THE 27th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE. PART II October 04-06, 2023. Hybrid Conference - Palanga, Lithuania. Pages 596-600. doi: 10.5755/e01.2351-7034.2023,P2.

[5] O. Khodakivskiy, T. Butko, Ye. Khodakivska, P. Dolgoplov, D. Konstantinov, Ye. Bondarenko. Research on the Effective Level of Customs Protection Using Blockchain Technologies in Railway Transport (Case Study of Ukraine). PROCEEDINGS OF THE 28th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE «TRANSPORT MEANS 2024». October 02-04, 2024. Hybrid Conference - Palanga, Lithuania. <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P230-232>. Quartile 4. SNIP 0.246. IF 0.46.

[6] Климов В. П. Блокчейн у транспортній логістиці: перспективи та виклики. – Київ: КНУ, 2022. – 360 с.

УДК 656.2:338.45(477)

ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ «УКРЗАЛІЗНИЦІ» НА РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

IMPROVING THE COMPETITIVENESS OF “UKRZALIZNYTSIA” IN THE TRANSPORT SERVICES SECTOR

*Ю.В. Сухолиткий, Д.О. Куценко, канд. техн. наук О.Е. Шандер
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

***Yu.V. Sukholytky, D.O. Kutsenko, O.E. Shander, PhD (Tech.)**
¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Залізничний транспорт є стратегічно важливою складовою економіки України, забезпечуючи понад 80 % перевезень вантажів у промисловому секторі. В умовах інтеграції України до європейського транспортного простору та посилення конкуренції з боку автомобільних і морських перевізників особливої актуальності набуває питання підвищення конкурентоспроможності АТ «Укрзалізниця».

Сьогодні підприємство функціонує в умовах складної економічної та воєнної ситуації, потреби оновлення основних фондів і впровадження сучасних управлінських технологій. Конкурентоспроможність компанії визначається не лише технічним станом рухомого складу, а й ефективністю управління, якістю сервісу та здатністю адаптуватися до ринкових змін [1,2] .

Ринок транспортних послуг України характеризується поступовою лібералізацією та появою приватних операторів у сфері вантажних перевезень. Це зумовлює необхідність реформування АТ «Укрзалізниця», яка тривалий час залишалася монополістом. Основні проблеми підприємства включають:

- високий рівень зношеності рухомого складу (понад 80 % вагонів і локомотивів потребують оновлення);
- недостатній рівень автоматизації процесів перевезення;
- складну тарифну політику, що не завжди відповідає ринковим умовам;
- низький рівень клієнтоорієнтованості та гнучкості логістичних рішень.

Водночас АТ «Укрзалізниця» має стратегічні переваги: розвинену мережу залізничних колій, географічно вигідне розташування, наявність кваліфікованих кадрів і значний транзитний потенціал [3,4] .

Підвищення ефективності діяльності «Укрзалізниці» можливе за кількома ключовими напрямками [5] :

- модернізація матеріально-технічної бази - необхідне оновлення локомотивного парку, впровадження енергоощадних технологій, підвищення рівня технічної надійності вагонів. Залучення інвестицій, у тому числі міжнародних, є важливою умовою модернізації;

- цифровізація процесів управління - автоматизація планування маршрутів, впровадження електронного документообігу, систем моніторингу вантажів (GPS-трекінг, Smart Wagon) дозволять скоротити витрати часу і підвищити точність доставки;

- оптимізація тарифної політики - перехід до гнучкої системи тарифів, орієнтованої на попит і сезонність, сприятиме залученню клієнтів та формуванню прозорої конкуренції з іншими видами транспорту;

- підвищення якості логістичного сервісу - формування комплексних послуг «від дверей до дверей» (door-to-door delivery), розвиток логістичних хабів і контейнерних терміналів, скорочення простоїв вагонів на станціях;

- розвиток міжнародного співробітництва - інтеграція до європейської транспортної системи TEN-T, залучення іноземних партнерів до модернізації інфраструктури.

Підвищення конкурентоспроможності АТ «Укрзалізниця» є комплексним завданням, що вимагає системних реформ у сфері управління, фінансів, технічного забезпечення та обслуговування клієнтів. Реалізація стратегії цифрової трансформації, модернізації рухомого складу та впровадження європейських стандартів якості сприятиме зміцненню позицій підприємства на внутрішньому та міжнародному ринку транспортних послуг.

[1] Пархоменко, Л.О. Розроблення СППР для управління процесом формування контейнерних поїздів у рамках системи інтермодальних перевезень [Текст] / Л.О. Пархоменко, В.М. Прохоров, Т.Ю. Калашнікова, О.Е. Шандер// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2023. – № 3. – С. 29-32.

[2] V. Petrushov. Study into conditions for the interaction between different types of transport at intermodal terminals [Текст] / V. Petrushov, O. Shander // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: НВП “Технологічний центр”, 2018. – № 6/3(96). – С. 70-76.

[3] O. Shander. Improving the technology of freight car fleet management of operator company/ O. Shander, D. Shumyk, Y. Shander, O. Ischuka// Procedia Computer Science Volume 149, 2019, P. 50-56.

[4] Бутько, Т.В. Формалізація процесу управління парком вантажних вагонів операторських компаній [Текст] / Т.В. Бутько, О.Е. Шандер // Східно – Європейський журнал передових технологій. – 2014. - № 2/3(68). - С. 55-58.

[5] Євроінтеграція – перший крок реформи залізничного транспорту [Електронний ресурс] / Міністерство інфраструктури України. – 2025. – Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/content/reformi-zaliznichnogo-transportu.html> (дата звернення: 27.10.2025).

МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ТРАНСФЕР АЛГОРИТМІЧНИХ ПАРАДИГМ ДЛЯ СТВОРЕННЯ АВТОНОМНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ СИСТЕМ

INTERDISCIPLINARY TRANSFER OF ALGORITHMIC PARADIGMS FOR THE CREATION OF AUTONOMOUS RAILWAY SYSTEMS

*М.Ю. Куш, PhD О.В. Щебликіна науковий керівник
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*М. Yu. Kushch, O. V. Shcheblykina (Scientific Supervisor) PhD (Tech.)
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Сучасна парадигма автоматизації залізничного транспорту, що базується на системах CBTC та ETCS, досягла певного технологічного плато, де подальший рух до повної автономності на магістральних лініях стримується фундаментальними архітектурними обмеженнями, а не недосконалістю існуючих алгоритмів. Ключовими бар'єрами є залежність від колійної інфраструктури для гарантування вільності колії, складність забезпечення моніторингу цілісності поїзда (ТІМ) без тотальної модернізації вагонного парку, а також реактивна природа поточних систем планування, нездатних до миттєвої адаптації у непередбачуваному "відкритому" середовищі [1].

У доповіді запропоновано змінити вектор досліджень та здійснити трансфер зрілих технологічних рішень з інших доменів - автономного водіння, робототехніки, ройового інтелекту та сучасної логістики. Для переходу до роботи у відкритому світі критично важливо наділити локомотив власним "зором", адаптувавши стек Sensor Fusion з індустрії автономних автомобілів, що поєднує камери для семантичного розуміння, LiDAR для точної 3D-геометрії та радары для роботи в складних погодних умовах. Замість класифікації нескінченної множини типів перешкод пропонується семантична сегментація на два класи: безпечна зона колії та аномалії, що кардинально змінює задачу з "розпізнати невідому загрозу" на "підтвердити відсутність аномалій". Для локалізації доцільно перейти від класичних фільтрів Калмана до Фільтрів Частинок, що дозволить ефективно вирішувати проблеми мультимодальної невизначеності при виїзді з тунелів та негауссового шуму багатопроменевого поширення в міських каньйонах [2].

Проблему ТІМ, що застопорила впровадження ETCS Level 3, пропонується вирішити через адаптацію авіонічних принципів, використовуючи автономні кінцеві пристрої (EOTD) з диференціальним GNSS та IMU на останньому вагоні, які створюють незалежний канал підтвердження цілісності через порівняння

векторів стану та моніторинг тиску в гальмівній магістралі. Такий підхід усуває необхідність дорогої модернізації всього парку, вимагаючи лише обладнання локомотивів та один автономний блок на состав.

В області управління пропонується гібридна дворівнева архітектура, запозичена з мобільної робототехніки: стратегічний рівень залишається за Model Predictive Control для глобальної енергоефективної оптимізації, тоді як тактичний рівень посилюється алгоритмами інкрементного перепланування, такими як D* Lite, здатними миттєво генерувати безпечні локальні траєкторії при виявленні сенсорами раптових перешкод. Для реалізації концепції Віртуального зчеплення доцільно перейти від жорстких алгоритмів консенсусу до біоінспірованих підходів Swarm Intelligence, зокрема моделі Voids та методу штучних потенційних полів (APF), що дозволить поїздам у групі децентралізовано підтримувати безпечну динамічну формацію через три прості правила: розділення, вирівнювання та згуртованість [3, 4].

На рівні управління мережею статичні розклади повинні поступитися місцем динамічним методам з логістики, таким як Adaptive Large Neighborhood Search, який через ітеративне руйнування та відновлення частини розкладу дозволяє диспетчерським системам адаптуватися до збоїв за секунди, що незрівнянно швидше за повний перезапуск генетичних алгоритмів. У середньостроковій перспективі перспективними є Liquid Neural Networks для адаптивних контролерів, що навчаються в реальному часі без перенавчання, та fog computing архітектура для зменшення латентності критичних рішень. У довгостроковій перспективі розподіл пропускну здатності може бути делегований самим поїздам через механізми теорії ігор та автоматизовані аукціони, де кожен агент автономно домовляється про пріоритет проходження без централізованої диспетчеризації.

Таким чином, інтеграція перевірених методів із суміжних високотехнологічних галузей через модульну архітектуру є найбільш ефективним шляхом до подолання існуючих технологічних бар'єрів та досягнення справжньої автономності на залізниці, усуваючи фундаментальні прогалини на стику фізичного та цифрового світів.

- [1] Barruffo, Lorenzo & Caiazzo, Bianca & Petrillo, Alberto & Santini, Stefania. (2024). A GoA4 Control Architecture for the Autonomous Driving of High-Speed Trains Over ETCS: Design and Experimental Validation. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. PP. 1-16. 10.1109/TITS.2023.3338295.
- [2] Ullah, Inam & Su, Xin & Zhang, Xuewu & Choi, Dongmin & Hou, Zhenguo & Zhu, Jinxiu. (2020). Evaluation of Localization by Extended Kalman Filter, Unscented Kalman Filter, and Particle Filter-Based Techniques. Wireless Communications and Mobile Computing. 2020. 15. 10.1155/2020/8898672.
- [3] Kong, Huifang & Zhang, Qian. (2022). Path Planning for Collision Avoidance Based on Artificial Potential Field with Vehicle Dimension Constraint. 5371-5376. 10.23919/CCC55666.2022.9901691.
- [4] Ahmadvand, Reza & Sharifi, Safura & Banad, Yaser. (2024). Swarm Intelligence in Collision-free Formation Control for Multi-UAV Systems with 3D Obstacle Avoidance Maneuvers. 10.48550/arXiv.2412.12437.

Секція
ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ЛОГІСТИКА

УДК 656.073.436+656.225+656.025.4

**БЕЗПЕКА ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА
АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ
НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ**

**SAFETY MANAGEMENT AT THE INTERFACE OF RAIL AND ROAD
TRANSPORT FOR DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION**

*Д.т.н., проф., Д.В. Ломотко¹, Dr. hab. inż., prof. UTH Rad Jerzy
Wojciechowski², аспірант А.І. Аболонін¹*

¹*Український державний університет залізничного транспорту (Україна)*

²*Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom (Poland)*

*Dr. Tech. Sc., prof. D.V. Lomotko, Dr. hab. inż., prof. UTH Rad Jerzy
Wojciechowski, postgraduate student A.I. Abolonin*

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Ukraine)*

²*Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom (Poland)*

Перевезення небезпечних вантажів є критично важливим елементом економіки, але водночас становить значний ризик для довкілля, населення та транспортної інфраструктури. В Україні значна частина небезпечних вантажів транспортується за мультимодальною схемою, що вимагає взаємодії залізничного та автомобільного транспорту на станціях, вантажних дворах, під'їзних коліях підприємств. Особливо критично той факт, що на залізничних переїздах можуть виникнути надзвичайні ситуації з небезпечними вантажами.

Актуальність дослідження зумовлена високою вірогідністю виникнення аварійних ситуацій у зонах взаємодії (переїзди, пункти перевантаження). Значними потенційними збитками та катастрофічними наслідками, які можуть мати місце у випадку ДТП чи аварії з участю перевізників небезпечних вантажів (вибух, пожежа, хімічне зараження). Необхідністю є суворе дотримання національних і міжнародних норм (наприклад, ДОПНВ для авто [1]- та КОТІФ для залізничного транспорту [2]).

Ключові ризики в контексті взаємодії залізничного та автомобільного транспорту під час перевезення небезпечних вантажів можна згрупувати за наступними напрямками:

1. Ризики на залізничних переїздах. На це впливає технічний стан переїздів: несправність автоматики, сигналізації чи шлагбаумів. Важливим є людський фактор, зокрема порушення правил дорожнього руху водіями, порушення інструкцій машиністами.

2. Ризики в пунктах перевантаження та зберігання. В основному це пов'язано з технологічними помилками: неправильне кріплення вантажів, використання несумісного обладнання, невірна ідентифікація вантажу. На другому місці людський фактор: недостатня кваліфікація персоналу, порушення техніки безпеки при вантажних операціях. Існують ще екологічні ризики: розливи чи витoki небезпечних вантажів під час перевантаження або тимчасового зберігання.

3. Ризики, пов'язані з інформаційним обміном. Характерними факторами є несвоєчасність або неточна інформація: відсутність оперативного обміну даними про клас небезпеки, обсяг і маршрут між залізничними підрозділами, автоперевізниками та екстреними службами, відсутність єдиної системи моніторингу ускладнює оперативне реагування на інциденти.

Для суттєвого зниження ризиків пропонується реалізувати наступні заходи:

1. Технологічне та інфраструктурне удосконалення процесу перевезень. Модернізація залізничних переїздів. Впровадження систем дистанційного моніторингу стану автоматики, інтеграція камер відеоспостереження та систем контролю швидкості. Створення спеціалізованих терміналів. Організація високотехнологічних перевантажувальних комплексів для небезпечних вантажів, віддалених від густонаселених районів, із застосуванням автоматизованих систем контролю вантажних операцій. Використання сучасного рухомого складу, стимулювання переходу на транспортні засоби, що відповідають найвищим міжнародним стандартам безпеки.

2. Покращення нормативно-правового та організаційного забезпечення. Ці заходи передбачають повне узгодження національних правил перевезення небезпечних вантажів з міжнародними нормами (ДОПНВ/КОТИФ) та створення єдиних інструкцій для зон взаємодії. Посилення контролю маршрутів, обов'язкове погодження маршрутів автотранспорту з урахуванням мінімальної кількості перетинів залізничних колій у межах населених пунктів. Встановлення жорсткіших вимог до спеціального навчання та сертифікації персоналу.

3. Впровадження інформаційних технологій включає створення єдиної інформаційної платформи, впровадження GPS-моніторингу руху небезпечних вантажів з можливістю оперативного відстеження екстреними службами, застосування IoT технологій. Автоматизація обміну даними, забезпечення миттєвого обміну даними про прибуття, перевантаження та відправлення вантажів між усіма суб'єктами перевезень.

Таким чином, безпека при взаємодії залізничного та автомобільного транспорту під час перевезення небезпечних вантажів є багатогранною проблемою, що вимагає комплексного підходу. Мінімізація ризиків досягається не лише модернізацією інфраструктури, але й систематизацією нормативної бази, підвищенням кваліфікації персоналу та впровадженням сучасних ІТ-технологій для моніторингу та оперативного реагування. Реалізація запропонованих заходів дозволить суттєво підвищити рівень безпеки перевезень небезпечних вантажів та зменшити потенційні соціально-екологічні та економічні втрати.

- [1] Європейська Угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ)
URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217#Text
[2] Конвенція про міжнародні залізничні перевезення URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_291#Text

УДК 656.073:628.5

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАЛІЗНИЧНІЙ ЛОГІСТИЦІ УКРАЇНИ

IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTALLY SAFE TECHNOLOGIES IN RAILWAY LOGISTICS OF UKRAINE

д-р техн. наук, проф., Д.В. Ломотко¹, Dr. hab. inż., prof. UTH Rad Tomasz Perzyński², студент К.Г. Власенко¹

¹Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

²Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom (Poland)

***Dr. Tech. Sc. D. Lomotko¹, Dr. hab. inż., prof. UTH Rad Tomasz Perzyński²,
student K. Vlasenko¹***

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Ukraine)

²Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom (Poland)

Сучасні тенденції розвитку залізничної галузі України визначаються потребою у підвищенні ефективності перевізного процесу, забезпеченні екологічної безпеки та інтеграції у європейську транспортну систему [1; 2]. Умови воєнного часу, пошкодження об'єктів інфраструктури та зростаюча енергетична залежність вимагають переходу до більш раціонального використання ресурсів, оптимізації логістичних ланцюгів і впровадження інноваційних, екологічно орієнтованих рішень [5].

Одним із пріоритетних напрямів є розвиток сталої транспортної системи, яка базується на принципах «зеленої логістики» – зменшення шкідливих викидів, підвищення енергоефективності, використання альтернативних джерел енергії та цифрових технологій управління перевезеннями [2; 3]. Особлива увага приділяється розвитку залізничного транспорту, який має стратегічне значення для економіки країни, забезпечуючи масові перевезення вантажів і пасажирів з мінімальним впливом на навколишнє середовище [4].

Залізниця вважається одним із екологічно чистих видів транспорту: викиди вуглекислого газу при перевезенні вантажів залізницею у 3-4 рази нижчі, ніж автомобільним транспортом [4; 5]. Це спричинено високою енергоефективністю рухомого складу, використанням електричної тяги та можливістю централізованого контролю енергоспоживання. Крім того, залізничний транспорт дає змогу суттєво зменшити навантаження на автомобільні шляхи, знизити рівень непараметричного шумового забруднення і скоротити витрати на

утримання інфраструктури [4].

У сучасних умовах залізнична логістика розглядається як базова складова транспортної екосистеми України, що здатна забезпечити не лише ефективне переміщення товарів, а й підтримку екологічної стабільності регіонів [3; 6]. Використання екологічно безпечних технологій у залізничній логістиці є ключовою складовою сучасної концепції «зеленої логістики», що передбачає поєднання економічної ефективності транспортних процесів із дотриманням екологічних стандартів та принципів сталого розвитку [2; 3]. Основна мета цієї концепції полягає у раціональному використанні енергоресурсів, мінімізації шкідливих викидів у навколишнє середовище, скороченні утворення відходів і застосуванні екологічно безпечних матеріалів у виробництві, експлуатації, обслуговуванні залізничної транспортної інфраструктури та підвищенню конкурентоспроможності залізниць на міжнародному ринку.

Одним із головних напрямів розвитку є електрифікація залізничних ліній, що сприяє зменшенню залежності від дизельного палива, а отже – скороченню викидів вуглекислого газу, оксидів азоту, сірки та сажі [1; 4]. Електрифікований транспорт забезпечує вищу енергоефективність, менші експлуатаційні витрати та кращі екологічні показники, порівняно з традиційними тепловозами. На сьогодні в Україні понад 45 % залізничної мережі електрифіковано, однак цей показник потребує подальшого зростання для досягнення європейських екологічних стандартів [2; 6]. Нажаль, умови воєнного стану скорочують можливість електрифікації, а руйнування енергетичної інфраструктури призводить до часткової необхідності використання тепловозної тяги [1].

Не менш важливим напрямом є впровадження енергозаощадних і ресурсозберігаючих технологій. Серед них – використання систем рекуперації енергії під час гальмування, що дозволяє повертати частину електроенергії у мережу, а також використання автоматизованих систем керування тягою і рухом поїздів, які оптимізують швидкісний режим, зменшуючи витрату енергії та підвищуючи безпеку руху [3; 4].

У рамках реалізації екологічної політики залізнична галузь поступово переходить до модернізації рухомого складу – впроваджуються електровози нового покоління з мінімальним рівнем шуму, гібридні локомотиви, а також водневі технології, що є перспективним напрямом декарбонізації транспортного сектору [5; 6].

Важливою складовою є також цифровізація логістичних процесів, що дозволяє мінімізувати використання паперових документів, автоматизувати управління вантажопотоками, зменшити простій вагонів і локомотивів. Впровадження інтелектуальних систем моніторингу дає змогу контролювати технічний стан транспортних засобів, планувати профілактичні ремонти та знижувати ризики аварій, які можуть мати екологічні наслідки. Такі рішення забезпечують прозорість логістичних процесів, дають змогу оптимізувати маршрути руху, зменшити простій рухомого складу, знизити витрати палива й електроенергії [2; 3].

Значна увага приділяється утилізації та повторному використанню матеріалів, зокрема мастильних речовин, охолоджувальних рідин, елементів інфраструктури, тари й упакування тощо. Застосування технологій переробки та

відновлення компонентів дає можливість не лише зменшити екологічне навантаження, а й знизити собівартість логістичних операцій, що відповідає принципам циркулярної економіки [5].

Україна сьогодні активно інтегрується в європейську транспортну систему, що вимагає гармонізації національної залізничної логістики з екологічними стандартами ЄС та принципами сталого розвитку [2; 6]. У цьому контексті впровадження екологічно безпечних технологій у залізничній галузі є не лише вимогою часу, а й ключовою умовою підвищення ефективності та конкурентоспроможності нашої країни на міжнародному ринку транспортних послуг.

Перспективними напрямками подальшого розвитку виступають використання альтернативних джерел енергії, зокрема водневих технологій, сонячних і вітрових систем живлення допоміжного обладнання, а також розвиток «зелених» транспортних коридорів, що забезпечують мінімальний вплив на довкілля на всіх етапах логістичного процесу – від навантаження до доставки вантажу кінцевому споживачу [2; 5].

Особливу увагу слід приділити модернізації рухомого складу відповідно до європейських стандартів екологічності, енергоефективності та безпеки, а також впровадженню інтелектуальних транспортних систем (ITS), які забезпечують оптимізацію маршрутів, зниження витрат палива й контроль за екологічними параметрами роботи локомотивів.

Отже, екологізація залізничної логістики України – це стратегічний напрям, який поєднує впровадження технологічних інновацій, підвищення енергоефективності та формування екологічної відповідальності транспортної галузі [3; 4; 6]. Реалізація екологічно безпечних рішень у сфері перевезень дає можливість не лише знизити рівень шкідливих викидів і шумового забруднення, а й забезпечити раціональне використання природних ресурсів, скорочення експлуатаційних витрат та підвищення якості транспортних послуг.

Важливим результатом упровадження «зелених» технологій стане створення сталого транспорту майбутнього, орієнтованого на довготривалу енергетичну незалежність, технологічну модернізацію та екологічну безпеку. Такі зміни сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності залізничної логістики України в європейському транспортному просторі, а також покращенню екологічної ситуації в країні загалом, формуючи передумови для сталого розвитку залізниць на національному та регіональному рівнях [2; 5].

[1] Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Національна транспортна стратегія України до 2030 року [Електронний ресурс]. – Київ, 2018. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/>

[2] Європейська комісія. European Green Deal: Towards a sustainable and smart mobility [Електронний ресурс]. – Brussels: European Commission, 2020. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/>

[3] Клименко, І. В., Беляев, С. М. Зелена логістика: концептуальні основи та перспективи розвитку в Україні // Економіка транспортного комплексу. – 2022. – № 40. – С. 55–63.

[4] Гусев, В. М., Мартиненко, О. С. Екологічні аспекти розвитку залізничного транспорту України // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2021. – № 2 (266). – С. 92–99.

[5] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Greening the transport and logistics sector in Eastern Europe and Central Asia. – Geneva: UNECE, 2022. – 48 p.

[6] Левченко, О. П. Сталый розвиток транспортної інфраструктури в умовах євроінтеграції України // Транспортні системи і технології перевезень. – 2023. – № 4. – С. 17–26.

МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ

MULTIMODAL TRANSPORTATION OF GRAIN CARGO

В.В. Гончар, канд. техн. наук Д.В. Арсененко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

V.V. Gonchar, D.V. Arsenenko PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Процес експорту зернових вантажів, починаючи від формування вантажу на залізничних дільницях і закінчуючи функціонуванням портового зернового терміналу як ключового елемента ланцюга поставок зважаючи на всю картину є визначним елементом [1]. Необхідність запропонувати нові підходи до інтеграції транспорту в сучасні умови, що враховує оригінальний метод комбінованого використання залізничного та автомобільного транспорту для перевезення зернових вантажів є визначеною.

Нові моделі розрахунку параметрів транспортування, що враховують специфічні особливості портових зернових терміналів та маршрутизації повинні враховувати оптимізацію експлуатаційних показників. Методи які підвищують технологічну гнучкість та дозволяють транспортним операторам ефективніше адаптуватися до сучасних умов на сьогодні є необхідністю. Взаємодія залізничного та автомобільного транспорту, орієнтована на портові зернові термінали, з урахуванням нових економічних, технічних або організаційних параметрів повинна мати більш визначений характер.

Сформована обставинами система обмежень полягає у зменшенні обсягів перевезень вантажів, реальному стані вагонного та локомотивного господарств та дефіциту інвестицій. Формування комплексного організаційного підходу до перевезення зернових вантажів дозволить утримувати вантажовідправників з невеликим обсягом перевезень у пунктах формування вантажів та скоротити оборотність зернового вагона для таких відправлень до 7 днів.

Мультимодальні перевезення в описаних умовах полягають в необхідності доповнення залізничного транспорту автомобільним, враховуючи оперативну ситуацію [2]. Цей варіант, за умови покращення ключових операційних показників, вважається тимчасовим і дозволить оптимізувати процес у режимі реального часу, спираючись на функціональність новоствореного структурного підрозділу – «Оператор припортових станцій» [3].

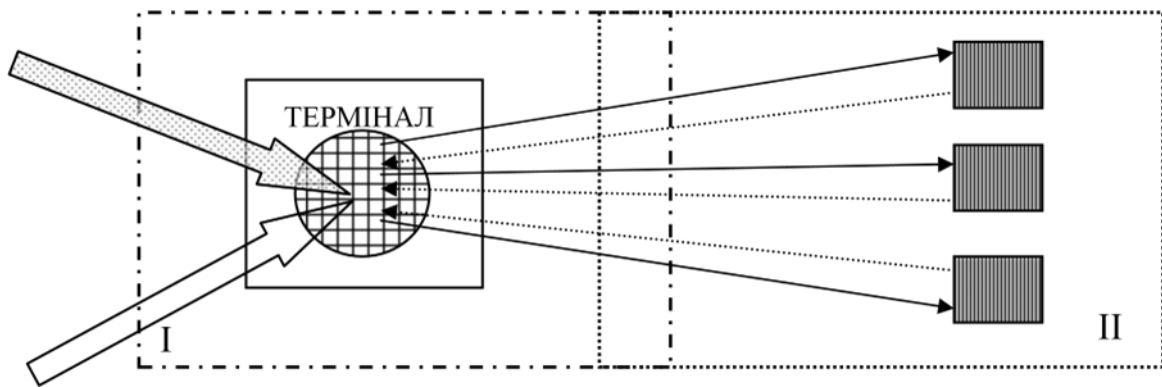


Рис.1 Функціонально-логічна структура терміналу при взаємодії автомобільного та залізничного транспорту.

Декомпозиція організаційної структури терміналу як багатофункціональної системи дозволяє виділити дві функціонально-залежні підсистеми. Зернові термінали є стратегічними об'єктами аграрної інфраструктури [4]. Вони забезпечують стабільну логістику експорту, підтримують продовольчу безпеку й підвищують конкурентоспроможність аграрного сектору країни. Функціонування терміналу за участю автомобільного та залізничного транспорту можна представити як сукупність взаємодії фаз: залізничний транспорт, експедиція прийому, зона зберігання, зона комплектації та упаковки та зона навантаження [5].

Представлена модель взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі дозволяє досліджувати та коригувати технологію роботи терміналу та безпосередньо вплив технолого-конструктивних параметрів на час знаходження вантажу на терміналі. Також на підставі результатів моделювання можливо приймати управлінські, технологічні рішення та аналізувати час знаходження вантажу на терміналі.

- [1]. Arsenenko, D. V. (2019). Methods of infrastructure management for optimization of grain transport organization. Collection of Scientific Papers, Ukrainian State University of Railway Transport, 184, 92–101. <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/1584>
- [2]. Ломотько Д. В. Удосконалення системи підтримки прийняття рішення при розподілі рухомого складу / Д.В. Ломотько, А.О. Ковальов, О.В. Ковальова // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту : тези доповідей 78-ї міжнар. наук.-техн. конф. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 26-28 квітня 2016 р.). – 2016. – Випуск 166 (додаток). – С. 129.
- [3]. ПРОЄКТ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ФІЛІЮ «ОПЕРАТОР ПРИПОРТОВИХ СТАНЦІЙ» АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ». [Телеграма СКЕДО] // Режим доступу: Із Києва СКЕДО НЗ-1, М, ДН регіональних філій АТ «Укрзалізниця» ЦМ, ЦРБ
- [4]. Нагорний Є.В Методика визначення часу переробки тарно-штучних вантажів на терміналі / Є.В. Нагорний, А.С. Самойленко // Автомобільний транспорт : зб. наук. праць. – Харків : ХНАДУ. – 2006. – № 19. – С. 72–76.
- [5]. Костенніков О. М. Мультиmodalьні та інтерmodalьні вантажоперевезення / О. М. Костенніков, В. С. Буклей // Інтелектуальні транспортні технології : IV міжнар. наук.-техн. конф. (27-28 листопада 2023 р.) : тези доповідей. - Харків : УкрДУЗТ, 2023. - С. 186-188.

ЗАЛУЧЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ДО СЕЗОНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ

INTERCONNECTIONS BETWEEN PORT AND FIELD CARGO WORK

Л.В. Толкачева, канд. техн. наук Д.В. Арсененко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

L.V. Tolkacheva, D.V. Arsenenko PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Існуючий процес скорочення обсягів перевезень на фоні критичних інфраструктурних проблем змушують шукати водночас універсальні і дієві управлінські рішення, що і підтверджує історія маршрутизації на УЗ яка є паралельною із реформуванням галузі. Одним із рішень вирішених завдань є впровадження ефективної маршрутизації, яка зможе в описаних умовах відповідати вимогам всіх учасників перевізного процесу [1].

Необхідність залучення ефективної маршрутизації в основі якої лежить завдання скорочення експлуатаційних витрат та оптимізації основних показників роботи залізничного транспорту повинна мати зворотній відгук від районів що тяжіють до вивантаження які на сьогоднішній день становлять порти. Критерії визначення пункту концентрації вантажної та комерційної роботи дозволяють стверджувати, що як пункти концентрації на дільницях, так і припортові райони мають спільні орієнтири в оперативній роботі.

Стратегічне планування в умовах скорочення обсягів перевезення, критичного стану інфраструктури та дефіциту інвестування спонукає формувати шляхи опори аналізуючи перевізний процес. Зважаючи на сезонні фактори та стабільність яка відстежується за весь період досліджень такою опорою може стати лише аграрний сектор [2].

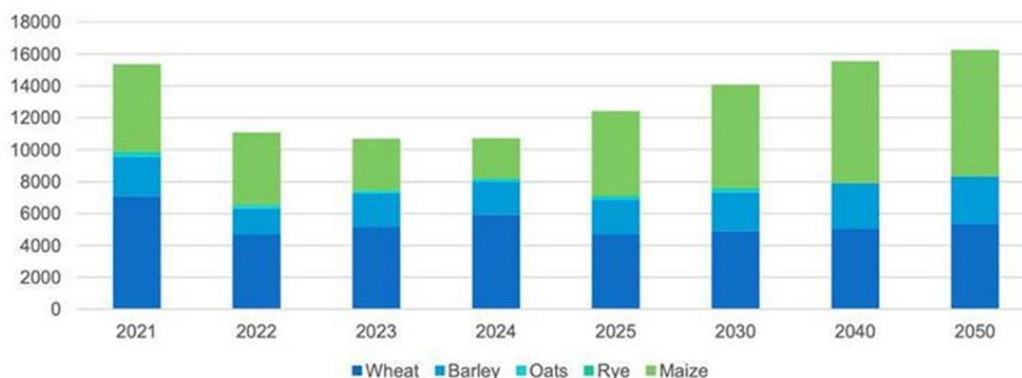


Рис.1 Прогноз розвитку аграрного сектору

Інтеграція залізниці до ринкових умов праці є невід'ємною частиною реформування галузі. Виходячи з цього обсяги навантаження, забезпечення потреб інших учасників перевізного процесу оператором перевезення та інші експлуатаційні показники повинні відповідати вимогам ринку та його тенденціям. Зважаючи на це формування будь яких логістичних та управлінських впроваджень повинно базуватися на принципах ресурсозбереження та оптимізації витрат в цілому [3].

Враховуючи описаний характер проблем пропонуємо формувати сезонні контейнерні поїзди які курсуватимуть із південний регіонів поступово збільшуючи плече. Такий варіант буде актуальним для зернових вантажів в липні та кукурудзи на осінньо-зимовий період [4].

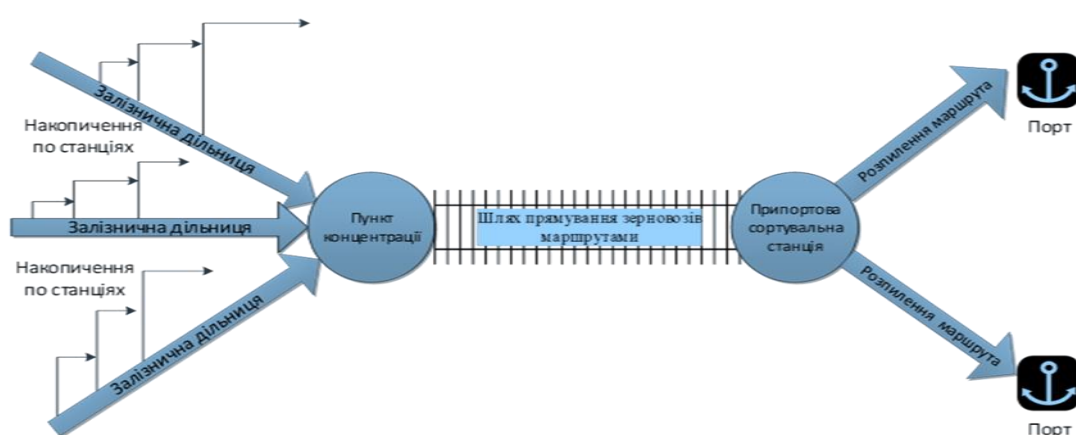


Рис. 2 – Схема формування ступеневого контейнерного поїзда на пункті концентрації вантажної роботи із подальшим розпиленням до припортових станцій

Запропонована структура логістичної моделі ступінчастого маршруту із контейнерами передбачає отримання ефекту від:

- скорочення порожнього пробігу вагонів та підвищення маршрутної швидкості доставки вантажу в порт;
- оптимізувати експлуатаційні витрати за рахунок безоплатної подачі в порт універсального рухомого складу - контейнерів ;
- прогнозувати час доставки особливо на фоні існуючого обігу вагону;
- формування такого «сезонного поїзда» дозволить налагодити тимчасові вантажні коридори на принципах ресурсозбереження [5].

[1] Lomotko, D.V. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways [Text] // Transportation Research Procedia, Volume 14, 2016, Pages 2762-2766, ISSN 2352-1465, <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.482>.

[2] Костенніков О. М. Логістичні підходи у взаємодії залізничного та морського транспорту / О. М. Костенніков, О. І. Ліпницька // Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні

центри та корпоративна логістика : матеріали дев'ятнадцятої наук.-практ. міжнар. конф. (1-2 червня 2023 р. м. Харків). - Харків : УкрДУЗТ, 2023. - С. 69-70

[3] Силабус з дисципліни "Дослідження операцій в транспортних системах". II семестр 2024-2025 н.р.; освітній рівень: перший (бакалаврський); галузь знань: 27 Транспорт; спеціальність: 275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті); освітня програма: Організація міжнародних перевезень (ОМП) / укладачі: М. Є. Резуненко, Н. Г. Панченко, С. С. Лапта, Л. О. Сінявіна. - Харків: УкрДУЗТ, 2024. - 12 с.

[4] Ломотько Д. В. Аналіз розвитку мультимодальних перевезень залізничним транспортом в Україні / Д. В. Ломотько, Г. О. Примаченко // Залізничний транспорт України. - 2023. - № 2. - С. 15-32.

[5] Арсененко Д.В. УДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ [Текст] / Д.В. Арсененко // Дисертація. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. –С. 68-78.

УДК 624.012.4:699.812

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ ПРИПОРТОВОЇ ТА ДІЛЬНИЧНОЇ ВАНТАЖНОЇ РОБОТИ

INTERCONNECTIONS BETWEEN PORT AND FIELD CARGO WORK

М.О. Коробчанський, канд. техн. наук Д.В. Арсененко
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

М.О. Korobchanskiy, D.V. Arsenenko PhD (Tech.)
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Зважаючи на постановку задачі в контексті реформування в сучасних умовах розглянуті питання стратегічної оцінки роботи галузі [1], способи нівелювати недоліки стану залізничної інфраструктури за рахунок впровадження СППР [2] та питання формування принципів організації місцевої роботи в умовах скорочення обсягів перевезень [3]. Важливим аспектом у формуванні технології перевезень зернових вантажів залізницями України є розуміння процесів вантажоутворення яке і формує попит на транспортну послугу [4]. Необхідність формувати перевізний процес в умовах скорочення обсягів перевезень, стагнації інфраструктурного потенціалу та припортового характеру формування зернових відправок вимагає враховувати ці чинники. Використання сучасних інформаційних та інтелектуальних технологій є необхідною складовою будь якого логістичного процесу сьогодні і врахування такого фактору має свої особливості на залізниці сьогодення.

Процес формування ступінчастого залізничного маршруту для зернових вантажів з метою оптимізації місцевих вантажних операцій та підтримки вагонних перевезень може бути саме тим інструментом який дозволить частково вирішити описані питання. Крім того, впровадження логістичних операцій на

всіх рівнях ланцюга постачання, що підтримується логістичним підходом, сприяє зниженню експлуатаційних витрат.

Основною гіпотезою нашої думки є формалізація компромісного транспортного рішення, яке збалансує питомі витрати зі збереженням вантажовідправників, що обробляють невеликі обсяги вантажів. Припущення, що лежать в основі цього тлумачення, свідчать про те, що комплексний підхід до формування відправлень оптимізує обіг зернових вагонів за сучасних умов.

Ступінчастий маршрут, оптимізований з точки зору економічної ефективності, дозволяє формувати відправлення в точках концентрації вантажних операцій, охоплюючи всіх потенційних вантажовідправників.

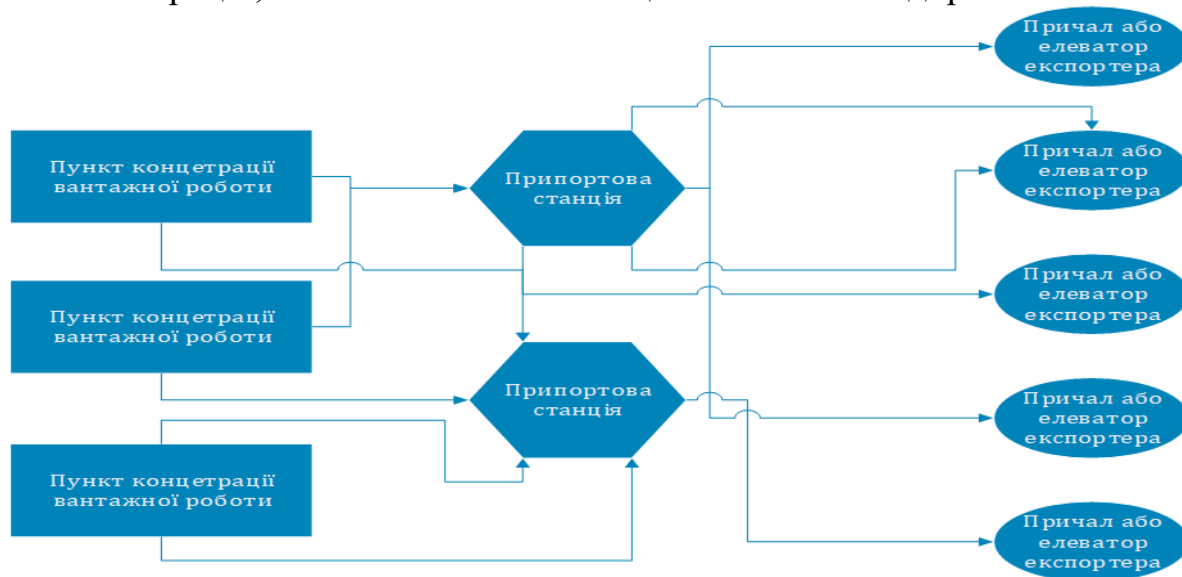


Рис 1. Схема руху зернових вантажів із визначенням ключових інфраструктурних об'єктів які впливають на формування залізничної відправки

Концептуально це завдання спрямоване на вирішення повного спектру питань, що стосуються сучасного транспортного процесу, включаючи:

- Аналіз ринку транспортних послуг.
- Співпраця з філіями державного підприємства «Оператор припортових станцій» з метою організації залізничних транспортних послуг (прибуття-відправлення) для перевезення вантажів [5].
- Посилення співпраці з портами для підвищення ефективності взаємодії між залізничним та водним транспортом.
- Організація комплексного спектру транспортних та експедиційних послуг.

Аналізуючи історію формування маршрутів на УЗ, було виявлено, що основною метою було зниження питомих витрат та оптимізація ключових операційних показників. Саме оптимізація операційних витрат, встановлена на тлі визначеної системи обмежень, створює необхідні умови для впровадження логістичних інновацій.

Застосування двоетапної транспортної моделі, в якій ступінчасті або відправні маршрути формуються в пунктах концентрації вантажів, а потім перерозподіляються на портових станціях до фактичних місць розвантаження, пропонує простий, але ефективний метод, враховуючи поточний потенціал галузі. Інтеграція таких факторів, як стан залізничного транспорту та темпи зростання автомобільних перевезень, забезпечує основу для розробки нових підходів. З огляду на проблему скорочення обсягів перевезень, для оператора транспортного процесу виникає додаткова умова: наявність вантажів, призначених для різних портів або терміналів, в межах одного поїздного складу [6]. Враховуючи виявлену необхідність формування залізничних відправлень на основі вимог ринку, вважається доцільним використовувати методологію, яка враховує автомобільні перевезення в режимі реального часу, враховуючи операційні потреби зернових терміналів у портових регіонах

- [1] Lomotko, D.V. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways [Text] // Transportation Research Procedia, Volume 14, 2016, Pages 2762-2766, ISSN 2352-1465, <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.482>.
- [2] Ломотько Д.В. Формування нечіткої бази знань та системи підтримки прийняття рішення у підрозділах залізниць // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті №2, 2006. - с. 52-58.
- [3] Носко Н. А. Організація роботи залізничних станцій малодіяльних ділянок / Н. А. Носко, Д. В. Ломотько // Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 1-ої міжнародної науково-технічної конференції (24-30 січня 2020 р.). - Трускавець-Харків : УкрДУЗТ, 2020. - С. 72-73.10.
- [4] Арсененко Д.В. Удосконалення організації перевезення зернових вантажів залізничними ступінчастими маршрутами / 36. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2019.- Вип. 184. – С.92-101.
- [5] Проект положення про філію «Оператор припортових станцій» Акціонерного товариства «Українська залізниця». [Телеграма СКЕДО] // Режим доступу: Із Києва СКЕДО НЗ-1, М, ДН регіональних філій АТ «Укрзалізниця» ЦМ, ЦРБ
- [6] Арсененко Д.В. Удосконалення логістичного управління транспортуванням зернових вантажів залізничним транспортом [Текст] / Д.В. Арсененко // Дисертація. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. –С. 112-115.

УДК 621.6:696.28:656.2

ДОДАТКОВІ ДЖЕРЕЛА ГАЗОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

ADDITIONAL GAS SUPPLY SOURCES BASED ON RAILWAY MOBILE COMPLEXES

*канд. екон. наук Є.І. Балака, канд. техн. наук Д.С. Лючков
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Econ.) E. Balaka, PhD (Tech.) D. Lyuchkov
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Відомо, що в результаті систематичних ракетно-дронових обстрілів з боку РФ української нафтогазової галузі видобуток природного газу в теперішній час зменшився понад 30% [1]. В цих умовах найбільш актуальною соціально-

економічною задачею є пошук інноваційних рішень щодо додаткових мобільних джерел газопостачання, альтернативних магістральним системам постачання природному газу, які не потребують відчутних інвестиційних витрат, тривалих організаційно-технічних заходів і можуть оперативно впроваджуватися у виробничий процес.

Саме таким вимогам відповідають спеціальні поїзди, пристосовані для комплексного виконання основних функцій газопостачання невеликих населених пунктів, не приєднаних до магістральних газопроводів, виробничих та інфраструктурних об'єктів, розташованих на їх території, а також збільшення обсягів постачання газу з мінімальними додатковими операціями в разі виникнення дефіциту газопостачання внаслідок аварійних ситуацій в роботі газотранспортної системи. Обладнання таких поїздів забезпечує виконання всього комплексу робіт з транспортування і зберігання зрідженого газу, його регазифікацію та постачання до мережі розподільчих газопроводів. Такі спеціальні поїзди являють собою мобільні, автономні, багатофункціональні логістичні комплекси, альтернативні існуючим засобам постачання природного газу.

Спеціальний поїзд складається з:

- вагона-платформи з газовим електрогенератором: модель 30 GBT, потужність - 30 кВт (37,5 кВА); сила струму – 54 А, габаритні розміри 1800×900×1470 мм, вага 700 кг, максимальне витрати палива за год: скраплений газ (LPG) – 6 кг.;

- вагона-платформи з модульною станцією регазифікації (газовий випаровувач KEV050SR, розміри 890×1055×1155 мм, змішувач SNG (автоматичний змішувач модель KRM+насосна установка для подачі рідкої фази LPG на випаровувачах) та газові шланги для з'єднання автономної системи з мережею розподільчих газопроводів;

- вагонів-цистерн для зрідженого газу (вантажопідйомність від 50 до 75 т, об'єм котлу від 70 до 85 м³, швидкість до 120 км/годину). Моделі: 15-1519, 15-1200-01, 15-1200-02, 15-1780, 15-1209, 15-1519-01, 15-1519-02, 15-1597-56, 908P, 15-1597, 15-1597-56. Середня подача вагонів для означених цілей газопостачання складає 20-25 одиниць на місяць;

- вагона-майстерні для поточного ремонту та обслуговування устаткування і обладнання спеціального поїзда;

- вагона з протипожежним обладнанням та засобами пожежогасіння.

- пасажирського вагона для технічного персоналу та управління виробничим процесом.

Відповідно п.6.1 ДБН В. 2.5-20-2018 «Газопостачання» [2] це дозволить забезпечити природним газом протягом місяця населені пункти чисельністю близько 8000 осіб та кілька невеликих підприємств регіону, а також мати альтернативні джерела палива та незалежність від системи транспортування газу магістральним трубопроводом. Середня подача вагонів-цистерн зі зрідженим газом для означених цілей газопостачання складає 20-25 вагонів на місяць. В разі необхідності забезпечення газопостачання протягом тривалого періоду можливе

періодичне поповнення поточних запасів зрідженого газу шляхом його доставки залізничними цистернами. В теперішній час існує значний резерв пропускну здатності залізничної інфраструктури, що дозволяє безперешкодно виділяти нитки графіку для оперативної організації зміни дислокації такого спеціального поїзда залізничними магістралями країни та в короткі терміни облаштовувати місця для підготовки та підключення технологічного устаткування поїзда з скрапленням газом до розподільчих системи газопостачання населених пунктів. Крім того, використання таких спеціальних поїздів буде мати позитивні загальнодержавні наслідки як суто економічного, так і екологічного характеру, а саме:

- по – перше, створить можливість вирішити проблему безперебійного забезпечення газом прикордонних міст обласного підпорядкування, які безпосередньо під'єднані до газотранспортних систем сусідніх країн в разі припинення газопостачання (приклад – м. Вовчанськ Харківської обл.);

- по - друге, це стримуватиме використання сільськогосподарських земель під будівництво трубопровідної системи;

- по – третє, дозволить залізничному транспорту диверсифікувати свою діяльність в якості одного з важливих елементів вітчизняної системи газопостачання.

Доцільність, обґрунтованість такого інноваційного заходу підтверджуються патентами способів і пристрій газопостачання, отриманими його авторами.

[1] Російські удари по енергетиці. Нафтогаз може втратити до третини запланованого видобутку газу у 2025 році [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/vidobutok-gazu-v-ukrajini-naftogaz-vtratit-tretinu-zaplanovanih-na-2025-rik-obsyagiv-50555470.html> (дата звернення: 29.10.2025).

[2] ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання: чинний від 01.07.2019. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 173 с. (Наказ Мінрегіону від 15.11.2018 № 305. Реєстраційний номер BN01:9145-8543-3112-7111).

UDK 656. 073

ПРИСКОРЕННЯ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА ОСНОВІ ОРГАНІЗАЦІЇ ГРУПОВИХ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ

MEASURES TO ACCELERATE FREIGHT TRANSPORT THROUGH THE ORGANIZATION OF GROUP TRAINS

Ph.D., доцент. Ж.С. Баротов

Ташкентський державний транспортний університет (м. Ташкент)

Ph.D, docent J.S. Barotov

Tashkent State Transport University (Tashkent)

In transport logistics, this study focuses on developing a methodology for predicting the travel time of loaded wagons by grouping express freight trains to reduce

the delivery time of local cargo. This approach helps to increase efficiency and reduce the time spent on wagon operations.

The development of transport logistics is based on the creation of transport and technological systems that serve the economic interests of shippers, railways, and consignees. An important principle of logistics is the minimization of costs, inventories of raw materials, fuel, and finished products to the lowest possible levels within the production and transportation process. Therefore, the issues of scientific and technical development of freight and commercial operations in railway transport form an important part of the logistics chain. Since freight and commercial operations extend beyond the boundaries of the main transport process and are directly linked to producers, consumers, and marketing activities, this area can be considered a component of the global logistics system. The effective functioning of the entire railway transport system largely depends on the quality of cargo delivery operations. [1,2].

At present, the technical and technological base of railway freight delivery does not meet modern requirements. The delays in the transportation of loaded wagons remain considerable. According to the results of the analysis conducted for the first six months of 2025, the average values and percentage distribution of wagon turnover time and its components at JSC “UTY” are presented in Figure 1. Currently, at JSC “UTY,” wagons spend only 11% of their turnover time in motion, while the remaining 89% is spent at stations and during waiting periods. The average delivery speed for local freight transportation is 100–120 km per day. According to the national regulations on cargo transportation, the Republic of Uzbekistan is expected to ensure daily coverage of 150 km for container transport and 200 km for other types of shipments.

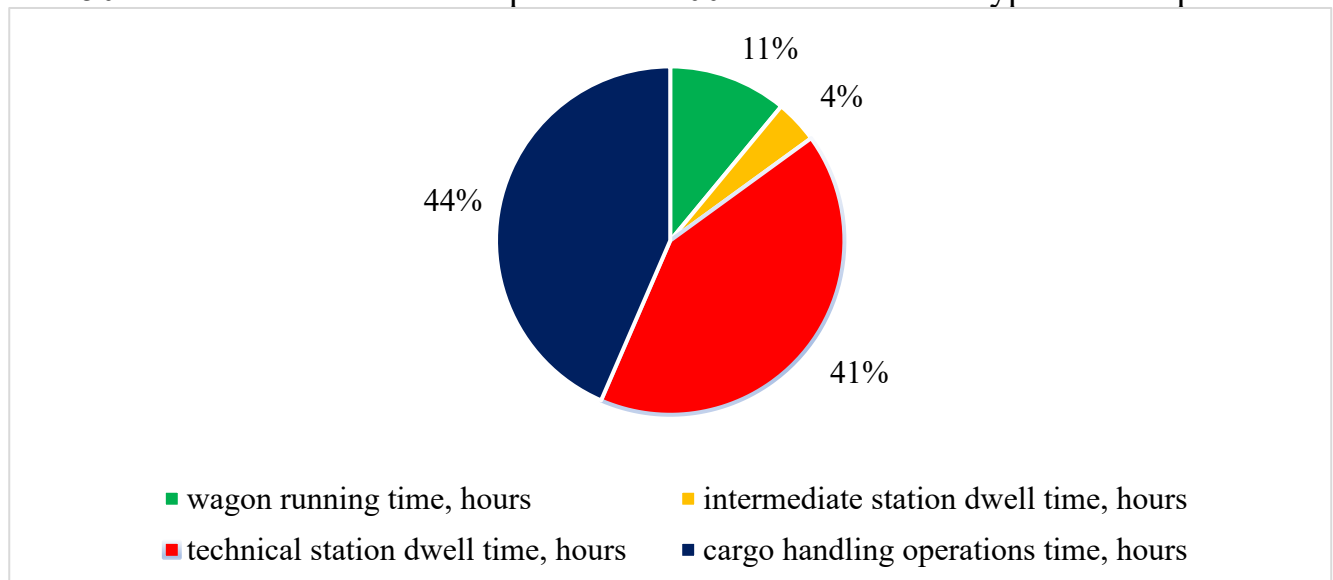


Figure 1. As a percentage of the average time elements of wagon turnover at JSC “UTY” in 2025

Among the main challenges that must be addressed in the process of railway freight transportation, particular attention should be given to the absence of an intelligent system for managing freight delivery, the impact of human factors in organizing technological processes, the long waiting time of wagons at stations until train formation is completed, the slow pace of automation of commercial operations, and the

insufficient development of legal regulations governing the relationship between the railway and its customers

[2-5].

The improvement of technological processes carried out at stations plays an important role in accelerating the delivery of goods. Therefore, it is necessary to organize grouped express freight trains for cargo transportation. These measures include:

- optimizing train composition during the journey;
- preventing the unjustified accumulation of wagons at stations;
- ensuring economic justification for shipments with an optimal number of wagons;
- applying new tariff approaches to enhance the quality of freight transportation services;
- developing algorithmic and simulation-based management solutions.

In addition, it is essential to integrate digital information systems to ensure effective coordination and real-time decision-making.

The introduction of intelligent control systems, data-driven forecasting models, and the establishment of computerized situational centers in railway transport will significantly enhance the stability and economic efficiency of the freight transportation process. These innovations contribute to reducing delivery times, increasing station throughput through optimized dispatching, improving overall economic performance, introducing tariff adjustments as incentives for customers, attracting a larger customer base to railway transport, improving the accuracy and speed of management decisions, and ensuring the integration of intelligent management systems.

The harmonious integration of intelligent control systems, optimization algorithms, and information technologies in railway transport is a key prerequisite for improving the quality of freight transportation services, minimizing resource consumption, and ensuring the stability of transport operations. To achieve these goals, it is necessary to employ grouped express freight trains within local railway transport systems.

[1] Kobulov, J., Shermatov, E., Saidivaliev, S., Sattorov, S., Barotov, J. Overdue waiting of wagons on railway branch tracks: Problems and solutions. E3S Web of Conferences, 2024, 515, 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/202451503008.

[2] J. Kobulov, J. Barotov, R. Tursunkhodjayeva, M. Tashmatova. Problems and solutions to improve delivery times of cargo // AIP Conference Proceedings 2624 (1), 040007.

[3] J.R. Kabulov, J.S. Barotov. Improvement of customer service technology in railway transport. Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации 1 (1), 41-46.

[4] Barotov J.S. Preventive measures against the accumulation of railcars on siding tracks during customer service operations // Scientific review of the problems and prospects of modern science and education. Vol. 1 No. 2 (2025).

[5] Barotov J., Qobulov J., Mekhriev M.. Logistik zanjirda yuklarni yetkazib berish muddatini tezlashtirish orqali iqtisodiy samaradorlikka erishish chora-tadbirlari // Iqtisodiy Taraqqiyot va Tahlil. 2025. T. 3. № 4. C. 49-58.

**APPROACHES TO DEVELOPING AN ADAPTIVE MODEL FOR
MANAGING FREIGHT FLOWS IN INTERNATIONAL
TRANSPORT CORRIDORS**

**ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ АДАПТИВНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ
ВАНТАЖОПОТОКАМИ У МІЖНАРОДНИХ
ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРАХ**

H.S. Baulina, PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

канд. техн. наук Г.С. Бауліна

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

The formation of an effective cargo flow management system in international transport corridors is a strategic task for the development of Ukraine's transport infrastructure. Rail transport, as the main component of the state's logistics system, provides more than 60% of export and import cargo transportation, including grain, ore, metal products, and containers. However, current operating conditions are characterized by unstable market relations, changes in cargo flow directions, and the need to coordinate work with European transport operators. This necessitates adaptive management of the transport process, capable of responding quickly to changes in the external environment.

The main factors affecting the efficiency of logistics flow management in international transport corridors are considered, in particular, the uneven distribution of cargo, delays at border crossings due to different track gauges [1], technical and customs procedures, low flexibility of transport planning when demand volumes change, and insufficient integration of information systems between the railways of different countries. These circumstances lead to unproductive downtime of rolling stock, which causes an increase in its turnover, delays in cargo delivery, and increased operating costs [2].

The adaptive freight traffic management system is based on the principles of self-adjustment, feedback, and dynamic optimization. Its main goal is to ensure the efficient distribution of rolling stock and network capacity in real time. The main components of the model have been identified: a data collection module that combines information about train movements, track conditions, terminal operations, and delays at crossings; an analytical module that applies demand forecasting methods (neural network models); an optimization module that generates an adaptive transport schedule based on the criteria of minimizing time and transportation costs; a decision management module designed to adjust routes and priorities depending on the current state of the system.

The management system can be described as an optimization task that takes into account the cost of transportation between points i and j and the volume of cargo transported between them. For dynamic adjustment of parameters in real time, it is also necessary to take into account changes in transportation volumes, delivery times, and resource deviations (locomotives, cars), which will increase the adaptability of the transportation system to changes in operating conditions.

The integration of an adaptive model into the transport system is possible through the implementation of intelligent systems that use specific technologies to monitor railcars, analyze flows, and make management decisions. This allows for the automation of car distribution, optimization of traffic schedules, increased accuracy of transportation demand forecasts, and minimization of downtime at border stations. The implementation of an adaptive freight flow management model can reduce car downtime by up to 20% and transportation costs by 10–15%.

Thus, the proposed adaptive model for managing freight flows in international transport corridors will ensure an effective response of the system to changes in transport volumes and operating conditions. Its implementation will contribute to Ukraine's integration into the European transport space, reduce logistics costs, and strengthen the competitiveness of rail transport.

[1] Бауліна Г.С., Дідух П.О., Карпаш А.М., Федорняк І.І. Удосконалення технології функціонування перевантажувального комплексу прикордонної перевантажувальної станції. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 162. С. 182-189. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.162.2016.78448>

[2] Бауліна Г.С., Керницький І.В., Порхун А.В. Підвищення ефективності роботи прикордонної станції на основі використання об'єкту логістичної інфраструктури. *Інтелектуальні транспортні технології: IV міжнар. наук.-техн. конф. (27-28 листопада 2023 р.): тези доповідей*. Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 165-166.

УДК 656.225

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В СИСТЕМІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

RISK MANAGEMENT IN THE SYSTEM OF ORGANIZING THE TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS

*канд. техн. наук Г.С. Бауліна, канд. техн. наук Д.М. Чехунов
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*H. Baulina, PhD (Tech.), D. Chekhunov, PhD (Tech.)
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом є одним із найбільш відповідальних напрямів діяльності у сфері транспортної логістики [1]. Висока концентрація вантажів підвищеної небезпеки – нафтопродуктів, хімічних речовин, вибухових і токсичних матеріалів – створює суттєві ризики для життя

людей, довкілля та інфраструктури. З огляду на це, управління ризиками стає ключовим елементом системи організації перевезень, спрямованим на запобігання аварійним ситуаціям і зниження наслідків можливих інцидентів.

Визначено основні ризики при перевезенні небезпечних вантажів залізницею, що впливають на безпеку транспортного процесу:

- технічні ризики – відмови гальмівних систем, несправність цистерн, застарілий рухомий склад;
- організаційні ризики – порушення технології навантаження вантажів, неузгодженість дій персоналу, помилки у плануванні маршрутів;
- інфраструктурні ризики – недостатня пропускна спроможність колій, стан стрілочних переводів, несправність сигналізації;
- людський фактор – недотримання інструкцій, перевтома працівників, недостатня підготовка персоналу;
- зовнішні ризики – погодні умови, диверсійні дії, воєнні фактори.

Відповідно до даних [2], понад 65 % усіх інцидентів з небезпечними вантажами в Європі пов'язано з людським фактором або порушеннями технології навантаження.

Запропоновано системний підхід до оцінювання ризиків на основі комбінації аналітичних і цифрових методів, що дозволять підвищити безпеку транспортного процесу, зменшити ймовірність аварій та мінімізувати потенційні збитки: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) – аналіз видів і наслідків можливих відмов, який дозволяє визначити критичні елементи технологічного процесу; Fault Tree Analysis (FTA) – побудова «дерева відмов» для оцінки ймовірності аварій; Hazard and Operability Study (HAZOP) – дослідження небезпек і працездатності технологічних операцій.

Сучасні підходи до управління ризиками у сфері перевезення небезпечних вантажів повинні базуватись на використанні цифрових технологій, зокрема систем GPS-моніторингу рухомого складу, сенсорів контролю температури, тиску та герметичності цистерн, інтелектуальних платформ для аналізу ризиків у реальному часі. Інтеграція таких технологій у структуру автоматизованих систем управління АТ «Укрзалізниця» надасть змогу оперативно виявляти відхилення, прогнозувати ризикові ситуації та формувати запобіжні заходи.

З метою зниження ризиків у системі організації перевезень небезпечних вантажів доцільно реалізувати певні заходи: впровадження єдиної системи управління ризиками для всіх операторів; розробка цифрового паспорта небезпечного вантажу, що міститиме інформацію про його характеристики, умови перевезення та історію обробки; регулярне навчання персоналу за міжнародними стандартами ADR/RID; оновлення рухомого складу відповідно до вимог безпеки Європейського Союзу (ЄС); удосконалення нормативно-правової бази, зокрема узгодженість українських стандартів із Директивами ЄС щодо перевезень небезпечних вантажів.

[1] Запара В.М., Бауліна Г.С., Костенніков О.М., Столбовой В.В. Безпека руху при перевезенні залізничним транспортом України в контексті схоронності небезпечних вантажів. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доповідей 9-ої міжнародної науково-технічної

конференції (17-19 листопада 2021 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 38-40. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/11071> (дата звернення 15.10.2025).
[2] European Union Agency for Railways. Safety Overview 2025. Main figures based on CSI data (up to 2023). URL: <https://www.era.europa.eu/sites/default/files/2025-03/safety-overview-2025.pdf?t=1743429867> (дата звернення 18.10.2025).

УДК 656.225.073

РОЗВИТОК КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МІЖ УКРАЇНОЮ ТА КРАЇНАМИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

DEVELOPMENT OF CONTAINER TRANSPORTATION BETWEEN UKRAINE AND EUROPEAN UNION COUNTRIES

*канд. техн. наук Г.С. Бауліна, магістр К.В. Труш
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*H. Baulina, PhD (Tech.), K. Trush, master's degree
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Переорієнтація торговельних шляхів, зростання попиту на стійкі міждержавні ланцюги постачання та трансформації у транспортній галузі після 2022 року зробили актуальним питання швидкого розвитку контейнерних перевезень залізницею між Україною і країнами ЄС. Перевезення вантажів у контейнерах забезпечують уніфікований, безпечний і відносно економічний спосіб переміщення вантажів у мультимодальних ланцюгах; їх розвиток є необхідною умовою для відновлення та розширення українського експорту, зокрема аграрної та промислової продукції.

За останні роки Україна демонструє відновлення та поступове зростання контейнерних перевезень [1]. За 2023 рік АТ «Укрзалізниця» збільшила такі перевезення на 34% у порівнянні з 2022 роком – до 201,3 тис. ДФЕ, а у 2024 році вони продовжили зростати і досягли показника в 258,18 тис. ДФЕ [2]. Такий розвиток зумовлений, зокрема, переорієнтацією вантажопотоків на сушу після ускладнень у морських маршрутах та розвитком внутрішньої інфраструктури для контейнерного обслуговування.

Незважаючи на позитивну динаміку, інфраструктурні проблеми залишаються основним бар'єром для розвитку контейнерних перевезень. Так, недостатня кількість і пропускна здатність контейнерних терміналів, слабка підтримка залізничних під'їзних колій та дефіцит сучасного контейнерного парку уповільнюють зростання транскордонного руху. Різниця технічних стандартів та неоднорідні митні й прикордонні процедури збільшують час обігу контейнерів при здійсненні міжнародних перевезень. Відсутність єдиного цифрового простору для обміну операційними даними між українськими операторами та європейськими партнерами ускладнює оперативну координацію й призводить до часових затримок. Крім того, нерівномірність розподілу

вантажопотоків, неузгодженість графіків призводять до простоїв та втрати можливостей для оптимального формування відправлень.

Міжнародні аналітичні звіти фіксують зміни у схемах європейського комбінованого транспорту: увага до мультимодальних рішень, підвищення ролі сухих портів і коридорів TEN-T, а також посилення вимог до цифрової сумісності даних між операторами. Це створює як можливості (доступ до європейських логістичних мереж), так і проблеми (необхідність гармонізації технічних стандартів, процедур і нормативних вимог).

Один із ключових факторів для розвитку контейнерних перевезень – це модернізація залізничної інфраструктури. Для прискорення обігу контейнерів та зменшення навантаження на портові станції необхідним є розбудова і модернізація контейнерних терміналів, збільшення кількості під'їзних колій, розвиток сухих портів для перерозподілу навантаження на морські термінали [3]. До того ж, активна імплементація європейських стандартів у сфері залізничного руху й митного та фітосанітарного контролю (включно з використанням договорів про спрощення митних процедур і розширення принципу «єдиного вікна») дозволить скоротити час обробки вантажів на кордоні. Заохочення державно-приватного партнерства у проєктах модернізації терміналів, надання тимчасових тарифних пільг для розвитку нових маршрутів та інвестиційні стимули для оновлення контейнерного парку – усе це необхідно для прискореного зростання. Для практичного втілення запропонованих заходів необхідні скоординовані дії держави, інфраструктурних операторів і приватного сектора, а також підтримка від міжнародних фінансових інституцій і партнерів з ЄС.

Отже, посилення контейнерних залізничних перевезень між Україною і ЄС – багатовимірне завдання, що охоплює технічні, організаційні та політичні аспекти. Динаміка останніх років демонструє потенціал для відновлення й розвитку інтермодальних перевезень; водночас розв'язання «вузьких місць» вимагає цілеспрямованої координації між операторами, владою та міжнародними партнерами. Міжнародні ініціативи з розвитку коридорів і комбінованого транспорту створюють вікно можливостей для інтеграції українських транспортних ланцюгів в європейські мережі, але для цього потрібні синхронні дії в стандартах, цифровізації та інвестиціях.

[1] Бауліна Г.С., Керницький І.В. Формування оптимальної технології транспортного процесу перевезення вантажів у контейнерах. Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей 5-ої Міжнародної науково-технічної конференції, 25-27 листопада 2024 р. Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 149-151.

[2] «Укрзалізниця» в 2024 році збільшила контейнерні перевезення на 28% р./р. URL: <https://gmcenter.ua/news/ukrzhaliznitsya-v-2024-roci-zbilshila-kontejnerni-perevezennya-na-28-r/r/> (дата звернення: 25.10.2025).

[3] Бауліна Г.С. Формування логістичної технології “прикордонний сухий порт” в умовах прикордонної перевантажувальної станції. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2010. Вип. 3/6 (45). С. 60 – 63.

**РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ НА
КОНТРЕЙЛЕРНИХ ТЕРМІНАЛАХ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ МНОЖИН**

**DEVELOPMENT OF A TRAIN FORMATION PROCEDURE AT
CONTRAILER TERMINALS BASED ON SET THEORY**

Ph.D., Д.Ш. Бобоев

Ташкентський державний транспортний університет (м. Ташкент)

Ph.D, D.Sh. Boboev

Tashkent State Transport University (Tashkent)

The article presents proposals for developing a train formation procedure at container terminals based on set theory. Considering the irregularity and variability of transport flows, their value can be determined through statistical analysis and forecasting of cargo flow growth in recent years. In organizing transportation, elements of combinatorics, probability theory, random flow theory, and other mathematical methods are applied. To compose a container train based on set theory, it is necessary to determine the required number of transport vehicles.

Vehicles for assembling a container train can be in various directions and quantities, either interconnected or independent of each other. Due to the probability of an event differing by a number of parameters, it can be considered as a product of events based on set theory. The computational process is a random process that is represented by a non-decreasing, integer-valued computational function [1].

The phenomenon is complicated by the fact that during a flow event, different quantities of compositional units can arrive at the station simultaneously. To simplify the process of analyzing this phenomenon through the theory of random flows, it is recommended to consider it as a superposition of flows from various sets. From a theoretical standpoint, the most important characteristic of the flow is the average number of events per unit of time within a certain time interval, i.e., its intensity. In the case of a stationary flow, this intensity remains constant over time [2].

In analyzing the volume of train car flows in railway transport, elements of mathematical combinatorics and principles of set theory can be applied. These principles are used in the occurrence of events that are either interconnected or independent of each other. In this case, the vehicles assembled at the terminal are designated as event A , and the railway cars required for these vehicles are designated as event B . The conditions for the occurrence of events A and B are then examined [3].

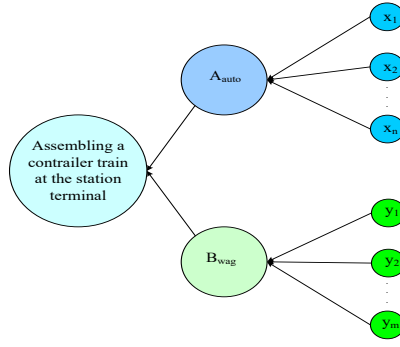


Figure 1. Sequential diagram for assembling a contrailer train

In this case: Event A consists of $x_1, x_2, \dots, x_n$ elements and event B consists of $y_1, y_2, \dots, y_m$ elements, denoted as $A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ and $B = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ respectively.

There may be a pre-assembled quantity a_0 of available vehicles at the contrailer terminal [4]. During the process of receiving a contrailer train at the terminal, we denote the quantity of incoming motor vehicles as $a_{q,q}$ and the quantity of outgoing motor vehicles in the departing train composition as a_j . Using these expressions, it is necessary to calculate the value of the difference Δa that arises between arrival and departure. To calculate the number of vehicles Δa in the contrailer terminal, the following expression can be introduced:

$$\Delta a = |a_{q,q} - a_j|, \quad (1)$$

If $\Delta a > 0$ occurs, an excess motor vehicle remains in the contrailer terminal, while in the case of $\Delta a < 0$, it is necessary to add motor vehicles from the contrailer terminal to the rolling stock. Considering that the process of receiving and dispatching a train is continuous, the general form of the accumulated motor vehicle increments at the terminal can be expressed as follows:

$$\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n = \sum_{i=1}^n \Delta a_i, \quad (2)$$

This expression can be transformed into the following form by taking into account that $\Delta a = a_{q,q} - a_j$ is derived from expression (2) in the case of $\Delta a > 0$:

$$\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n = (a_{q,q}^1 - a_j^1) + (a_{q,q}^2 - a_j^2) + \dots + (a_{q,q}^n - a_j^n) = (a_{q,q}^1 + a_{q,q}^2 + \dots + a_{q,q}^n) - (a_j^1 + a_j^2 + \dots + a_j^n) = \sum_{i=1}^n a_{q,q}^i - \sum_{i=1}^n a_j^i \quad (3)$$

Here, the increment $\sum_{i=1}^n \Delta a_i$ is expressed, which occurs after the process of receiving and dispatching vehicles has taken place multiple times. That is, from expression (3), the following form of expression is derived:

$$\sum_{i=1}^n \Delta a_i = \sum_{i=1}^n a_{q,q}^i - \sum_{i=1}^n a_j^i, \quad (4)$$

Taking into account the obtained expression (4), as well as the quantity a_0 of vehicles already accumulated at the terminal, and the minimum number of vehicles $\lambda_{\min}^{avto}$ required for the train composition, the following condition can be introduced for forming a new train:

$$a_0 + \sum_{i=1}^n \Delta a_i \geq \lambda_{\min}^{avto}, \quad (5)$$

After the formation of an avtotransport surplus in the amount of a_i satisfying this condition, it will be possible to form a container train at the terminal. In addition, considering that when creating a new train, along with motor vehicles, there should also be the required number of railway cars, the number of cars can be expressed as follows:

$$b_0 + \sum_{j=1}^m \Delta b_j \geq \lambda_{avto}, \quad (6)$$

where: b_0 – number of railcars available at the terminal;

$\sum_{j=1}^m \Delta b_j$ – the number of empty wagons during the loading and unloading process.

If the sum of the number of wagons in expression (6) is sufficient for the value intended for transporting motor vehicles, then it is possible to form a new train. Otherwise, b_x quantity of empty railway cars will have to be delivered to the terminal for transportation.

In this process, that is, in case $b_0 + \sum_{j=1}^m \Delta b_j \leq \lambda_{vag}$, the following equation is obtained by adding b_x to the expression:

$$b_0 + \sum_{j=1}^m \Delta b_j + b_x = \lambda_{vag}, \quad (7)$$

The expression for calculating the value of the quantity b_x using the substitution method from the given equation can be written in the following form:

$$b_x = \lambda_{vag} - (b_0 + \sum_{j=1}^m \Delta b_j), \quad (8)$$

Using the derived expression (8), the number of missing railway cars should be determined, and this quantity of empty cars should be brought to the terminal. By utilizing these expressions, the formation of a new container train through motor vehicles and railway cars assembled at the terminal prevents unnecessary waiting times.

The optimal value for a container train is considered to be when the total value of the assembled motor vehicles constitutes the maximum permissible amount of rolling stock for train formation, and there is a corresponding availability of railway cars matching this value. By using these methods to form a new container train with motor vehicles and railway cars assembled at the terminal, excessive waiting times are prevented.

- [1] Boschian V., Dotoli M., Pia Fanti M., Iacobellis Go, W. Ukovich W. A metamodeling approach for performance evaluation of intermodal transportation networks. *European Transport*. 2020. Vol. 46. P. 100-113.
- [2] Chang Zhu. A Novel two-stage heuristic for solving storage space allocation problems in rail–water intermodal container terminals. *Symmetry*. 2019. Vol. 11(10). 1229.
- [3] Ziyoda Adilova, Diyor Boboyev, Navruz Axtamov. Mathematical model of fastening conditions in container transportation taking into account various conditions. *Transport bulletin*: 2024/9/30, 98-103.
- [4] Boboev D.Sh., Mukhamedova Z.G. Development of international transportation on the basis of creating a system of container transportation // *Pedagog*. Vol. 5 №4. 2022, 10-23 p.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
РЕГІОНАЛЬНОЇ ФІЛІЇ В УМОВАХ НЕЗБЕРЕЖЕНОСТІ ВАНТАЖІВ**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE REGIONAL BRANCH IN
CONDITIONS OF NON-PRESERVATION CARGOES**

*канд. техн. наук Г.Є. Богомазова, канд. техн. наук Д.М. Чехунов,
магістрант В.А. Фесенко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*PhD (Tech.) H. Bohomazova, PhD (Tech.) D.M. Chekhunov,
graduate student V.A. Fesenko*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

У сучасних умовах діяльності залізничного транспорту України питання забезпечення збереженості вантажів набуває особливої актуальності. Незбереженість вантажів негативно впливає на фінансові результати роботи регіональних філій АТ «Укрзалізниця», рівень довіри клієнтів, а також на конкурентоспроможність залізничного транспорту серед інших видів перевезень.

Основними причинами незбереженості вантажів є технічна зношеність рухомого складу, недосконалість технології навантаження, кріплення та перевезення, людський фактор, недостатній рівень контролю на проміжних етапах транспортування, недосконалість нормативно-правової бази та системи матеріальної відповідальності [1].

Одним із ключових напрямів підвищення ефективності функціонування регіональної філії є формування комплексної системи управління ризиками, пов'язаними з незбереженістю вантажів. Така система має охоплювати як організаційно-технологічні, так і інформаційно-аналітичні аспекти перевізного процесу.

Ефективне управління діяльністю регіональних філій має стратегічне значення для розвитку всієї транспортної системи. Усунення проблеми незбереженості вантажів дасть змогу не лише скоротити витрати, а й підвищити загальну результативність функціонування транспортної інфраструктури. Комплексне вирішення цього питання сприятиме сталому розвитку галузі, удосконаленню логістичних процесів та підвищенню рівня задоволеності клієнтів.

Для підвищення ефективності функціонування регіональної філії в умовах незбереженості вантажів доцільно впроваджувати системи моніторингу перевезень із використанням цифрових технологій, підвищення рівня відповідальності персоналу через систему мотивації, навчання та періодичної атестації, застосування методів управління ризиками для прогнозування й

мінімізації можливих втрат (ідентифікація, оцінка та ранжування ризиків), оптимізація логістичних процесів з метою скорочення часу перевезення та кількості операційних етапів, де можливі втрати вантажу, розвиток взаємодії з клієнтами для забезпечення прозорості перевізного процесу та підвищення рівня довіри до залізничного транспорту [2].

У роботі розглянуто підходи до підвищення ефективності функціонування регіональної філії, що забезпечують інженеру відділу аналітики комерційної діяльності можливість своєчасно виявляти та запобігати випадкам незбереженого перевезення вантажів, а також мінімізувати ризик їх виникнення. Для оперативного реагування, систематизації та аналізу матеріалів перевірок і ревізій, а також для швидкого виявлення потенційних загроз незбереженості перевезень запропоновано впровадження автоматизованого робочого місця інженера відділу аналітики комерційної діяльності, що дозволить усунути потребу в ручній обробці звітної документації, значно прискорить процес аналізу та контролю, а також підвищить ефективність управління комерційною діяльністю регіональної філії.

Упровадження зазначених заходів дозволить знизити рівень незбереженості вантажів, підвищити якість транспортних послуг і, відповідно, ефективність діяльності регіональної філії.

[1] Про Програму заходів щодо забезпечення збереження вантажів, захисту їх від розкрадань і безпеки пасажирів на транспорті: Постанова Кабінету міністрів України від 5 січня 1995 р. N 7. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/7-95-%D0%BF#Text>.

[2] Богомазова Г. Є., Яковлева Н.Л., Шевченко Н.М. Покращення взаємодії пункту концентрації обробки перевізних документів із закріпленими вантажними станціями. Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей 5-ї міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 25-27 листопада 2024 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 152 – 154.

УДК:656.1.078

КЛЮЧОВИЙ ОГЛЯД СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

KEY OVERVIEW OF THE VANTAGE DELIVERY MONITORING SYSTEM

канд. екон. наук, доцент Н.В. Гриценко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

N.V. Hrytsenko PhD (Ekon.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

У сфері вантажних перевезень відправник несе відповідальність не лише за транспортування товарів з одного місця до іншого, але й за збереження їхніх якісних характеристик. Даний факт вимагає дотримання специфічних умов, таких як температура, вологість та освітлення, протягом усього процесу

транспортування. Відомо, що саме інтелектуальні системи моніторингу та відстеження вантажів забезпечують цілодобовий контроль за цими та багатьма іншими параметрами, що дозволяє логістичним менеджерам отримувати актуальну інформацію в режимі реального часу. Такі технологічні рішення застосовуються для всіх видів транспортування, включаючи автомобільний, залізничний, морський та авіаційний, а їхня надійна робота забезпечується системою глобального позиціонування (GPS). Додатки для моніторингу вантажних перевезень можуть бути розроблені для різних операційних систем і платформ, що передбачає використання різноманітних технологій, зокрема мобільних та веб-додатків.

У процесі проведеного теоретично-інформаційного аналізу, було згруповано схематична модель програмного забезпечення відстеження вантажів (рис. 1) [2]. На відміну від вже існуючої схеми, дана згрупована модель відображає основну логіку роботи програмного моніторингу доставки вантажів та включає основні шість елементів, які потім поділяються на конкретні маленькі задачі. Кожну задачу виконує спеціалізована команда, яка має чіткий план дій та певний обмежений час для його виконання, тому вантажовідправник завжди знає, яка робота виконується на даний момент і коли вона буде завершена. Треба відзначити, що для того, щоб гарантувати, що програмне забезпечення точно відповідає планам та очікуванням замовника, після завершення кожної задачі здійснюється комунікація з замовником, а результати презентуються. Під час розробки таких складних систем може бути значна кількість задач [1].



Рис. 1 - Модель програмного забезпечення моніторингу доставки вантажів (Згруповано на підставі [2,4]).

Незважаючи на найретельніше тестування, помилки можуть виникати і після впровадження продукту. Виправлення таких проблем здійснюється в рамках

технічної підтримки, де розробники проводять ретельне дослідження помилки, визначають її основну причину та оперативно впроваджують рішення.

Отже, процес розробки програмного забезпечення не повинен обмежуватися виправленням помилок, він повинен охоплювати вдосконалення та створення нових функціональних можливостей. Наприклад, це може бути необхідно, коли відбувається розширення бізнесу клієнта. У таких випадках цикл розробки запускається заново. Спочатку вивчаються нові вимоги, і за необхідності створюється прототип. Потім вносяться корективи в макети дизайну, і, нарешті, розробляється сама функціональність. Після цього зміни піддаються ретельному тестуванню на операційному сервері, після чого вони інтегруються в існуючу систему шляхом впровадження нового або оновленого програмного забезпечення.

[1] Гриценко Н.В. Технологія блокчейн, як інструмент удосконалення системи транспортної логістики: 5-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології», Харків, (25–27 листопада 2024 р.): УкрДУЗТ, 2024. С. 160-162.

[2] Gritsuk, I. Khudiakov, Y. Ukrainnyi, V. Volkov, M. Volodarets, V. Chernenko, T. Ukrainka, «Features of the subject area of the information model of the system of remote monitoring of the technical condition and modes of operation of the truck», German International Journal of Modern Science Edition, № 9, 2021.

УДК 355.69:656.2

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ В ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД

ORGANIZATION OF TRANSPORTATION AND TRANSPORTATION OF MILITARY UNITS BY RAIL IN A SPECIAL PERIOD

В.В. Гудімов, старший викладач

Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

V.V. Gudimov, senior lecturer

Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro)

Продовження російською федерацією повномасштабної збройної агресії проти України, нарощування агресором угруповань військ (сил) з метою ескалації воєнних дій, відновлення повномасштабного наступу збройних сил агресора з різних напрямків зумовлює необхідність утримання визначених угруповань військ (сил) Збройних Сил України на цих напрямках, які, в свою чергу, потребують регулярного постачання залізничним транспортом значних обсягів небезпечних вантажів, в тому числі боеприпасів.

Схема організації військових перевезень



В особливий період перевезення військових частин залізничним транспортом є одним із основних способів стратегічного і тактичного переміщення військ, озброєння, техніки, матеріальних засобів, а також евакуації поранених, техніки та запасів.

Організація таких перевезень здійснюється відповідно до мобілізаційних планів, вказівок Генерального штабу Збройних Сил України та Міністерства інфраструктури України.

Завдання органів військового управління

Органи військового управління зобов'язані:

- планувати залізничні перевезення заздалегідь, у взаємодії з залізничними адміністраціями;
- визначати обсяги і терміни перевезень;
- забезпечувати охорону, супровід і безпеку військових ешелонів;
- здійснювати контроль за технічним станом вагонів і платформ, призначених для перевезення озброєння та військової техніки.

Підготовка до перевезення

Перед відправленням військової частини:

- проводиться завантаження військової техніки, озброєння та матеріальних засобів на станціях навантаження;
- складається план навантаження (план-схема ешелону);
- призначається начальник ешелону, начальник варті, черговий по ешелону;
- здійснюється перевірка кріплення техніки, наявності пожежних засобів, засобів сигналізації, зв'язку та охорони.

Формування військового ешелону

Військовий ешелон формується за принципом:

- головна частина – командно-штабні вагони, засоби зв'язку;
- основна частина – вагони з особовим складом, бойовою технікою, озброєнням;
- тилова частина – вагони з продовольством, паливом, медичним майном, ремонтними засобами;

- охоронна група – розміщується на початку та в кінці складу, має зброю, засоби спостереження, зв'язку і сигналізації.

Організація руху та супроводу

- Рух військових ешелонів здійснюється за спеціальними графіками в умовах підвищеної таємності.
- На кожен ешелон призначається начальник ешелону, який відповідає за дотримання порядку, дисципліни, заходів безпеки, а також за охорону військових вантажів.
- Для підтримання зв'язку використовуються засоби радіозв'язку, польові телефони, сигнальні засоби.

Охорона і оборона ешелону

Під час руху:

- організовується зовнішня і внутрішня охорона ешелону;
- чергові патрулі стежать за станом платформ і кріпленням техніки;
- на стоянках виставляється варта, визначаються сектори оборони;
- у разі загрози нападу або диверсії ешелон займає оборону за планом начальника ешелону.

Безпека руху

Для забезпечення безпеки:

- забороняється перевезення людей разом із паливом та вибуховими матеріалами;
- здійснюється технічний огляд вагонів перед відправленням;
- проводиться інструктаж особового складу з питань пожежної безпеки, евакуації, дій у разі аварії чи нападу.

Взаємодія з цивільними органами

Усі перевезення здійснюються у тісній взаємодії з:

- керівництвом залізниць (регіональні управління «Укрзалізниця»);
- місцевими органами влади;
- військовими комендатурами залізничних ділянок та станцій;
- службами охорони, пожежної безпеки та медичного забезпечення.

Завершення перевезення

Після прибуття ешелону:

- проводиться розвантаження техніки і матеріальних засобів за встановленими нормами часу;
- здійснюється перевірка цілісності вантажів;
- складається акт прибуття і приймання військового ешелону;
- ешелон передається залізниці під технічний огляд.

Перевезення військових підрозділів на великі відстані залізничним транспортом дозволяє у порівнянні з маршем зберегти сили особового складу, запобігти виходу зі строю озброєння і бойової техніки, економити моторесурси. Залізничний транспорт, крім того забезпечує відносно високу швидкість пересування підрозділів незалежно від кліматичних умов, стану погоди, часу доби, пори року. Щоб військові підрозділи своєчасно і в повній бойовій готовності прибули в призначений район, необхідні ретельна підготовка до

перевезення озброєння, техніки і особового складу, чітка організація і всебічне забезпечення перевезення, прихованість її здійснення, висока пильність і дисциплінованість особового складу.

Висновок. Організація перевезень військових частин залізничним транспортом в особливий період потребує високого рівня планування, координації дій, дотримання заходів безпеки та взаємодії між військовими й цивільними структурами. Від злагодженості цих дій залежить успішність розгортання військ і виконання завдань оборони держави.

[1] Закон України «Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період» (із змінами і доповненнями)

[2] Про затвердження Порядку організації діяльності залізничного транспорту під час здійснення військових залізничних перевезень : постанова Кабінету міністрів України від 4 листопада 2015 р. № 891. Офіційний вісник України. 2015. №90. С. 49.

[3] Наказ Міністра оборони України №595 «Про положення з військових перевезень залізничним, морським, річковим та повітряним транспортом»

[4] Наказ Міністра оборони України № 210 від 07.05.2019 р «Про затвердження Положення з охорони та супроводу військових вантажів на залізничному та водному транспорті»

УДК 65.11

ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE RELIABILITY OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS OF ROAD FREIGHT TRANSPORTATION

Докт. техн. наук Ю.О. Давідич¹, В.О. Дорошук²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова (м. Харків)

²Національний університет водного господарства та природокористування (м. Ровно)

Doc. Tech. Sciences Y.O. DAVIDICH¹, V.O. DOROSHCHUK²

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy (Kharkiv)

²National University of Water Management and Environmental Management (Pivne)

Сучасні умови виробництва висувають високі вимоги до координації процесів транспортування, навантаження-розвантаження і зберігання вантажів. Відмінною рисою складних транспортно-логістичних систем є високий ступінь невизначеності, що викликана численними випадковими факторами. Одним із шляхів підвищення надійності таких систем є організаційний підхід, що регламентує послідовності виконання окремих операцій транспортних і логістичних процесів. Циклічність процесу транспортування можна розділити на два основних елементи: переміщення між пунктами навантаження і

розвантаження; простій при навантажувально-розвантажувальних роботах [1]. Рациональна організація транспортного процесу неможлива без вирішення проблеми комплексної оцінки складності роботи водія [2]. При цьому вирішення таких завдань дослідники звели до завдання визначення показників психофізіологічної складності і фізичної тяжкості тільки тоді, коли автомобіль їде по маршруту. Такий метод оцінки складності роботи водія не врахує другого елемента технологічного процесу - простоїв при навантажувально-розвантажувальних роботах.

Відсутність навантажувально-розвантажувальних механізмів може призвести до того, що навантаження та розвантаження може виконувати водій. Тому розглядати і аналізувати складність роботи водія тільки при здійсненні перевезення вантажів не можна. Трудовитрати на виконання елементів технічного процесу впливають на функціональний стан водія. Для оцінки стану людини було запропоновано загальний критерій – показник активності регуляторної системи. Значення цього показника визначається шляхом обробки електрокардіограми людини. Фактори, що впливають на стан водія при вантажно-розвантажувальних роботах, можна розділити на дві основні категорії. Це сукупність факторів, які безпосередньо характеризують водія і сукупність факторів, що характеризують параметри організації навантажувально-розвантажувальних робіт. На першому етапі дослідження було розглянуто процес навантажувально-розвантажувальних робіт, що передбачає безпосередню участь водія. Для аналізу зміни функціонального стану водіїв було проведено натурні обстеження. При цьому фіксувалися параметри робіт та стан водія шляхом виміру електрокардіограми. Після обробки отриманих даних за допомогою стандартних статистичних методів було визначено що зміна показника активності регуляторних систем водія після виконання навантаження та розвантаження з достатньою точністю описуються рівнянням лінійної регресії, в якій в якості змінних використовуються параметри процесу навантаження-розвантаження, показник активності регуляторних систем водія перед початком проведення навантажувально-розвантажувальних робіт та його вік. Аналіз отриманої моделі приводить до наступних висновків. Величина показника активності регуляторних систем водія перед виконанням навантажувально-розвантажувальних операцій надає найбільш істотний вплив з усіх незалежних змінних на зміну величини показника активності регуляторних систем водія після навантаження і розвантаження та призводить до його збільшення. Це має сенс, адже чим більше фізична і психологічна напруга у водія перед процесом навантаження або розвантаження, тим більше вона після реалізації цього елемента технологічного процесу. Вік водія збільшує величину показника активності регуляторних систем та визначає тривалість фаз функціонального стану водія. Час навантаження і розвантаження збільшує значення залежної змінної. Він характеризує трудовитрати на реалізацію цього елемента технологічного процесу. Час, витрачений на оформлення документів, зменшує значення показника активності регуляторних систем. Розроблена модель дозволяє визначати зміни в діяльності системи регулювання водія після

виконання водієм операцій по навантаженню та розвантаженню. Отриману модель доцільно використовувати для оцінки впливу параметрів завантаження та розвантаження на стан водія при розробці планів перевезення вантажів у транспортно-логістичних системах.

[1] Davidich, N., Galkin, A., Iwan, S., Kijewska, K., Chumachenko, I., Davidich, Y. Monitoring of urban freight flows distribution considering the human factor //Sustainable Cities and Society. – 2021. – Т. 75. – С. 103168.

[2] Davidich N. Advanced Traveller Information Systems to Optimizing Freight Driver Route Selection / N. Davidich, I. Chumachenko, Y. Davidich, T. Hanieva, N. Artsybasheva and Melenchuk T. // 2020 13th International Conference on Developments in Systems Engineering (DeSE), 2020, pp. 111-115.

УДК 629.04.083

ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОВИХ ЗАЛІЗНИЦЕЮ УКРАЇНИ В ПЕРІОД СКРУТНОГО СТАНУ ПЕРЕВІЗНИКА

FEATURES OF GRAIN TRANSPORTATION BY UKRAINIAN RAILWAY DURING THE PERIOD OF CARRIER CRISIS

канд. техн. наук В.М. Запара

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

V. Zapara, PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Транспортування зернових вантажів для АТ «Укрзалізниця» залишається одним із пріоритетних напрямків роботи (особливо за військового стану) [1]. Українські аграрії у сезоні-2025 отримають близько 56 млн т валового врожаю зернових культур і 21 млн т олійних культур. В умовах постійної зміни факторів впливу та глобального перерозподілу торговельних потоків Україна може утримати, наприклад, лідерство в світовій торгівлі соняшниковою олією (з часткою 40%) та соняшниковим шротом (з часткою 45%), має непоганий потенціал до збільшення частки торгівлі на світовому ринку соєю та соєвим шротом. У сезоні-2025 кінцева прогнозована цифра валового врожаю зернових відповідає минулорічному сезону. Наразі на сільгосппродукцію сприятливі закупівельні ціни.

Обсяг вантажних перевезень усіма видами транспорту України за 7 місяців 2025 року знизився на 12,6% порівняно з аналогічним періодом минулого року – до 181,2 млн т. Лідером за обсягом перевезення вантажів залишається залізничний транспорт – 92,5 млн т, що на 11% менше за показник 7 місяців 2024 року.

Що ж до транспортування зернових вантажів залізничним транспортом, то показники суттєво погіршились: за 8 місяців 2025 року залізницею перевезено 18 797,5 тис. т зернових, що практично на 30% менше, ніж за відповідний період 2024 року. Однак з серпня 2025 року обсяг зернових почав зростати і за місяць

склав 2 814 тис. т (порівняно з липнем зріс в 2,3 рази, а до відповідного періоду 2024 року – на 6%. При цьому експортовано зернових у серпні 2025 року 2 553 тис. т, що в 1,7 рази більше, ніж у липні, проте на 3% менше, ніж у серпні 2024 року. Відмітимо, що 94% в експортному сполученні перевезено в напрямку портів, і лише 6% до західних прикордонних переходів.

Залізнична логістика України наразі має порівняно низький тариф на перевезення 1 т зерна до портів (на рівні 17 дол. США/т, що є доволі позитивним моментом для аграріїв), але перевізнику (тобто АТ «Укрзалізниця») така ціна не дозволяє компанії розвиватися і бути ефективною. В такій ситуації залізниця вкотре буде наполягати на індексації тарифів. Якщо держава погодиться (рівень тарифів не змінювався з середини 2022 року), то тариф може зрости на 37...40%. Отже для агросектору це підвищення може сягнути 4...5 дол. США/т зерна, що буде співставним з 2024 роком, коли залізнична логістика оцінювалась в 22 дол. США/т зернових. Таким чином, минулорічний рівень логістики буде підйомним для аграріїв, а АТ «Укрзалізниця» дав би змогу функціонувати стабільніше в складних умовах широкомасштабної агресії. Крім того слід враховувати, що наразі вартість перевалки зерна в 2025 році знизилась до 7 дол. США/т за минулорічної 10...12 дол. США/т і це є відчутною економією для агросектору. Отже, якщо такий підхід реалізується (з підвищенням тарифу залізниці до 40%), то така індексація в цілому не матиме негативного впливу на агровиробників.

Залишається непростю взаємодія структур АТ «Укрзалізниця» і аграріїв щодо використання клієнтами вагонів-зерновозів перевізника, наявний парк якого може забезпечувати приблизно 7 тис. вагоновідправок у зерновозах на місяць. На жовтень 2025 року робочий парк зерновозів АТ «Укрзалізниця» становив 3 350 одиниць, і на цей період (жовтень 2025 року) середньодобовий обсяг навантаження у вагони-зерновози перевізника складав приблизно 200-250 вагонів (фактичний обіг вагонів АТ «Укрзалізниця» сягає 14,66 доби, що забезпечує два рейси на місяць). Усі можливі вантажовідправки у зерновозах перевізника у жовтні 2025 року вже реалізовані на ЕТС «Прозорро.Продажі» або зарезервовані під підписані довгострокові договори. Однак протягом року (наприклад, з червня 2024 року по червень 2025 року) частка використання вагонів-зерновозів належності АТ «Укрзалізниця» коливалась в межах 1...4%, а 96...99% зернових вантажів перевозилось приватним парком (якого наразі майже 20 тис. одиниць). АТ «Укрзалізниця» постійно закликає аграріїв до довгострокової співпраці через довгострокові договори, адже вагони-зерновози парку перевізника не повинні простоювати більшу частину року, а потім через ажіотажний попит мати «захмарну» вартість використання (наприклад, на аукціонах 11 листопада 2025 року ставки на зерновози сягнули 5 700 грн за добу [2]).

Якщо ж рівень вантажних тарифів залишатиметься без змін, то з урахуванням обсягів перевезення операційний прибуток від вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця» за 2025 рік очікується в розмірі лише 3,2 млрд грн, а в 2026 році вони вийдуть в операційний збиток 0,6 млрд грн (в 2024 році було зафіксовано прибуток 20,4 млрд грн).

- [1] Запара В.М., Запара Я.В., Боровець Р.І. Можливості покращення логістики агросектора залізницею України. *Тези 5-ої міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні транспортні технології»*: (Харків, 25-27 листопада 2024 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ. С. 174-176.
- [2] Під час аукціонів ЦТЛ 11 листопада ставки на зерновози сягнули 5700 грн за добу. - URL: <https://www.railinsider.com.ua/pid-chas-aukczioniv-cztl-11-lystopada-stavky-na-zernovozy-syagnuly-5700-grn-za-dobu/> (дата звернення: 13.11.2025).

УДК 656.23

СУЧАСНІ РЕАЛІЇ ТАРИФОУТВОРЕННЯ НА ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАЛІЗНИЦЕЮ НА ТРАНСПОРТНОМУ РИНКУ УКРАЇНИ

MODERN REALITIES OF TARIFF SETTING FOR RAILWAY FREIGHT TRANSPORTATION IN THE TRANSPORT MARKET OF UKRAINE

*канд. техн. наук В.М. Запара, канд. техн. наук Д.М. Чехунов, І.І.Процик
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*V. Zapara, PhD (Tech.), D. Chehunov, PhD (Tech.), I. Protsyk
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Наразі АТ «Укрзалізниця» в умовах широкомасштабної агресії залишається базовим видом транспорту в Україні, виконуючи 68% вантажообігу і близько 30% пасажирських перевезень. Вона має важливе значення в експорті країни, військових перевезеннях та транспортуванні гуманітарної допомоги. Але фінансовий стан компанії за останні два роки суттєво погіршився, і це є загрозою для стійкості всієї системи перевезень України.

На сьогодні компанія має великий валютний борг (приблизно 60,6 млрд грн, - 15% всіх її активів). Для обслуговування цього боргу в 2026 році АТ «Укрзалізниця» повинна виплатити 31,4 млрд грн за єврооблігаціями і 2 млрд грн купонних платежів. Очікується падіння обсягів вантажних перевезень до 160 млн т у 2025 році проти 173 млн т у 2024 році. В порівнянні з 2021 роком (306 млн т) зниження складе 49%. На цьому фоні зростають витрати компанії з 107,2 млрд грн у 2024 році до 110 млрд грн в 2025, а в 2027 році прогнозується понад 129 млрд грн. Причинами зростання витрат є інфляція оплати праці та вартості енергоносіїв (дають до 80% витрат).

Наразі проблемою є відсутність індексації тарифів з літа 2022 року. Пропозиції АТ «Укрзалізниця» щодо змін регульованих тарифів на вантажні перевезення на 37% в грудні 2024 року не отримали підтримки держави.

Слід підкреслити, що АТ «Укрзалізниця» активно працює для виходу з кризи по декількох пріоритетних напрямках.

Для реструктуризації валютного боргу залучається міжнародний юридичний радник з метою уникнення можливого дефолту компанії.

Активізується робота з надлишковими (неприбутковими, непрофільними) активами.

Проводиться оптимізація витрат. За 2025 рік буде досягнуто економії 6 млрд грн за рахунок:

- скорочення персоналу та фонду оплати праці (дуже болючий аспект в соціальному плані). Персонал АТ «Укрзалізниця» з 216 тис осіб у 2022 році скоротився до 183,6 тис в 2024 році, прогнозується 177,8 тис осіб у 2026 році;

- оптимізація закупівель;

- обмеження поточних ремонтів і технічного обслуговування (а що буде з безпекою руху в перспективі?);

- заходи з енергоефективності.

Крім того АТ «Укрзалізниця» в черговий раз звернулась до державних органів України з проханням щодо збалансування фінансової моделі компанії, а саме фінансування збиткових пасажирських перевезень через річні субвенції (21 млрд грн на 2026 рік).

Продовжується робота щодо підвищення рівня тарифів на вантажні перевезення. Компанія вчергове планує індексацію на 27% у 2025 році, а також ще на 11% з 01.01.2026 року (сумарно понад 40%). Водночас важливо розуміти, що вантажний сегмент АТ «Укрзалізниця» залишається поки що прибутковим (2024 рік – 20 млрд грн), а хронічно збитковим є пасажирський сегмент, збитки якого десятиріччями перекривались прибутками від вантажних перевезень (перехресне субсидування, крос-субсидування).

Вважаємо, що таке покриття збитків пасажирського сектора за рахунок підвищення тарифів у вантажному секторі є стратегічно помилковим рішенням, яке призводить до скорочення вантажної бази залізниці; втрати конкурентоспроможності залізничної галузі. Під час воєнного стану збитки від пасажирського сектору залізниці повинні покриватись державою напряду, тобто за рахунок бюджетних коштів [1].

За прогнозами у 2025 році АТ «Укрзалізниця» отримає близько 22 млрд збитку, з реалізацією програми «УЗ-3000» збитки можуть зрости вдвічі [2]. Реальна програма підтримки компанії повинна включати: монетизацію пільг на проїзд; створення реєстру транспортних пільговиків; оновлення рухомого складу; модернізацію інфраструктури. Необхідно закласти в держбюджет 2026 року не менше 20-30 млрд грн за компенсацію збитків від пасажирського сектору за моделлю, що діє в ЄС – через прозорі контракти та фінансування послуг загального інтересу.

[1] Заява Федерації роботодавців транспорту України щодо планів АТ «Укрзалізниця» підвищити вантажні тарифи у 2025–2026 роках. - URL: <https://frt.ukr.org/zayava-federacziyi-robotodavcziv-transportu-ukrayiny-shhodo-planiv-at-ukrزالiznyczya-pidvyshhyty-vantazhni-taryfy-u-2025-2026-rokah/> (дата звернення: 04.11.2025).

[2] Клименко: програма «УЗ-3000» може вдвічі збільшити збитки Укрзалізниці. - URL: <https://www.railinsider.com.ua/klymenko-uz-3000-zbytky-40-mlrd-ukrزالiznytsia/> (дата звернення: 04.11.2025).

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСНИХ ВАГОНІВ ПЕРЕВІЗНИКА В УКРАЇНІ ЗА ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

STATUS AND PROSPECTS OF THE USE OF THE CARRIER'S OWN WAGONS IN UKRAINE DURING MARTIAL LAW

канд. техн. наук В.М. Запара, канд. техн. наук Я.В. Запара, А.В. Середін
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

V. Zapara, PhD (Tech.), Y. Zapara, PhD (Tech.), A. Seredin
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Експлуатація залізничних вагонів і ринок їх оренди наразі переживає напевно найбільшу кризу з початку широкомасштабного вторгнення. Основна причина такої ситуації – профіцит рухомого складу, тобто коли пропозиція суттєво перевищує попит. Як результат – ставки оренди впали до рівня, який не покриває навіть основних витрат на утримання вагонів. Для прикладу, в деякі періоди 2025 року оренда вагонів-зерновозів і піввагонів не перевищувала 150 і 300 грн на добу відповідно.

В останньому кварталі 2025 року ситуація в деякій мірі стабілізувалася, але дохідність вагону залишається на досить низькому рівні. За таких чинних ставок більшість вагоновласників змушені економити на відповідних ремонтах, в деяких випадках доходять до відмови від вантажного бізнесу. Однак треба розуміти, що профіцит вагонів – це не лише труднощі окремих компаній, а й відповідний ризик для всієї економіки України.

Розглянемо більш детально ситуацію у філії «Центр транспортної логістики» АТ «Укрзалізниця» (ЦТЛ), в робочому парку якої перебуває, наприклад, 3,3 тис вагонів-зерновозів. Як наразі використовується вантажовідправниками цей парк зерновозів протягом року? З червня 2024 року по червень 2025 року частка використання зерновозів робочого парку приналежності ЦТЛ коливалась від 1 до 4%. Отже від 96 до 99% зерна перевозилось парком зерновозів інших власників, який складає майже 20 тис вагонів.

Для збільшення частки охоплення ринку перевезень ЦТЛ було запропоновано для використання своїх зерновозів по низькій ціні (300...500 грн на добу) підписати довгострокові договори, але зголосилися лише дві компанії.

Ведеться постійна робота через ЕТС «Прозорро.Продажі», де з червня 2025 року ЦТЛ пропонував придбати на відкритих аукціонах відправки у зерновозах на вересень-грудень 2025 року за ціною 150...600 грн на добу. Викуплено від виставленого лише від 23,3% до 42,8% відправок на відкритих торгах.

Аналізуючи ситуацію приходимо до висновку, що підвищення вартості на вагони-зерновози ЦТЛ в кінці року – тимчасове явище, яке спостерігається щорічно. Вбачається, що така ситуація немає фундаментальних причин, адже загального парку зерновозів достатньо в цілому для забезпечення перевезень

(залізниця наразі щодоби приймає до перевезення 1500 – 1700 вагонів із зерном). Звичайно мають місце тимчасові складнощі у підведенні вантажів до портів, але вони глобально не впливають на стан загальних перевезень.

Для уникнення щорічних суттєвих коливань ставок плати на вагон-зерновоз парку ЦТЛ вантажовласникам слід віддавати перевагу підписанням довгострокових договорів як з філією ЦТЛ, так і з приватними власниками вагонів. (Довідково: на останніх торгах у жовтні 2025 року фінальні ставки коливались від 2312 до 2401 грн за вагон-зерновоз без ПДВ [1]). Зауважимо, що довгострокова співпраця дозволяє:

- на тривалий період зафіксувати у відповідних договорах обсяги та вартість надання вагонів ЦТЛ;

- уникнути різких коливань ставок під час пікового сезону;

- забезпечити прогнозованість для обох сторін [2].

Звичайно АТ «Укрзалізниця» зацікавлена у реалізації всього наявного парку зерновозів і, відповідно, в отриманні стабільного доходу від їх використання протягом всього року, а не лише в період тимчасового сплеску у жовтні-листопаді.

За останніми оцінками утримання вагона-зерновоза складає не менше 445 грн/добу без ПДВ, піввагона 580 – 720 грн/добу без ПДВ, тобто такі ставки плати за використання цих вагонів дозволяють лише «вийти в нуль», а саме експлуатувати їх беззбитково. Коли ж говорити про економічно обґрунтовану ставку оренди, то на сьогодні для вагона-зерновоза це 1200...1400 грн за добу.

Окреслимо шляхи подолання кризи на ринку вантажних вагонів:

- стабілізація ринку беззаперечно залежить від закінчення війни;

- визначення оптимального розміру вагонного парку;

- запровадження мінімальної ставки на вантажний вагон;

- підвищення прогнозованості строків доставки вантажів;

- кероване списання надлишку парку.

Наразі подібні підходи вже реалізуються в деяких країнах (Казахстан, Польща).

[1] Під час розіграшу відправок у зерновозах ЦТЛ ставки перевищили 2 тис. грн. - URL: <https://www.railinsider.com.ua/pid-chas-rozigrashu-vidpravok-u-zernovozah-cztl-stavky-perevyshhyly-2-tys-grn/> (дата звернення: 05.11.2025).

[2] Валерій Ткачов: Укрзалізниця закликає до довгострокової співпраці — зерновози ЦТЛ не повинні простоювати більшу частину року. - URL: <https://www.railinsider.com.ua/ukrzeliznytsia-zernovozy-cttl-tstl-rik/> (дата звернення: 05.11.2025).

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗБЕРЕЖЕНОСТІ ВАНТАЖІВ ПРИ
ПЕРЕВЕЗЕННІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**IMPROVING THE LEVEL OF CARGO SAFETY DURING
TRANSPORTATION THROUGH THE APPLICATION OF MODERN
INTELLECTUAL TECHNOLOGIES**

*Канд. техн. наук А.О. Ковальов, О.В. Ковальова, аспірант О.Ю.
Давиденко*

*Український державний університет залізничного транспорту (м.
Харків)*

*A. Kovalov, O. Kovalova PhD (Tech.), O. Davydenko postgraduate
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Використання математичних і статистичних підходів може забезпечити бездоганну роботу залізничного транспорту в цілому та окремих вантажних перевезень, а також дозволить ефективно розв'язати поставлені завдання щодо нестачі порожніх вантажних транспортних засобів (вантажних вагонів). За таких підходів можливо провести необхідні дослідження стосовно необхідної придатності вантажних транспортних засобів до перевезення певних видів вантажів із забезпеченням їх збереження.

В роботі запропоновано методи, які дозволять надати оцінку вантажним транспортним засобам, найголовнішим параметром та показником якої буде виступати рівень або категорія придатності цих засобів в комерційному, а можливо і в технічному відношенні до транспортування вантажів, що буде відповідати вимогам клієнтів залізничного транспорту.

Така оцінка потрібна при проведенні перерозподілу вантажних транспортних засобів. Для забезпечення проведення розрахунків необхідна інформація про реальні умови експлуатації таких засобів. Такі умови експлуатації можуть виступати базою для визначення придатності вантажних транспортних засобів в різних відношеннях, при цьому особливий вплив має інтенсивність експлуатації вагонів та їх технічний стан. Тому для отримання достовірного результату розрахунків необхідно мати перевірену інформацію з офіційних джерел щодо умов та тривалості роботи вантажних транспортних засобів.

Разом з цим великий вплив на організацію роботи диспетчерського персоналу по розподілу наявних порожніх вантажних ресурсів має доволі низький рівень інтеграції в операційні процеси управління залізничним рухом сучасних інтелектуальних технологій.

Залізничний транспорт, що є однією з ключових артерій світової економіки,

перебуває на порозі фундаментальної трансформації. Глобалізація, зростання обсягів перевезень та підвищення вимог до екологічності створюють безпрецедентні виклики, пов'язані з необхідністю підвищення пропускну здатності, оптимізації енергоспоживання та забезпечення найвищого рівня безпеки руху. Традиційні методи управління, що десятиліттями спиралися на статичне планування та ручне втручання диспетчерського персоналу, поступово досягають межі своєї ефективності. Складання розкладів руху, що прагнуть до максимального використання інфраструктури, часто виявляються нестійкими до найменших відхилень, що призводить до каскадних затримок та зниження загальної продуктивності мережі [1].

Основна наукова проблема, що розглядається в даній роботі, полягає в існуванні значного розриву між потенціалом сучасних інтелектуальних технологій, таких як штучний інтелект (ШІ), Інтернет речей (IoT) та аналітика великих даних (Big Data), та їхнім поточним рівнем інтеграції в операційні процеси управління залізничним рухом [2]. Особливої гостроти ця проблема набуває в контексті роботи диспетчерського апарату, а також через величезні обсяги документації, що регулюють усі аспекти діяльності залізничних підрозділів та ускладнюють оперативний доступ до актуальної інформації. Диспетчери змушені приймати критично важливі рішення в умовах динамічного середовища, обмеженого часу та інформаційного перевантаження, що підвищує ризик людської помилки [3].

Комплексність взаємозалежних систем, відсутність єдиного інформаційного простору та необхідність одночасної оптимізації операцій та обслуговування створюють середовище, де людські когнітивні можливості досягають своєї межі. Тому використання перевіреної інформації з офіційних джерел щодо умов та тривалості роботи вантажних вагонів та впровадження сучасних інтелектуальних технологій в перевізний процес суттєво підвищать рівень збереженості вантажів, сприятимуть пришвидшенню їх доставки одержувачам та забезпечать вчасне виконання планів перевезення.

[1] Hedayati, M. Optimization models for robust train timetabling. Doctoral dissertation. KTH Royal Institute of Technology. 2023.

[2] Барановський Д.М. та ін. Інтелектуальні системи в управлінні залізничним рухом. Дніпро. *Стандарт-Сервіс*. 2018

[3] Zhang, Y., et al. A comprehensive review on the operation and maintenance of railway systems. *Research Square*. 2023.

**ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**DIGITAL TRANSFORMATION AND INTELLECTUALIZATION OF
RAIL TRANSPORT**

*Канд. техн. наук А.О. Ковальов, аспіранти Р.А. Пурій, Ю.В. Прохоренко
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*A. Kovalov PhD (Tech.), R. Purii, Y. Prokhorenko postgraduate
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Оптимізація управління рухом є найскладнішим, але й найперспективнішим напрямом інтелектуалізації залізниць. Тут спостерігається чітка еволюція методів від класичних до найсучасніших.

Класичні методи оптимізації, такі як змішане цілочисельне лінійне програмування (Mixed Integer Linear Programming, MILP), довели свою ефективність у задачах статичного планування. Вони використовуються для побудови робастних, тобто стійких до невеликих збурень, розкладів руху. За допомогою MILP можна оптимізувати мінімально допустимі проміжки між поїздами (headways) або знайти оптимальний спосіб вставки додаткових поїздів у вже існуючий графік з мінімальним впливом на інших учасників руху [1]. Однак головним недоліком таких методів є їхня висока обчислювальна складність, що робить їх малопридатними для прийняття рішень у режимі реального часу.

Навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) є значно більш гнучким підходом, що розглядається як надзвичайно перспективний метод для динамічного управління рухом (train dispatching). В рамках цієї парадигми, програмний "агент" (система управління) вчиться приймати оптимальні рішення (наприклад, змінити порядок проходження поїздів, обрати інший маршрут) шляхом взаємодії з середовищем (симулятором залізничної мережі). На основі отриманих "винагород" або "штрафів" за свої дії, агент поступово формує стратегію, що дозволяє максимізувати загальну ефективність системи в реальному часі [2].

Нейронна комбінаторна оптимізація (Neural Combinatorial Optimization, NCO) є найновішим підходом, що поєднує глибоке навчання (зокрема, архітектуру Transformer, що лежить в основі сучасних великих мовних моделей) для вирішення складних комбінаторних задач. NCO дозволяє знаходити високоякісні рішення для таких завдань, як інтегроване планування в інтермодальних перевезеннях, практично миттєво, враховуючи при цьому велику кількість контекстуальних факторів та невизначеність [3].

Порівняльний аналіз цих методологій наведено в таблиці 1.

Таблиця 1: Порівняння методологій оптимізації для управління залізничним рухом

Методологія	Основний принцип	Тип задач	Переваги	Недоліки
MILP	Математична оптимізація	Статичне планування робастних розкладів	Гарантія знаходження оптимального рішення	Висока обчислювальна складність, негнучкість до змін
RL	Навчання на основі спроб і помилок	Динамічне управління рухом в реальному часі	Адаптивність, висока швидкість реакції	Потреба у великих даних для навчання, складність інтерпретації
NCO	Глибоке навчання для комбінаторних задач	Інтегроване планування в умовах невизначеності	Дуже висока швидкість, урахування складного контексту	Новітня технологія, вимагає значних обчислювальних ресурсів

Аналіз цих напрямів виявляє чітку еволюційну тенденцію. Ранні застосування ШІ, зосереджені на прогнозуванні дефектів, виконували переважно пасивну, інформативну роль: система повідомляла людину про потенційну проблему. Більш просунуті системи, такі як моніторинг безпеки, вже відіграють активну роль, але остаточне рішення все ще залишається за людиною або простою логікою. Найновіші ж підходи, такі як RL та NCO, націлені на те, щоб ШІ сам пропонував або навіть приймав оптимальні операційні рішення в динамічному середовищі. Ця еволюція від предиктивних систем (що відповідають на питання "що станеться?") до прескриптивних (що відповідають на питання "що робити?") означає зростання автономності ШІ. Це, в свою чергу, ставить нові, більш жорсткі вимоги до довіри, інтерпретованості та безпеки цих систем.

- [1] Zhang, Y., et al. (2023). A comprehensive review on the operation and maintenance of railway systems. *Research Square*.
- [2] Elansari, K., Idrissi, A., & Tifernine, H. (2024). Artificial Intelligence in Railway Systems. In *Modern Artificial Intelligence and Data Science 2024* (pp. 391-406). Springer Nature Switzerland.
- [3] Papathanasiou, M., et al. (2020). Artificial Intelligence-Based Surveillance System for Railway Crossing Traffic. *IEEE Sensors Journal*.

ВПЛИВ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАГОНІВ НА ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

IMPACT OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF WAGON MAINTENANCE ON THE QUALITY OF TRANSPORT SERVICES

*Канд. техн. наук О.В. Ковальова, аспірант В.О. Олексюк
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*O. Kovalova PhD (Tech.), V. Oleksiuk postgraduate
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Інноваційні технології в процесі технічного обслуговування та ремонту рухомого складу відіграють ключову роль в підвищенні ефективності залізничних перевезень та якості надання транспортних послуг. Їх впровадження в сфері вантажних перевезень залізницею виступає визначальним напрямом модернізації транспортної галузі. Цифрові платформи управління логістичними операціями, системи моніторингу технічного стану рухомого складу, прогнозне обслуговування, автоматизовані інструменти планування ремонтних вікон і сучасні системи диспетчерського контролю дозволяють значно скоротити непродуктивні простої, оптимізувати використання вагонів і локомотивів та підвищити точність виконання графіків руху [1].

Сучасні цифрові системи діагностики (IoT-сенсори, автоматизовані комплекси контролю, системи предиктивної аналітики) забезпечують безперервний моніторинг технічного стану рухомого складу, що дозволяє своєчасно запобігти виникненню аварійних ризиків, виявляти несправності та оптимізувати графіки технічного обслуговування. Використання автоматизованих технологій підвищує точність і швидкість виконання операцій, забезпечується швидке реагування на зміни операційної ситуації, скорочуючи час простою вагонів [2].

Використання цифрових платформ управління ремонтними вікнами сприяє прозорості логістичних процесів, підвищенню дисципліни виконання регламентних робіт та покращенню координації між відповідними підрозділами, в тому числі станціями та операторами рухомого складу. Графіки доставки стають більш стабільними, а час транспортування вантажу скорочується в середньому на 6–12% завдяки відсутності непередбачених зупинок. Рівень виконання перевізних зобов'язань підвищується, що безпосередньо покращує репутацію оператора і клієнти обирають цього перевізника частіше, адже він може гарантувати точну доставку й менші ризики затримок, що посилює його конкурентні позиції на ринку логістики. Такі інноваційні рішення суттєво покращують якість транспортних послуг, сприяють скороченню часу доставки вантажів, підвищують безпеку та формують новий стандарт ефективності

залізничної логістики в умовах сучасного ринку [3].

Такі дії демонструють, як інноваційні технології обслуговування вагонів будуть впливати на якість і надійність транспортних послуг, скорочуючи час доставки вантажів та підвищуючи конкурентоспроможність залізничних перевізників на ринку логістики. Отже, застосування інноваційних технологій у сфері обслуговування вагонів забезпечує формування сучасного стандарту якості транспортних послуг, який ґрунтується на підвищеній безпеці, високій ефективності та орієнтації на потреби клієнта.

Особливої уваги заслуговують зазначені підходи при планування та організації перевезення вантажів на основі довгострокових зобов'язань.

[1] Голубенко В. М., Дикань В. Л. Логістичні процеси на залізничному транспорті: організація та удосконалення. Харків. УкрДУЗТ. 2020.

[2] Лапкін, А. А. Управління технічним станом рухомого складу залізниць. Дніпро. Логос. 2021.

[3] Kavnikov, S., et al. "Digitalization of Maintenance Processes in Railway Transport." Transport Problems, 2021.

УДК 656.025.2

THE USE OF MACHINE LEARNING METHODS IN PREDICTING THE PASSENGERS' TRAVEL BEHAVIOR

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ПРОГНОЗУВАННІ ТРАНСПОРТНОЇ ПОВЕДІНКИ ПАСАЖИРІВ

PhD (Ped.) D. Kopytkov¹, PhD (Tech.) O. Zaporozhtseva²

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv)

²Kharkiv National and Highway University (Kharkiv)

канд. пед. наук Д.М. Копитков, канд. тех. наук О.В. Запорожцева

*¹Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М. Бекетова (м. Харків)*

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)

Growth of urban population and its mobility, and a complexity of present transportation networks generates the travel behavior forecasting as an issue that needs to be addressed urgently. In case under consideration, the classical travel demand models (e.g. gravity, entropy and equilibrium models etc.) are inflexible because there is a necessity to deal with big data, diversity in preferences of public transport users, and constant changes taking place within the city environment.

At once, the Machine Learning (ML) is currently considered among the most accurate means of predicting human transport behavior, since it can analyze large datasets considering nonlinear relationships between trip factors and exhibiting complicated choice behavior patterns difficult to capture by traditional statistical

models. Some research provides evidence on a comparison basis [1, 2] that the ML algorithms outmatch the classical travel demand modeling approaches and standard statistical methods both regarding forecast accuracy as well as the ability for detecting interactions between factors.

The ML methods support the consideration of dozens and even hundreds of parameters simultaneously including but not limited to time of day, travel costs, transfers, comfort aspects, congestion levels, infrastructure quality as well as weather conditions together with personal characteristics pertaining to passengers. Among the widely used methods, the random forest, gradient boosting, neural networks and support vector approaches should be reminded. Unlike the traditional models, the ML methods automatically recognize hidden complex relationships and produce accurate predictions even when the data obtained is incomplete or noisy [3].

The ML better predicts a trip mode choice, route choice probability, and passengers' responses to any changes either in schedule or travel fare thus allowing the transportation offer optimization in real time. The above-stated approaches are applied to demand modeling, route choice analysis, travel alternative attractiveness evaluation and intelligent transport systems development [4].

Thus, the analytical potential provided by the ML methods in forecasting passenger travel behavior extends far beyond that offered by traditional statistical approaches. Scientific literature demonstrates the evidence of the fact that machine learning increases prediction accuracy, makes models more robust, and reveals the actual user behavior inside an urban transport system with a significant detail level. Due to this, the ML becomes a handy tool in developing modern transportation systems and decision-making related to mass transportation planning.

1. Zhao, X., Yan, X., & Yu, A. (2018). *Modeling stated preference for mobility-on-demand transit: A comparison of machine learning and logit models*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.01315>
2. Martín-Baos, J. A., López-Gómez, J. A., & Monzón, A. (2023). *A prediction and behavioural analysis of machine learning methods for modelling travel mode choice*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.04404>
3. Yousefzadeh, B., Farber, S., Jahanshahi, H., & Beyazit, E. (2022). *Understanding transit ridership in an equity context through a comparison of statistical and machine learning algorithms*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.16736>
4. Huang, H., Lin, D., & Shaw, S.-L. (2020). Intelligent transportation systems: Machine learning approaches for urban mobility in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 107(11):105369. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105369>

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ
СТУПІНЧАСТИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ
ВАНТАЖОПОТОКІВ**

**RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF APPLYING INTELLIGENT
ALGORITHMS FOR FORMING STEPPED ROUTES UNDER DYNAMIC
FREIGHT FLOWS**

*канд. техн. наук, доцент О.М. Костенніков,
студент В.О. Мирошніченко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*O. Kostiennikov, PhD (Tech.), Associate Professor,
student V. Myroshnychenko*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Сучасні умови організації вантажних залізничних перевезень в Україні характеризуються високою волатильністю попиту, що особливо проявляється у експортних напрямках. Традиційна практика відправлення окремих составів з кожної станції призводить до формування неповновагових поїздів, низького коефіцієнта використання вантажопідйомності составів та неефективного використання тягових ресурсів. Ступінчастий маршрут являє собою технологію послідовного нарощування состава шляхом приєднання груп вагонів на проміжних станціях до базового потяга, що прямує до єдиного пункту призначення. Однак реалізація цієї технології в умовах нестабільної готовності вантажів, змінної пропускної спроможності дільниць та обмеженої доступності локомотивів вимагає застосування інтелектуальних алгоритмів, здатних приймати рішення в режимі реального часу з урахуванням множини динамічних факторів [1].

Світова практика демонструє приклади застосування інтелектуальних систем для консолідації вантажопотоків у різних сегментах перевезень. Дослідження China Railway Express показує, що більшість поїздів на євразійських маршрутах здійснюють пряме сполучення без консолідації вантажів, що призводить до низького коефіцієнта завантаження та необхідності державних субсидій. Впровадження оптимізації маршрутів консолідації з використанням змішаного цілочисельного програмування дозволило відібрати центри консолідації в містах Чунцін, Сіань, Ченду, Чженчжоу та інших, що сприяло покращенню економічної ефективності перевезень [2]. Для вирішення задачі формування поїздів на китайській залізниці розроблено гібридний алгоритм, що поєднує генетичний алгоритм та табу-пошук, який було протестовано на реальній мережі з 19 станцій і продемонстрував покращення на

20,8% порівняно з існуючим планом [3]. У сфері оперативного управління застосування глибинного навчання з підкріпленням для перепланування руху поїздів на високошвидкісній залізниці Пекін-Шанхай дозволило зменшити загальну затримку поїздів в середньому на 9,8% порівняно з традиційними диспетчерськими правилами [4]. Martinelli та Teng розробили підхід на основі нейронних мереж для вирішення задачі формування поїздів, сформулювавши її як задачу бінарного цілочисельного програмування з нелінійною цільовою функцією, що мінімізує загальний час перебування вагонів у системі [5].

Математична постановка задачі формування ступінчастих маршрутів включає визначення множини станцій-кандидатів для приєднання вагонів, оптимальної послідовності їх обслуговування та кількості вагонів для приєднання на кожній станції при дотриманні технічних обмежень. Основними параметрами оптимізації виступають мінімізація загального часу формування та доставки маршруту, максимізація коефіцієнта використання вантажопідйомності та мінімізація експлуатаційних витрат. Інтелектуальні алгоритми вирішення можуть базуватися на методах машинного навчання з підкріпленням для адаптації до змінних умов, еволюційних алгоритмах для пошуку глобального оптимуму в просторі великої розмірності, або гібридних підходах, що поєднують точні методи математичного програмування з евристичними для прийняття оперативних рішень. Критично важливим є врахування невизначеності вхідних даних через імовірнісне моделювання готовності вантажів, застосування методів прогнозування часових рядів для оцінки майбутньої завантаженості інфраструктури та розробка адаптивних стратегій, що дозволяють коригувати план маршруту в процесі його реалізації при виникненні відхилень від прогнозованих параметрів.

Для умов України застосування інтелектуальних алгоритмів формування ступінчастих маршрутів має особливу актуальність на експортних напрямках руху зернових та промислових вантажів до західних прикордонних станцій. В Україні концентрується значна кількість станцій відправлення агропродукції, де обсяги готових до відправлення вагонів суттєво коливаються залежно від сезону, стану врожаю та логістики автодоставки зерна до елеваторів. Застосування інтелектуальних систем планування може забезпечити динамічне формування оптимальних маршрутів з урахуванням поточної ситуації, що дозволить підвищити середню довжину составів та скоротити кількість локомотиворейсів. Перспективи подальших досліджень включають розробку спеціалізованих алгоритмів для різних категорій вантажів з урахуванням їх специфічних обмежень, створення імітаційних моделей для тестування ефективності різних стратегій формування маршрутів та розробку архітектури системи підтримки рішень для інтеграції з існуючими автоматизованими системами управління перевезеннями на залізничному транспорті.

[1] Corman, F., D'Ariano, A., Pacciarelli, D., Pranzo, M. Bi-objective conflict detection and resolution in railway traffic management. *Transportation Research Part C*, 2012, 20(1), 79-94.

[2] Zhao, L., Li, H., Li, M., Sun, Y., Hu, Q., Mao, S., Li, J., Xue, J. Location selection of intra-city distribution hubs in the metro-integrated logistics system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2018, 80, 246-256.

- [3] Xiao, J., Zhang, R., Lin, B., Yang, L. Solving the train formation plan network problem of the single-block train and two-block train using a hybrid algorithm of genetic algorithm and tabu search. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 86, 124-146.
- [4] Wang, P., Zhang, Q., Wen, C., Li, S., Liu, Y. A multi-task deep reinforcement learning approach to real-time railway train rescheduling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2024, 192, 103779.
- [5] Martinelli, D.R., Teng, H. Optimization of railway operations using neural networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1996, 4(1), 33-49.

УДК 656.2

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРОГНОЗНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ ЕКСПОРТНИМИ
ВАНТАЖОПОТОКАМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF APPLYING PREDICTIVE
ANALYSIS TECHNOLOGIES IN MANAGING EXPORT FREIGHT FLOWS
OF RAILWAY TRANSPORT**

*канд. техн. наук, доцент О.М. Костенніков, аспірант С.В. Круподеря
Український державний університет залізничного транспорту (м.
Харків)*

*O. Kostiennikov, PhD (Tech.), Associate Professor, postgraduate
student S. Krupoderia
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Зростання обсягів експорту агропродукції, металургійної продукції та контейнерних вантажів через західні кордони України створює підвищене навантаження на прикордонні станції та транспортні коридори. Традиційні методи планування вантажопотоків базуються переважно на історичному досвіді та експертних оцінках, що не завжди дозволяє оперативно реагувати на динамічні зміни попиту та пропускної здатності інфраструктури. У цьому контексті дослідження можливостей застосування технологій прогностичного аналізу для оптимізації управління експортними перевезеннями набуває особливої актуальності.

Прогнозний аналіз у сфері залізничних вантажних перевезень можна визначити як сукупність методів та технологій, що використовують математичне моделювання, статистичний аналіз та алгоритми машинного навчання для передбачення майбутніх транспортних потреб та оптимізації розподілу ресурсів [1]. Основними завданнями прогнозування є визначення обсягів вантажопотоків, прогнозування завантаження станцій та напрямків перевезень, а також оцінка потреби у рухомому складі.

На відміну від традиційних методів планування, що застосовуються на

залізницях України та базуються переважно на історичних показниках минулих років, довгострокових контрактах та експертних оцінках, технології прогнозного аналізу дозволяють враховувати множину динамічних факторів для короткострокового та середньострокового прогнозування. Існуюча система планування на Укрзалізниці орієнтована на квартальні та річні горизонти, що ускладнює швидку адаптацію до змін ринкової кон'юнктури. Інтелектуальні системи прогнозування можуть надавати прогнози з горизонтом від доби до місяця з урахуванням поточної ситуації на ринках експорту, сезонних коливань попиту, погодних умов, цін на сільськогосподарську продукцію, курсів валют та завантаженості європейських портів призначення. Такий підхід забезпечує проактивне управління вантажопотоками замість реактивного реагування на заявки клієнтів та дозволяє оптимізувати роботу в режимі реального часу.

Дослідження досвіду провідних європейських залізничних компаній демонструє активне впровадження технологій прогнозного аналізу для управління вантажними перевезеннями. Німецька залізнична компанія Deutsche Bahn використовує системи прогнозування попиту на основі машинного навчання, що дозволяє оптимізувати розподіл локомотивів та вагонів між напрямками з урахуванням сезонних коливань та економічних факторів [2]. Французька національна залізнична компанія SNCF розробила платформу прогнозування вантажопотоків, яка аналізує дані про попередні перевезення, макроекономічні показники та інформацію від клієнтів для формування оптимальних графіків руху вантажних поїздів [3]. Швейцарські федеральні залізниці впроваджують алгоритми глибокого навчання для прогнозування затримок вантажних поїздів на прикордонних переходах, що дозволяє завчасно коригувати маршрути та мінімізувати простой [4].

Аналіз азійського досвіду показує масштабне використання технологій великих даних та штучного інтелекту для управління вантажними перевезеннями. Китайська державна залізнична корпорація China Railway застосовує платформу прогнозного аналізу для управління контейнерними поїздами на маршрутах «Нового шовкового шляху», що включає прогнозування обсягів перевезень між Китаєм та Європою з точністю понад 85% [5]. Японські залізниці JR Freight використовують нейронні мережі для оптимізації завантаження вантажних терміналів та прогнозування пікових періодів попиту на перевезення.

Вивчення потенційних переваг застосування прогнозного аналізу для українських залізниць показує можливості підвищення точності планування експортних перевезень, скорочення простоїв вагонів на прикордонних станціях та оптимізації використання рухомого складу. Для експортних перевезень агропродукції це може забезпечити краще планування завантаження елеваторів та координацію з портами призначення в країнах ЄС. Для металургійної продукції прогнозування дозволить оптимізувати формування маршрутних відправлень та розподіл спеціалізованого рухомого складу.

Проведене дослідження дозволяє зробити висновок про значний потенціал технологій прогнозного аналізу для підвищення ефективності управління

експортними вантажопотоками залізничного транспорту. Інтелектуальне прогнозування попиту дозволить краще координувати роботу українських та європейських залізничних операторів, що особливо важливо в умовах переорієнтації експортних потоків через західні кордони.

[1] Lessmann, S., Voß, S. A reference model for demand planning in revenue management. *Decision Support Systems*, 2010, 48(2), 511-523.

[2] Deutsche Bahn AG. Digitalization Strategy: Predictive Analytics in Freight Operations. URL: <https://www.deutschebahn.com/en/digitalization>

[3] SNCF Logistics. Innovation in Freight Transport Management. URL: <https://www.sncf.com/en/innovation/digital-freight-solutions>

[4] Swiss Federal Railways. Smart Freight: AI-Powered Logistics. URL: <https://www.sbb.ch/en/freight-logistics/innovation>

[5] China State Railway Group. Big Data and AI Applications in China-Europe Railway Express. URL: <https://www.railway-technology.com/features/china-railway-artificial-intelligence/>

УДК 656.073.235:347.77(477)

ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ В УКРАЇНІ

LEGAL REGULATION OF FORWARDING ACTIVITIES IN THE TRANSPORTATION OF LIQUID CARGOES IN UKRAINE

канд. псих. наук. К.В. Кім, Р.Р. Гасанов

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

K. Kim, PhD (Psych.), R. Hasanov

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Експедиторська діяльність є ключовим елементом сучасної логістики та невід'ємною складовою організації перевезень вантажів. Вона забезпечує взаємодію між замовником і перевізником, супровід документів, страхування, митне оформлення та зберігання вантажів. Особливу увагу слід приділяти наливним вантажам – хімікатам, нафтопродуктам, агресивним та легкозаймистим рідинам, які характеризуються підвищеною небезпекою, специфікою умов транспортування та високими вимогами до правового оформлення перевезень. Тому робота експедитора з такими вантажами потребує суворого дотримання технічних, організаційних та правових норм, що забезпечує безпеку і ефективність логістичних процесів.

Національне законодавство України регулює транспортно-експедиторську діяльність загальною через Цивільний кодекс України [1] та Закон України «Про особливості регулювання діяльності юридичних осіб окремих організаційно-правових форм у перехідний період та об'єднань юридичних осіб» [2], а також Закон України «Про транспортно-експедиторську діяльність» № 1955-IV [3]. Ці правові акти встановлюють загальні принципи діяльності експедиторів,

визначають права, обов'язки та відповідальність сторін договору транспортного експедирування. Проте вони не містять спеціалізованих норм щодо перевезення наливних вантажів, що створює правові прогалини, підвищує ризики юридичних колізій і обмежує можливості ефективного правового регулювання специфічних процесів перевезення наливних вантажів.

На міжнародному рівні перевезення наливних та небезпечних вантажів регламентується низкою документів: ADR (Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів) [4], RID (Правила перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом), IMDG Code (Міжнародний кодекс морського перевезення небезпечних вантажів) та CMR (Конвенція про договір міжнародного дорожнього перевезення вантажів). Ці нормативні акти встановлюють детальні вимоги до конструкції транспорту, пакування, маркування, сертифікації, підготовки персоналу та контролю безпеки перевезень. Водночас вони визначають права та обов'язки перевізника та експедитора, хоча відповідальність експедитора часто деталізується в договірних відносинах.

Експедитор, працюючи з наливними вантажами, виконує розширені функції, що виходять за межі стандартного організаційного супроводу перевезень. До них належать: контроль технічної придатності транспортних засобів (герметичність цистерн, сертифікація ADR, відповідність конструкцій); перевірка документації, включно з транспортними накладними, паспортами безпеки та сертифікатами якості; забезпечення дотримання екологічних, митних та пожежних вимог; консультування щодо міжнародного права перевезень та умов договорів.

Відповідальність експедитора включає ризики вибору неналежного перевізника, порушення правил перевезення, недотримання режимів зберігання та безпеки вантажів, а також неналежне оформлення документації. Замовник, у свою чергу, несе відповідальність за надання достовірної інформації про вантаж, оформлення дозвільних документів та своєчасну оплату експедиторських послуг.

Аналіз національних і міжнародних нормативів показує, що українське законодавство є менш деталізованим. Особливо це стосується технічних вимог до транспорту, маркування та пакування вантажів, визначення відповідальності експедитора та умов контролю за безпекою перевезень. Міжнародні стандарти (ADR, CMR, RID, IMDG) передбачають більш чіткі й конкретні вимоги, що забезпечують підвищений рівень безпеки та правової визначеності.

Для підвищення ефективності та безпеки експедиторської діяльності з наливними вантажами доцільним є: внесення спеціальних норм щодо перевезення небезпечних і наливних вантажів у Закон України «Про транспортно-експедиторську діяльність»; розроблення типової форми договору транспортного експедирування, що визначатиме права, обов'язки та відповідальність усіх учасників процесу; посилення відповідальності за порушення умов перевезення; впровадження цифрових технологій, включно з електронним документообігом, системами відстеження та блокчейн-технологіями; гармонізація національних норм із міжнародними стандартами

ADR, CMR, RID, IMDG; підвищення професійної підготовки експедиторів; розвиток альтернативних механізмів вирішення спорів, таких як арбітраж.

Експедирування наливних вантажів є складною, високоризиковою та правозначущою діяльністю. Відсутність спеціалізованих норм у національному законодавстві призводить до підвищення ризиків техногенного, екологічного та юридичного характеру. Комплексне законодавче врегулювання, гармонізація національних норм із міжнародними стандартами та підвищення професійного рівня суб'єктів експедиторської діяльності дозволять забезпечити безпечне перевезення, зменшити правові ризики і підвищити ефективність логістичних процесів.

[1] Цивільний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>

[2] Закон України «Про особливості регулювання діяльності юридичних осіб окремих організаційно-правових форм у перехідний період та об'єднань юридичних осіб». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4196-20#n174>

[3] Закон України «Про транспортно-експедиторську діяльність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1955-15#Text>

[4] Європейська Угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217#Text

УДК 656.073

ЗАХОДИ З ОПТИМІЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ РІЗНИХ ВИДІВ ВАНТАЖІВ

MEASURES TO OPTIMIZE BUSINESS PROCESSES OF FREIGHT FORWARDING ENTERPRISES IN ORGANIZING INTERNATIONAL TRANSPORTATION OF VARIOUS TYPES OF GOODS

*канд. техн. наук Є.М. Лебідь¹, канд. техн. наук І.Г. Лебідь¹,
канд. техн. наук О.О. Мазуренко²*

¹Національний транспортний університет (м. Київ)

²Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

*I.M. Lebed¹, PhD (Tech.), I.H. Lebed¹, PhD (Tech.),
O.O. Mazurenko², PhD (Tech.)*

¹National Transport University (Kyiv)

²Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

Питання підвищення ефективності діяльності транспортно-експедиторських підприємств (ТЕП) набувають особливої актуальності в умовах зниження попиту на послуги серед вантажовласників і підвищення конкуренції на ринку транспортно-експедиторського обслуговування (ТЕО). Незважаючи на це, значна кількість експедиторських компаній, які продовжують функціонувати на українському та міжнародному ринках, свідчить про сталу привабливість транспортно-експедиторської діяльності як форми підприємництва з високим

потенціалом розвитку.

Такі ринкові умови актуалізують потребу у перегляді якісних і кількісних показників ефективності надання транспортно-експедиторських послуг з урахуванням індивідуальних умов обслуговування кожного замовника. До ключових факторів, що впливають на результативність ТЕО, належать: тривалість виконання експедиторських операцій, ймовірність відмови в обслуговуванні через дефіцит фахівців-експедиторів у штаті підприємства, а також рівень професійного супроводу перевезення вантажу [1,2].

Висока якість ТЕО забезпечується налагодженням внутрішньої організаційної структури експедиторського підприємства, вдосконаленням технології обробки замовлень, інформаційного забезпечення документообігу, а також розробленням ефективних форм взаємодії з клієнтами – як постійними, так і новими. Кожен вид експедиторських робіт має визначену послідовність виконання та залежить від фізико-хімічних властивостей вантажу, виду транспорту, умов перевезення, митного режиму і транспортно-експедиторського договору. Таким чином, тривалість експедиторського обслуговування визначається типом вантажу, складністю маршруту, кількістю залучених перевізників та обсягом документального супроводу [3,4].

Для постійних клієнтів обслуговування здійснюється за напрацьованими схемами співпраці, що передбачають скорочення термінів опрацювання замовлення. Натомість у випадку нових або періодичних замовників експедитор змушений витратити додатковий час на перевірку надійності контрагента, узгодження умов фрахтування, розрахунок тарифів і підготовку комерційної пропозиції. Таким чином, аналіз складу замовників та номенклатури вантажів, які надходять на ТЕО, має важливе значення при формуванні оптимальної чисельності експедиторів з метою мінімізації черг на обслуговування та забезпечення стабільності експлуатаційного процесу.

Організація транспортно-експедиторського обслуговування при міжнародних автомобільних перевезеннях стандартних, негабаритних, збірних, швидкопсувних і небезпечних вантажів характеризується суттєвими відмінностями у тривалості, вартості та процедурних аспектах обслуговування. Крім того, експортні та імпорتنі операції мають специфічні відмінності у документообігу, порядку митного оформлення, розрахунках фрахту та умовах перевізного процесу. Залежно від частоти звернення та характеру співпраці клієнтів, замовників ТЕП доцільно поділяти на: постійних замовників, нових клієнтів, періодичних користувачів послуг, які залучають різні експедиторські компанії. З метою оптимізації ТЕО доцільно розглядати дві стратегії роботи експедитора: з імовірністю виникнення помилок на окремих етапах обслуговування, що призводить до додаткових часових витрат на їх усунення; безпомилкове виконання технологічних операцій, яке передбачає повну координацію дій усіх учасників транспортного процесу.

Типовий технологічний цикл транспортно-експедиторського обслуговування включає:

- прийом заявки від вантажовласника;

- укладання договору транспортного експедирування;
- підбір рухомого складу відповідно до характеристик вантажу;
- розрахунок маршруту та вартості перевезення;
- укладання договору фрахтування з перевізником;
- підготовку транспортних і товаросупровідних документів (CMR, інвойс, пакувальний лист, сертифікати тощо);
- оформлення митних документів і взаємодію з брокерськими структурами;
- подачу рухомого складу під завантаження; контроль завантаження, відправлення, транзиту і доставки;
- оформлення актів приймання-передачі вантажу;
- здійснення фінансових розрахунків між сторонами.

Для кожного етапу ТЕО визначається середня тривалість виконання, ймовірність виникнення помилок, час на їх усунення та ступінь впливу на загальний термін обслуговування. Результати досліджень свідчать, що категорія замовника та характеристика вантажу суттєво впливають на інтенсивність навантаження експедитора та загальну пропускну спроможність підприємства.

Під час планування роботи експедиторської компанії доцільно враховувати такі параметри: штатну чисельність експедиторів; середню тривалість обслуговування кожного виду вантажу (з урахуванням можливих помилок); тривалість очікування замовника у черзі; імовірність відмови у прийомі замовлення; резерв персоналу для пікових навантажень; надійність ТЕО, яка характеризує ймовірність своєчасного завершення експедиторського процесу.

Застосування науково обґрунтованих методів планування експедиторських операцій дозволяє оптимізувати розподіл трудових ресурсів, забезпечити безперебійність транспортного процесу і зменшити ризики порушення строків доставки. Аналіз структури потоку замовлень та номенклатури вантажів дає змогу обґрунтовано формувати штат експедиторів, підвищувати коефіцієнт використання робочого часу й ефективність експлуатаційної діяльності підприємства. Врахування специфічних властивостей вантажів під час організації ТЕО має безпосередній вплив на тривалість пошуку перевізника, розроблення маршруту, підготовку супровідних документів, а отже – на загальний час виконання послуги. У разі порушення строків або перевищення терміну очікування клієнт може відмовитись від співпраці, що вказує на критичну важливість планування експедиторських процесів з урахуванням категорії вантажу та рівня терміновості перевезення.

[1] Разумова, К. М., Новальська, Н. І., Клименко, В. В. (2023). Особливості сучасного транспортно-експедиторського бізнесу. *Системи та технології*, 65(1), 124-130. URL: <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.1-65.15>

[2] Сторчак, К. В. Специфіка організації міжнародної транспортно-експедиторської діяльності / Сторчак К. В., Кузнєцова К. О. // Актуальні проблеми економіки та управління : збірник наукових праць молодих вчених. – 2021. – Вип. 15. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52792>

[3] Озерська, Г. В. Транспортно-логістичне обслуговування міжнародних вантажних перевезень [Електронний ресурс] / Г. В. Озерська // Вісник економіки транспорту і промисловості. - 2014. - Вип. 47. - С. 34-38. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2014_47_9

[4] Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Halona, I., Horban, A., Mykhailenko, I., Medvediev, I., &

УДК 656.223

ПЕРСПЕКТИВИ ВЗАЄМОДІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ ІЗ ОПЕРАТОРАМИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ

PROSPECTS OF INTERACTION BETWEEN MAIN RAILWAYS AND RAIL TRANSPORT OPERATORS IN UKRAINE

*Докт. техн. наук Д.В. Ломотько, асп. А.І. Аболонін, асп. О.В. Кофанов,
маг. Н.Ю. Янчар*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*Dr. Tech. Sc. D. Lomotko, postgraduate student A. Abolonin, postgraduate
student O. Kofanov, master N. Yanchar*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Як свідчать основні показники транспортної роботи, значення залізничних вантажних перевезень у нашій державі збільшується на фоні запровадження воєнного стану. Основну частину вантажів магістральні залізниці отримують від підприємств на під'їзних коліях, та доставляють до місць вивантаження на під'їзні колії. В процесі управління взаємодією між магістральним залізничним транспортом та під'їзними колями виникають певні ключові труднощі, які можливо вирішити шляхом запровадження приватних операторів залізничних перевезень.

Переваги приватних операторів залізничних перевезень ґрунтуються не виключно на економічній ефективності, а на цілому наборі системних технологічних переваг, які можуть суттєво змінити логістику, інфраструктуру та якість транспортного сервісу. Зокрема, приватні залізничні оператори можуть забезпечити гнучкість та швидкість прийняття технологічних рішень. Дійсно, приватні компанії, на відміну від АТ «Укрзалізниця», не обмежені бюрократичними процедурами, тому швидше реагують на зміну попиту, сезонні коливання обсягів перевезень, логістичні потреби клієнтів. З цього випливає клієнтоорієнтованість - приватні оператори працюють у конкурентному середовищі, тому змушені покращувати транспортний сервіс, застосовувати індивідуальні логістичні рішення, гнучкі графіки, персоналізовані тарифи та знижки з них [1]. Наприклад, у Польщі приватні оператори (Lotos Kolej, CTL Logistics) знизили середні тарифи на 15–20% у порівнянні з основним перевізником РКР Cargo. У Німеччині конкуренція між DB Cargo та Captrain, RheinCargo стимулює розвиток гнучких тарифних платформ і цифрових сервісів. Навить в Україні компанії, які мають власні локомотиви та вагони, можуть

обходити частину тарифів АТ «Укрзалізниця», зокрема за маневрові роботи, що знижує загальні витрати на перевезення.

Приватні залізничні оператори мають високу інвестиційну активність та привабливість для інвесторів. Власні кошти або залучений капітал використовуються для модернізації локомотивів, вагонів, терміналів. Часто впроваджують інновації — GPS-моніторинг, електронні документи, автоматизовані системи обліку, технологічні системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу [2, 3].

За рахунок гнучкості прийняття рішень приватні залізничні оператори забезпечують покращення показників ефективності використання рухомого складу. Досвід показує, що це досягається шляхом забезпечення більш високої оборотності вагонів у порівнянні із магістральними залізницями, оптимізації маршрутів прямування, зменшення простоїв, оптимізації складу логістичних ланцюгів. Використання власних локомотивів (в Україні це можливо тільки під час маневрових технологічних операцій) часто є більш дешевим рішенням, що знижує залежність вантажовласника від АТ «Укрзалізниця».

Перспективи взаємодії магістральних залізниць із операторами залізничних перевезень в Україні також полягають у зменшенні навантаження на державну систему. Визначення правового статусу та легітимності операторів призведе до того, що частина вантажопотоку буде обслуговуватись приватними компаніями, що знижує навантаження на АТ «Укрзалізниця», а держава може зосередитися на стратегічних напрямках (транспортна інфраструктура, безпека, регулювання). У деяких розвинутих країнах існують ефективні моделі приватних операторів залізничних перевезень, переваги яких буде корисно застосувати в умовах України. Наприклад, у Німеччині магістральні залізниці DB Netz доповнюються приватними операторами (наприклад, RheinCargo, Captrain), що забезпечує конкуренцію, інноваційні процеси та якість сервісу. У Польщі РКР Cargo взаємодіє із приватними операторами (наприклад, Lotos Kolej, CTL Logistics), що призводить до зниження вантажних тарифів та регулярної модернізації парку рухомого складу. У США запроваджено повністю приватну модель (наприклад оператори Union Pacific, BNSF, CSX), що створює передумови розвитку потужності інфраструктури, ефективності логістичних операцій та інвестиційної привабливості, особливо в сфері впровадження інтелектуальних транспортних технологій.

Таким чином, приватні оператори залізничних перевезень — це двигун позитивних змін у вантажних перевезеннях. Вони стимулюють конкуренцію, покращують якість послуг, модернізують інфраструктуру та знижують витрати. Приватні оператори залізничних перевезень мають суттєвий вплив на тарифну політику, і цей вплив проявляється як прямо, так і опосередковано через кінцеву вартість вантажів. Для України важливо створити прозорі умови доступу до інфраструктури, ліцензування та регулювання, щоб приватні оператори могли ефективно інтегруватися в логістичну систему.

[1] Огар О.М., Ломотьюк Д.В., Шелехань Г.І., Ломотьюк М.Д. Формування системного підходу до організації доставки вантажів залізничною компанією-перевізником регіонального типу. Збірник наукових праць

Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». Дніпро, 2023. Вип. 26. С. 61-67. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/293354>

[2] Ломотько, Д. В., Ільчишин, В. М., Афанасов, Г. М., Афанасова, О. Ф. (2025). Вплив логістичної складової на зберігання та транспортування зерна в Україні. *Транспортні системи та технології перевезень*, (29), 52–58. <https://doi.org/10.15802/tstt2025/325407>

[3] Ломотько, Д. В., Ільчишин, В. М., Ломотько, М. Д., Афанасова, О. Ф. (2025). Удосконалення технології передавання контейнеропотоку із зерновими вантажами для перевезення за участю залізничного транспорту. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, (211), 290-303. DOI: <https://doi.org/10.18664/>

УДК 656.073.235

АКТУАЛЬНІСТЬ КОНТРЕЙЛЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

THE RELEVANCE OF PIGGYBACK TRANSPORTATION IN UKRAINE UNDER PRESENT-DAY CONDITIONS

*Д-р. техн. наук Д.В. Ломотько, канд. техн. наук Г.М. Афанасов,
асп. О.Ф. Афанасова*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*Dr. (Tech.) D.V. Lomotko, Ph.D. H.M. Afanasov,
graduate student O.F. Afanasova*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Контрейлерні перевезення — форма комбінованих перевезень, за якої автопоїзди/напівпричеми транспортуються на спеціалізованих залізничних платформах, а автомобіль забезпечує лише «короткі плечі» на початку та в кінці маршруту. Такий ланцюг поєднує маневреність автотранспорту з «всепогодністю», продуктивністю та безпекою залізниці, що скорочує час і витрати на перевантаження між видами транспорту [1]. Під час дії режиму воєнного стану необхідність інтермодальних рішень різко зросла через блокування морських портів, перевантаження пропускної спроможності прикордонних переходів і нестачу водіїв. Відтак вантажопотоки переорієнтовано на західні кордони та Дунайські порти, а залізниці стали основою експортної логістики [2]. Контрейлерна технологія поєднує мобільність автомобіля та енергоефективність і надійність залізниці, забезпечуючи скорочення часу на кордонах, зниження витрат і підвищення стійкості ланцюгів постачання.

Мета роботи — показати економічну й операційну доцільність масштабування контрейлерних перевезень під час війни, окреслити роль залізниці та вимоги до інфраструктури/регуляції для інтеграції в TEN-T. Методи: аналітичний огляд українських рецензованих джерел; зіставлення техніко-економічних показників і бар'єрів (тарифи, колійна несумісність, пропускна спроможність кордонів).

Українські дослідження доводять економічну доцільність контрейлерної технології, пропонують схеми терміналів і прив'язку майбутньої мережі до транс'європейських осей; наголошують на ефекті «пакетної» обробки автопоїздів без проміжного перевантаження вантажу і вигоді від обмеження дорожніх навантажень [3]. У багатьох роботах також фіксується ключова інституційна проблема несумісності ширини колії 1520/1435 мм, що зумовлює додаткові витрати й затримки на кордонах. Таким чином розвиток комбінованих (контрейлерних) перевезень розглядається як більш доцільний варіант, ніж масштабна перебудова колії [3]. Синхронізація та інтегрованість з європейськими мережами підкреслюється в сучасних оглядах і узагальненнях [1].

Статистика 2022–2025 рр. фіксує різкий спад і подальше часткове відновлення залізничних перевезень через блокаду основних портів, дефіцит пропускної спроможності та воєнні ризики; це підсилює аргументи на користь контрейлерних технологій, як способу зменшення простоїв на кордонах і стабілізації термінів доставки за рахунок пакетної обробки составів [1, 2]. Залізниця забезпечує «довге плече» із кращою предиктивністю часу, нижчими питомими витратами на великі відстані та меншим екологічним слідом; контрейлерна технологія дозволяє уникати проміжного перевантаження власне вантажу й економить ресурси автопарку [1]. Спостерігається важливий «ефект термінальної мережі»: підвищення ефективності контрейлерних перевезень напряду пов'язане з формуванням мережі терміналів, узгодженої з трасуванням транс'європейських осей (TEN-T). Порівняльні оцінки показують потенційну економічну доцільність контрейлерної технології за чинних тарифів і конкуренції автотранспорту. Можна констатувати також економію від перевезення автопоїздів без проміжних переробок (до 40 т кожний) як джерело ефекту на залізничному транспорті [3]. Критичними інфраструктурними та технічними вимогами є: сумісність на стику 1520/1435 мм та технології проходження кордону, наявність спеціалізованих платформ/ контрейлерних платформ, достатня кількість терміналів і регулярні нитки графіка і також врегулювання тарифної політики та законодавчої бази змішаних перевезень. Це є ключові передумови масштабування сервісів та інтеграції з ЄС [3].

Висновки

В умовах війни контрейлерні перевезення є одним із небагатьох інструментів швидкого підсилення стійкості експортної логістики, зменшення черг на кордонах і стабілізації термінів доставки завдяки «пакетній» обробці поїздів і перевагам залізниці на «довгому плечі» [1, 2]. Економічна доцільність для України підтверджена порівняльними розрахунками та класичними оцінками ефектів [1–3]. Масштабування потребує розвитку термінальної мережі, регулярних ниток графіка, гнучкої тарифної політики, вирішення проблеми 1520/1435 мм і правового врегулювання змішаних перевезень, синхронізованого з коридорами TEN-T.

- [1] Вернигора Р. В., Журавель І. Л., Єльнікова Л. О. Дослідження ефективності застосування контрейлерної технології перевезення вантажів в Україні. Транспортні системи та технології перевезень ДНУЗТ, Вип. 22, 2021. DOI: 10.15802/tstt2021/247884.
- [2] Кудряшов Д. В., Кудряшова Н. С. Огляд і аналіз основних напрямів наукових досліджень із підвищення ефективності перевезень масових вантажів залізничним транспортом. Збірник наукових праць УкрДУЗТ, вип. 208, 2024. DOI: 10.18664/1994-7852.208.2024.308302.
- [3] Котенко А.М., Шилаєв П.С., Світлична А.В. Розвиток контрейлерних перевезень вантажів на залізницях України № 142 (2013): Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. DOI: 10.18664/1994-7852.142.2013.84125

УДК 656.225:656.078

ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

TRENDS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF RAILWAY TRANSPORTATION OF BUILDING MATERIALS UNDER MARTIAL LAW

*д.т.н., професор Д.В. Ломотко¹, аспірант Д.В. Кудряшов¹,
Н.С. Кудряшова²*

¹ *Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

² *АТ «Укрзалізниця» (м. Харків)*

*Dr. Sc. (tech.), professor Denis Lomotko¹, postgraduate student D.V. Kudriashov¹,
N.S. Kudriashova²*

¹ *Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

² *JSC «Ukrzaliznytsia» (Kharkiv)*

Залізничний транспорт України традиційно залишається основою системи перевезень масових вантажів, забезпечуючи сталу роботу промисловості, будівництва та інфраструктури. У період воєнного стану його роль значно зросла, адже саме залізниця забезпечує реалізацію проєктів з відновлення пошкоджених об'єктів та транспортування будівельних матеріалів, необхідних для реконструкції територій, доріг, мостів і житлових споруд. В умовах обмежених ресурсів та складної логістики актуальним завданням є підвищення ефективності транспортного процесу, оптимізація використання рухомого складу й зменшення витрат клієнтів.

За офіційними даними, у 2022 році перевезено 22,8 млн тонн будівельних матеріалів, у 2023 році — 29,6 млн тонн, у 2024 році — 30,3 млн тонн, а за перше півріччя 2025 року — 14,4 млн тонн (рис. 1), що свідчить про збільшення на 4% до попереднього періоду; при цьому перевезення цементу зросли на 10% [1, 5]. Попри загальне скорочення вантажообігу Укрзалізниці у 2025 році, яке зумовлене зменшенням перевезень вугілля та зернових, сегмент будівельних матеріалів продовжує стабільно зростати. Така позитивна динаміка підтверджує активізацію будівельної галузі та підвищений попит на перевезення матеріалів,

необхідних для відбудови інфраструктури та підкреслює стратегічну важливість цього напрямку для залізничного транспорту.

Попит на перевезення щебеню, цементу, бетону та інших матеріалів зумовлений активним будівництвом оборонних споруд, ремонтами транспортних об'єктів та реалізацією державних програм відновлення, таких як «Велике відновлення». Додатковим стимулом для ринку стала активізація електронних торгів через систему Prozorro.Продажі, де Укрзалізниця реалізує щебеневу продукцію власних кар'єрів, що сприяє надійності постачань і стабільному забезпеченню споживачів [3].

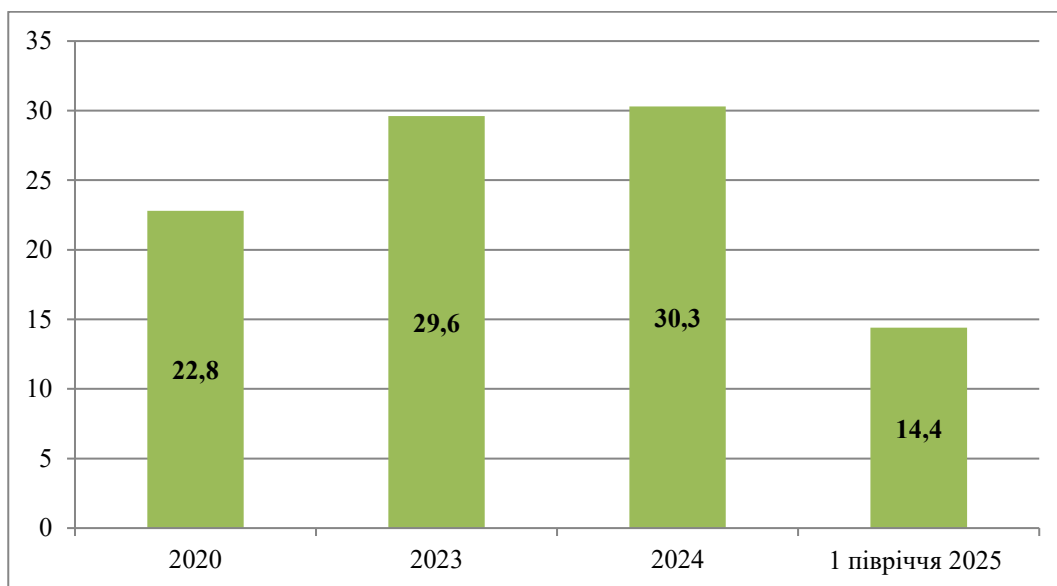


Рисунок 1. Динаміка перевезень будівельних матеріалів у 2022 – 1 півріччя 2025 року, млн. тонн

Важливим чинником підвищення ефективності перевезень у 2025 році стало рішення АТ «Укрзалізниця» переглянути середньодобову швидкість руху вантажних вагонів. Нові нормативи, які запроваджені з 16 червня 2025 року, базуються на аналізі фактичних показників руху у першому півріччі. Вони передбачають суттєве зростання швидкості для різних типів рухомого складу, зокрема цементовозів і фітингових платформ, які активно застосовуються для контейнерних перевезень будівельних матеріалів. У середньому швидкість руху таких вагонів зросла на 38%, що дозволяє скоротити час обігу рухомого складу, зменшити витрати клієнтів на користування вагонами та забезпечити оперативнішу доставку вантажів [4].

Підвищення швидкісних показників, у поєднанні з оптимізацією графіків руху та використанням цифрових інструментів управління перевезеннями створює передумови для подальшого зростання ефективності логістичних процесів. Це сприяє формуванню нової транспортної моделі, на основі системних вантажних терміналів, орієнтованої на клієнта, що підвищує конкурентоспроможність залізничного транспорту в умовах обмежених ринків і зростання витрат [2].

Перевезення будівельних матеріалів залишаються одним із найдинамічніших напрямів вантажної роботи АТ «Укрзалізниця», що забезпечує стабільність транспортної системи та підтримує реалізацію проєктів національного відновлення. Збільшення обсягів перевезень, впровадження нових швидкісних нормативів і цифрових технологій до управління рухомим складом свідчать про поступовий перехід до ефективнішої, технологічно оновленої моделі вантажних перевезень. Надалі важливими завданнями залишаються вдосконалення технологічного процесу, скорочення простоїв вагонів, підвищення рівня контейнеризації та посилення взаємодії між залізничними підприємствами та будівельними організаціями. Реалізація цих заходів сприятиме не лише підвищенню конкурентоспроможності залізничного транспорту, а й зміцненню його ролі як ключової ланки у процесі післявоєнного відновлення України.

[1] Касіян В. Вантажні перевезення залізницею в Україні за пів року впали майже на 12%. LIGA.net. URL: <https://biz.liga.net/ua/amp/all/transport/novosti/vantazhni-perevezennia-zaliznytseiu-v-ukraini-za-piv-roku-vpaly-mayzhe-na-12> (дата звернення: 28.10.2025).

[2] Ломотько Д.В., Ільчишин В.М., Ломотько М.Д., Кудряшов Д.В. Формування термінальної системи розподілу товарів при їх перевезенні залізницею. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2024. – Вип. 210. – С. 217 – 226. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320854>

[3] Рожкова С. Укрзалізниця повертається на ринок щебеню: понад 1,3 млн тонн у 2025 році через Prozorro.Продажі | Новини від Smarttender. URL: <https://smarttender.biz/novyny/view/ukrzaliznitsya-povertayetsya-na-rinok-shchebenyu-ponad-1-3-mln-tonn-u-2025-rotsi-cherez-prozorro-prodazhi/> (дата звернення: 28.10.2025).

[4] Укрзалізниця підвищує середньодобову швидкість вантажних вагонів: зменшення витрат для клієнтів. Сайт АТ «Укрзалізниця». URL: https://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/667400/ (дата звернення: 28.10.2025).

[5] Interfax-Ukraine. "Укрзалізниця" у першому півріччі перевезла 14,4 млн тонн будматеріалів. Інтерфакс-Україна. URL: <https://interfax.com.ua/news/general/1092189.html> (дата звернення: 28.10.2025).

УДК 656.223:212.5

ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ВЗАЄМОДІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ ІЗ ПІД'ЇЗНИМИ КОЛІЯМИ ПІДПРИЄМСТВ В УКРАЇНІ

MAIN PROBLEMS OF INTERACTION BETWEEN MAIN RAILWAYS AND TRACKS OF ENTERPRISES IN UKRAINE

*Докт. техн. наук Д.В. Ломотько, маг. Р.Ю. Романов, маг. К.І. Гаманюк,
бакалавр Ю.М. Власова
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Dr. Tech. Sc. D. Lomotko, masters. R. Romanov, K. Gamanyuk,
bachelor Yu. Vlasova
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Значну частину вантажів різного призначення залізничний транспорт отримує від промислових підприємств та доставляє до пунктів призначення на під'їзні колії. Згідно з показниками галузевої діяльності, роль залізничних вантажних

перевезень в Україні демонструє стійке зростання, особливо після запровадження воєнного стану. Однак, у сфері управління взаємодією магістрального залізничного транспорту та під'їзних колій, які є базовою складовою вантажоутворення, існують суттєві проблеми. Передусім слід відзначити значний рівень зношеності інфраструктури. Більшість під'їзних колій перебуває у приватній власності, проте їхні власники часто не мають необхідних фінансових ресурсів для забезпечення їх відповідності технічним стандартам магістральної мережі. Це спричиняє тривалі простої рухомого складу, низьку пропускну здатність станцій примикання, порушення строків доставки вантажів та інші негативні наслідки. Крім того, відсутність належної автоматизації, дефіцит сучасних систем сигналізації та блокування значно погіршує показники безпеки руху.

Не зважаючи на те, що відносини між промисловими підприємствами— власниками під'їзних колій, контрагентами та акціонерним товариством «Укрзалізниця» регулюються договірними зобов'язаннями, конфлікти в сфері доступу до інфраструктури, тарифних питань, показників простою та технічного обслуговування трапляються досить часто. Крім того, відсутність єдиного цифрового реєстру під'їзних колій, ефективної системи диспетчеризації та координації даних між різними власниками створює значні труднощі для оптимального планування логістичних процесів.

Основними бар'єрами для впровадження сучасних логістичних технологій є фінансові та інвестиційні обмеження: власники під'їзних колій змушені самостійно покривати витрати на їх утримання, модернізацію та реконструкцію в умовах практично повної відсутності державної підтримки. Зі свого боку, АТ «Укрзалізниця» демонструє недостатню готовність до стимулювання модернізації або інтеграції із магістральною мережею шляхом застосування цифрових платформ.

У рамках пріоритетних завдань для АТ «Укрзалізниця» слід розглянути питання інтеграції концепції “останньої милі” у загальну систему планування вантажних перевезень через включення під'їзних колій до єдиного інформаційного середовища.

Залізниці України мають стратегічний потенціал, але потребує масштабної модернізації під'їзних колій і цифрової інтеграції. У цих умовах корисним буде застосування закордонного досвіду. Основні залізничні оператори у США демонструють гнучкість і конкуренцію між видами транспорту, що знижує ризики затримки вантажу та надає можливість вантажовласнику обирати між альтернативними варіантами. Уряд та залізниці Канади сумісно інвестують в транспортні коридори, з акцентом на порти та портову інфраструктуру. Залізниці Австралії фокусуються на регіональних проєктах, що дозволяють збільшити обсяг перевалки та зменшити залежність від автотранспорту.

Таким чином, ініціативи спільного фінансування можуть сприяти оновленню інфраструктури; державна програма співфінансування модернізації під'їзних колій на умовах 50/50 разом із підприємствами-власниками виглядає перспективно. Також важливо залучити підтримку зовнішніх інвесторів, таких як

Європейський інвестиційний банк (ЄІБ), Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР), а також USAID для вдосконалення логістичних вузлів. У післявоєнний період розвиток високого рівня стандартизації, інтеграція залізничної інфраструктури з портами та індустриальними зонами становитиме один із ключових напрямів розвитку взаємодії між під'їзними коліями та магістральним транспортом в Україні.

- [1] Ломотько Д.В., Ільчишин В.М., Афанасова О.Ф., Нестеренко О.О. Удосконалення технології функціонування зернових логістичних ланцюгів за участю залізничного транспорту. Залізничний транспорт України. – 2025. - № 2. – С. 4-11. DOI: 10.34029/2311-4061-2025-155-2-04-11
- [2] Ломотько Д.В., Ільчишин В.М., Ломотько М.Д., Кудряшов Д.В. Формування термінальної системи розподілу товарів при їх перевезенні залізницею. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2024. – Вип. 210. – С. 217 – 226. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320854>
- [3] Kwateng, K.O., Tetteh, F.K., Asare, N. and Manu, D. (2022), "Can intercluster coordination mediate the relationship between supply chain flexibility and humanitarian supply chain performance?", Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-09-2021-0086>

УДК 656.223

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДО СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДИСПЕТЧЕРА ЛОГІСТА

PROSPECTS OF IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO THE DECISION SUPPORT SYSTEM OF THE LOGISTICS DISPATCHER

PhD, асистент М.Д. Ломотько

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

M.D. Lomotko, Ph

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

В наш час активно впроваджуються перспективні технології пов'язані з штучним інтелектом (ШІ). Штучний інтелект – це процес використання роботів для імітації людського інтелекту з метою виконання різноманітних завдань, які раніше були властиві тільки людям. ШІ активно використовують для вирішення різних завдань: від чат ботів до управління складними системами, таких як морський порт. ШІ може навчатися, що є великою перевагою при прийнятті рішень [1]. ШІ активно проваджується в Німецьку залізницю для управління та покращення якості роботи пасажирських та вантажних перевезень [2]. Дана активність може послугувати прикладом для розвитку Української залізниці в напрямку ШІ.

Тому дивлячись на переваги ІІІ запропоновано впровадження його в систему підтримки прийняті рішень диспетчера-логіста (СППР-ДЛ). Диспетчер-логіст – це особа яка приймає рішення при розробці плану формування поїздів на короткочасному проміжку часу та слідкує за його виконання в реальному часі, а також визначає состави поїздів, розробляє графік їх руху, формує вартість перевезення вантажів на основі «зведеної таблиці готовності» складу поїздів. До обов’язків диспетчера логіста входить:

- Планувати дату та час відправлення поїзда зі станції формування, обирати проміжні станції та планувати дату та час прибуття поїзда на станцію призначення;

- Обробляє дані з використанням СППР-ДЛ;
- Слідкує за станом поїзда в реальному часі;
- Приймає оперативні рішення для регулювання руху на полігоні.

Сама система СППР при диспетчері логісті виконує наступні функції:

- Обробляє дані, що поступають від інших підсистем управлінського та технологічного характеру для вибору та прийняття рішення диспетчеру-логісту;
- Взаємодіє з системою АСК ВП УЗ-Є (Єдина автоматизована система керування вантажними перевезеннями АТ «Укрзалізниця»;
- Розширює комплекс задач, що вирішуються на рівні станції, так і на рівні філії компанії-перевізника.

Більш детальна інформація про СППР-ДЛ наведено в даній дисертації [3].

Впровадження ІІІ в СППР-ДЛ надасть велику кількість переваг, наприклад:

- Автоматизація процесів за допомогою ІІІ, тобто машина зможе брати на себе деякі функції диспетчера-логіста. Наприклад, спілкування з клієнтами компанії-перевізника та прогнозування орієнтовного часу прибуття їх вантажу на станцію призначення. Автоматизація рутинних завдань та процесів дозволить диспетчеру-логісту зосереджуватись на перевезеннях в реальному часі та слідкувати за ними;

- Створення конкретних пропозицій, тобто машина обирає єдиний вигідний варіант як для клієнта, так і для компанії-перевізника основуючись на інтересах сторін. Ці дані ІІІ буде збирати при його використанні, що означає з кожним клієнтом підвищення його ефективності. Чим ефективніше працюватиме ІІІ, ти більше задоволених клієнтів компанії-перевізника, що вплине на зростання їх кількості;

- Впровадження предикативної аналітики, тобто ІІІ зможуть прогнозувати тенденції та поведінку клієнтів. Це дозволить краще розподілити ресурси та стратегічне планування на станціях та взагалі по всій системі.

- Допомога при захисту даних, тобто ІІІ завдяки аналізу та навчанню можуть вирішувати та виявляти проблеми безпеки. Вчасне виявлення та усунення небезпеки посилить цілісність системи та захист даних користувачів.

Отже, дана технологія ІІІ дозволяє СППР-ДЛ розширити своє використання в області безпеки, автоматизації процесів, предикативної аналітики та надає конкретні пропозиції. ІІІ дозволить компанії-перевізника економити ресурси та збільшувати клієнтську базу.

- [1]. Лужко Ю. Що таке штучний інтелект? *Paypro Global*. 2025. 4 лютого. URL: <https://payproglobal.com/uk/відповіді/що-таке-штучний-інтелект/>;
- [2] Німецька залізниця впровадить штучний інтелект для вантажного транспорту. Українські національні новини. 2023. 5 липня. URL: <https://unn.ua/news/nimetska-zalznitsya-vprovadit-shtuchniy-intelekt-na-sviy-vantazhniy-transport>;
- [3]. Ломотько М.Д. Удосконалення технології доставки вантажів залізничним транспортом в умовах конкурентного середовища : дис. ... доктор філософії: 10.05.2024. Харків, 2024. 233 с.

УДК 656.073

СУЧАСНИЙ СТАН МИТНОЇ ТА ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

THE CURRENT STATE OF CUSTOMS AND LOGISTICS INFRASTRUCTURE

*Н.О. Лужанська, канд.техн.наук, В.В. Федорович
Національний транспортний університет (м. Київ)*

*N.O. Luzhanska, Ph.D (Tech.), V.V. Fedorovych
National Transport University (Kyiv)*

Масові обстріли та ракетні удари з боку країни-агресора, пошкодження транспортних шляхів і енергетичних систем, економічна нестабільність та недосконала антикорупційна політика суттєво змінили стан критичної інфраструктури в Україні. Варто зазначити, що до об'єктів критичної галузі відносять сотні систем, які щодня забезпечують життєдіяльність держави. Згідно нормативно-правовому документу, зокрема Закону України «Про критичну інфраструктуру» до стратегічно важливих об'єктів належать: паливно-енергетичний сектор (електроенергетика, вугільно-промисловий комплекс, нафтова та газова промисловість, тощо); харчова промисловість та агропромисловий комплекс; охорона здоров'я (фармацевтична промисловість, державні та приватні лікарні); транспортна інфраструктура(порти, дороги, залізниця, аеропорти та транспортні мережі); фінансовий сектор; сектор оборони; системи життєзабезпечення (постачання гарячої води, теплової енергії, централізоване водовідведення та питне водопостачання); цифрові технології. Ці та інші галузі критичної інфраструктури відіграють ключове значення для суспільства [1].

Оцінюючи стан життєво важливої інфраструктури в Україні слід зауважити, що найбільших руйнувань зазнала енергетична промисловість. За даними Міненерго України близько 75% об'єктів відновлюваної енергетики втратили працездатність внаслідок війни. Крім того варто не забувати про транспортну інфраструктуру, котра зазнала значних пошкоджень, що призвело до порушення логістичних ланцюгів та транспортних процесів. Руйнувань

зазнали 23,8 тис. км доріг та 305 мостів і мостових переходів державного, місцевого і комунального значення [2]. Також пошкоджено значну кількість залізничних колій, що має серйозний вплив на логістику, оскільки залізничний транспорт забезпечує близько 80% вантажних та 50% пасажирських перевезень. Акцентуючи увагу на митній та логістичній інфраструктурі є підстави вважати, що найбільші проблеми з якими зіштовхуються ці складові транспортної системи стосуються руйнувань об'єктів внаслідок воєнних дій. Зазнала суттєвих пошкоджень і портова інфраструктура через руйнування і блокаду морських портів. За 2023 рік прямі втрати цього сектора переважають 496 млн. дол. Окрім того від початку повномасштабного вторгнення було завдано шкоду в щонайменше чотирьох портах [3].

Основними труднощами в роботі митних та логістичних процесів є обмежена пропускна спроможність пунктів пропуску, ускладнення експортно-імпортних операцій, недостатня кількість логістичних хабів та складів тимчасового зберігання, фізичне пошкодження або знищення митних пунктів і терміналів. Ці та інші зазначені труднощі призводять до значних погіршень роботи митної та логістичної інфраструктури. У зв'язку з викладеним вище виникають нові проблеми у сфері міжнародної торгівлі. Саме високий ризик загрози руйнувань транспортної інфраструктури та нестабільна робота логістичних маршрутів відштовхують від України потенційних міжнародних партнерів і інвесторів. Є очевидним, що багато європейських та азійських компаній переорієнтувалися на більш стабільні ринки. Внаслідок цього зменшується кількість потенційних контрагентів і зростає рівень конкуренції. На противагу тому, значна кількість міжнародних підприємств залишилась на українському ринку і продовжує співпрацю попри складні умови.

Для більш ефективної роботи логістичних ланцюгів та запуску повноцінної роботи портової інфраструктури потрібна значна кількість інвестицій та реорганізація діяльності портів з метою інтеграції в міжнародні логістичні ланцюжки [4]. У цьому аспекті варто взяти до уваги співпрацю з міжнародними організаціями котра через розвиток зовнішньоторговельних зв'язків надає додаткові ресурси для відновлення митної та логістичної інфраструктури. Розглядаючи заходи, які може вжити держава для підтримки та розвитку транспорту та логістики можна зазначити саме реконструкцію портів і залізничних вузлів, забезпечення прозорості і зменшення корупційних ризиків, зменшення часу термінів митного оформлення, створення нових логістичних хабів та забезпечення швидкого відновлення внаслідок пошкоджень, кібератак чи руйнувань. Слід зазначити, що розвиток транспортної інфраструктури відбувається, але поступово і повільно. В результаті у 2022 році розпочалась співпраця України та Молдови в цілях розвитку залізничного сполучення. Також слід відмітити запуск нового маршруту залізничним транспортом Київ-Бухарест, який розпочав свою роботу 10 жовтня 2025 року. Разом із тим планується будівництво нового логістичного хабу у Вінниці, який буде введений в експлуатацію вже на початку 2027 року.

Слід зазначити важливість розвитку приватних об'єктів митної та логістичної інфраструктури, оскільки саме вони відіграють ключову роль для забезпечення ефективного функціонування транспортних та логістичних систем. Українським підприємствам кожного дня доводиться адаптуватися до сучасних реалій. Для більш ефективної підтримки українського логістичного бізнесу доцільно опиратися на досвід інших країн. Показовим у цьому контексті є приклад країни Ізраїль, котра робить усе можливе для забезпечення ефективного функціонування транспорту та логістику навіть в умовах сьогодення. Згідно з цим, можна виокремити декілька яскравих прикладів та ідей для успішного функціонування транспортних підприємств, а саме впровадження системи кібербезпеки та резервування даних, підключення портів та терміналів до залізничної мережі для зменшення навантаження на дороги, створення логістичних центрів на суші, які інтегрують морські порти та залізницю та приватизація портів [5, 6]. Зазначені чинники зможуть допомогти у розвитку українським логістичним підприємствам і саме реалізація наведених вище підходів може стати корисним інструментом для швидкої адаптації в умовах війни.

[1] Закон України «Про критичну інфраструктуру №1882-IX від 16.11.2021 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>

[2] Микитенко В.В Повоєнне відновлення та розвиток критичної інфраструктури України// Вісник економічної науки України.-2023.р.-С.126

[3] Магомедов А.О Аналіз втрат і руйнувань інфраструктури України, що підлягає відновленню// Таврійський науковий вісник- 2023 р.-С.66

[4] Портна О.В., Магдисюк С.В. Удосконалення управління розвитком критичної інфраструктури України на регіональному рівні.//Проблеми Економіки №1(63),2025.-

[5] Tanenbaum G. Israel to Establish “Land Port” to Reduce Cost of Living-14.08.2025.-Режим доступу: <https://israel.com/breaking-only/israel-to-establish-land-ports-to-reduce-cost-of-living>

[6] Haifa Bay Port Receives Direct Connection to Israel’s Rail Network [Електронний ресурс]- 10.04.2025.-Режим доступу: https://www.railway.supply/haifa-bay-port-receives-direct-connection-to-israels-rail-network/?utm_sourc

СИСТЕМНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВО ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ І АГЛОМЕРАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА

SYSTEMIC BASIS OF ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE INTERACTION OF RAILWAY TRANSPORT AND THE AGGLOMERATION ENVIRONMENT

*А.О. Лямзін д.т.н., проф., О.Є. Соколова к.е.н., доц.
Державний університет «Київський Авіаційний Інститут» (м. Київ)*

*A.O. Lyamzin, Doctor of Technical Sciences, Professor,
O.E. Sokolova, Candidate of Economic Sciences, Assoc. Prof.
State University «Kyiv Aviation Institute» (Kyiv)*

Розвиток транспортної системи агломерацій повинен враховувати постійне зростання соціальних та економічних потреб, пов'язаних із перевезенням населення, постачанням сировини та доставкою промислової продукції. Серед усіх видів транспорту вагоме місце належить залізничному, адже він справляє суттєвий вплив на функціонування та просторовий розвиток агломерацій. Це, у свою чергу, обумовлює необхідність вирішення низки екологічних проблем, які виникають у зв'язку з експлуатацією залізничної інфраструктури.

Згідно зі «Стратегією розвитку туризму і курортів в Україні», нормативно-правова база орієнтована на впровадження інструментів для забезпечення сталого розвитку рекреаційної та туристичної сфер [1].

Аналіз наявних досліджень свідчить, що в більшості агломерацій спостерігається недостатній рівень контролю за впливом залізничних перевезень на стан довкілля, що проявляється у забрудненні атмосферного повітря, водних об'єктів та рекреаційних територій.

Одним із найбільш відчутних негативних чинників діяльності залізниці у межах агломерацій є шумове навантаження. Постійний рух поїздів спричиняє акустичний дискомфорт для мешканців прилеглих житлових кварталів, а також негативно впливає на стан довкілля.

Дослідження показують, що шум від залізничного транспорту має комплексний характер і складається з декількох складових: *рухомий склад; контакт «колесо – рейка»*, що супроводжується високим рівнем вібрацій та скреготом, особливо на криволінійних ділянках шляху; *сигнальні пристрої та станційні оголошення; робота допоміжної інфраструктури*.

Надлишковий рівень шуму негативно впливає на здоров'я людини: викликає розлади сну, підвищену втомлюваність, дратівливість, знижує працездатність, а при тривалому впливі може призвести до погіршення слуху та розвитку серцево-судинних захворювань.

Для агломерацій, проблема шумового забруднення є особливо актуальною. Поєднання інтенсивних залізничних перевезень із рекреаційним призначенням території створює суперечність: з одного боку, місто виконує важливу транспортно-логістичну функцію, а з іншого – має забезпечувати сприятливі умови для відпочинку та оздоровлення населення.

Додаткову небезпеку становить те, що акустичні коливання поширюються на значні відстані та здатні накладатися на природні звуки рекреацій, змінюючи їхній природний фон. Це призводить до зниження рекреаційної привабливості і може негативно впливати на розвиток туристичної інфраструктури. Мінімізація впливу шуму від залізничного транспорту є важливим завданням міської екологічної політики.

До технічних засобів зниження шуму належать: *шумоізоляційні бар'єри* (екрани з бетону, скла або спеціальних звукопоглинальних матеріалів, які встановлюють уздовж колій); *озеленення* (створення захисних зелених смуг, здатних частково поглинати акустичні хвилі та одночасно покращувати мікроклімат території); *реконструкція колій* (заміна зношених рейок, використання пружних рейкових скріплень та гумових прокладок для зменшення вібрацій); *модернізація рухомого складу* (застосування сучасних гальмівних систем, поліпшення аеродинаміки вагонів і локомотивів, використання антивібраційних матеріалів).

Організаційні заходи включають: *регулювання руху поїздів* (обмеження швидкості на окремих ділянках, особливо в межах міста та поблизу зон відпочинку); *оптимізацію графіків руху* (зменшення кількості нічних рейсів); *перенесення вантажних станцій* за межі рекреаційних зон, щоб зменшити вплив на житлову та курортну забудову.

Для агломерацій, де розташовані рекреації, особливого значення набуває створення локальних систем шумозахисту. Це можуть бути: облаштування спеціальних зелених насаджень уздовж залізничних ліній, що відокремлюють курортні території від транспортних коридорів; використання ландшафтного планування, коли природні підвищення рельєфу або штучні насипи виконують функцію акустичного бар'єра; комплексний моніторинг шумового фону, який дозволяє своєчасно виявляти перевищення гранично допустимих рівнів і планувати заходи реагування.

Застосування таких рішень сприяє не лише покращенню умов проживання місцевого населення, а й підвищенню конкурентоспроможності великих міст як туристичних центрів.

[1] Войцицький А. П. Техноекоекологія: підручник / Войцицький А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М.; за ред. В. М. Боголюбова. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 533 с.

**ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ
ШЛЯХАМИ СПОЛУЧЕННЯ УКРАЇНИ ЗА УМОВИ УРАЖЕННЯ
ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

**APPROACHES TO OPTIMIZING THE TRANSPORTATION OF
CARGOES BY ROADS IN UKRAINE IN THE EVENT OF DAMAGE TO
TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

*Канд. техн. наук Г.О. Примаченко, аспірант Г.С. Пащенко
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Н.О. Prymachenko, PhD (Tech.), post graduate G.S. Pashchenko
Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

Участь України у міжнародних контейнерних перевезеннях є досить важливим фактором для майбутнього економічного відновлення та розвитку держави. Найбільш розвинені країни Європи, Азії та США мають потужну транспортну інфраструктуру для перевезення вантажів у контейнерах як всередині країн, так і у міжнародному сполученні. Для України шляхи переміщення вантажів всередині країни та до її кордонів є значним елементом, що впливає на розвиток міжнародних контейнерних перевезень. У 2000-2010-х роках було зроблено досить вагомий внесок у розвиток залізничної мережі. Тоді з'явилася електрифікація на багатьох важливих напрямках. Втім, внаслідок війни виникла необхідність у альтернативних маршрутах, особливо після ударів по інфраструктурним об'єктам. Тому слід розглянути додаткові можливості швидкого перенаправлення транспортних потоків із використанням різних видів транспорту та шляхів сполучень сусідніх країн.

Для півдня країни одною з альтернатив є залізнична мережа Молдови. Вона має однакові з українськими ширину колії та стандарти залізничної інфраструктури. Це могло б спростити та прискорити вантажні перевезення через цю країну. Але через незадовільний стан колійного та локомотивного господарства цієї країни потенціал перевезень залишається нерозкритим. Молдовські залізниці мали проблему, пов'язану з нестачею робочих локомотивів, через що деякі вантажні поїзди перевозилися локомотивами Укрзалізниці. У 2025 році стало відомо про ремонт молдовської ділянки лінії то портів на Дунаї, завдяки чому логістичний ланцюг може частково замінити порти Великої Одеси та Ізмаїла [1].

Транспортне сполучення центральної та східної частини країни знаходиться під більшою загрозою. Через близькість до лінії фронту та віддаленість від кордонів залізничні перевезення мають значно більший ризик припинення у разі ударів ракетами або дронами. Наразі Укрзалізниця може задіяти резервні тепловози, якщо відбудеться пошкодження тягових підстанцій [2]. Але ресурс таких локомотивів обмежений. Враховуючи високу загрозу ударів по локомотивних депо, дані тепловози можуть бути виведені з ладу, а їх ремонт

може зайняти певний час. Ці локомотиви можливо розміщувати у більш безпечних місцях, але в такому випадку суттєво збільшиться час на їх оперативну заміну. До того ж, при великих пошкодженнях залізничної інфраструктури заміна на резервні локомотиви не матиме сенсу. Можливо перенаправити транспортні потоки іншими шляхами, але це також займатиме багато часу.

Для доставки пасажирів Укрзалізниця разом з місцевою владою організовує автобусні трансфери. Подібну схему можливо використовувати для термінових вантажів. В Україні основні автомобільні магістралі проходять на певному віддаленні від залізничних ліній. Але існують певні місця, у яких вони зближуються або перетинаються.

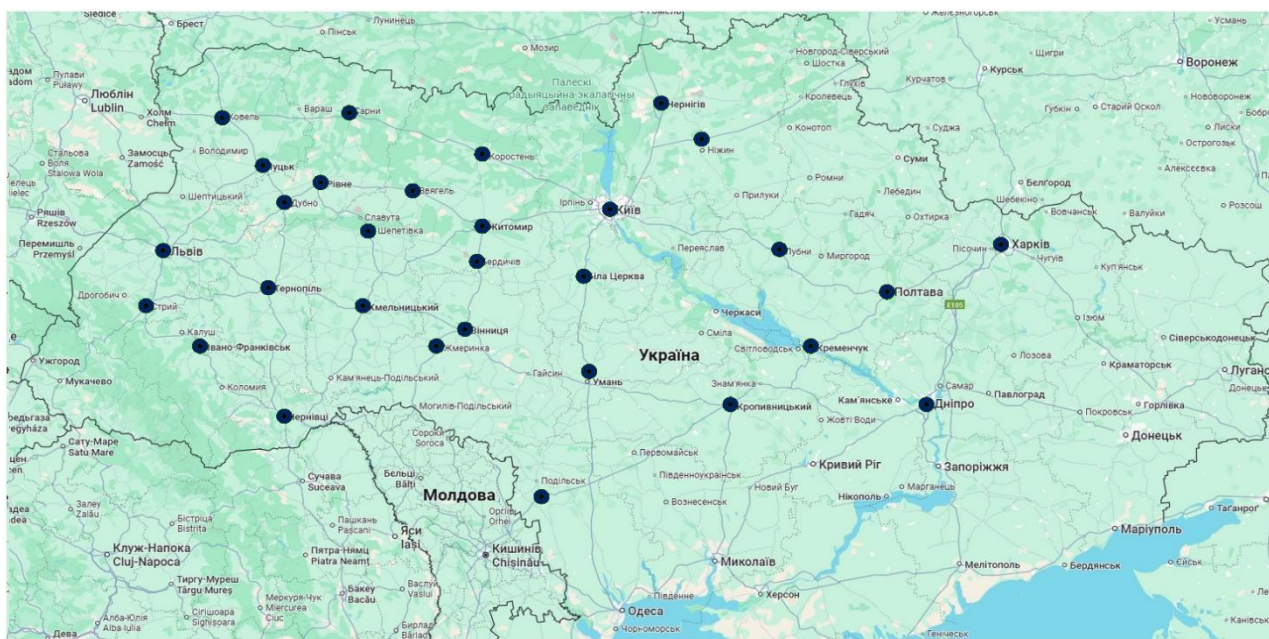


Рис. 1. Точки перетину основних залізничних та основних автомобільних магістралей у центральній та західній частинах України (основа – Google Maps)

Ці точки можуть бути використані для оперативного перевантаження термінових вантажів. Слід зазначити, що для заміни одного вантажного поїзда може знадобитися понад 150 вантажних фур, для яких досить проблематично знайти як водіїв, так і рухомий склад. Більшість вантажних автомобільних перевезень здійснюється приватними підприємствами, через що можуть виникнути додаткові складнощі. Але якщо мова буде йти про важливі вантажі, від швидкості доставки яких залежить життя та здоров'я громадян, то можливо передбачити перевантаження частини таких товарів на оперативний автотранспорт. Таким чином, поліпшиться як логістика термінових вантажів, так і гнучкість транспортної інфраструктури та її пристосованість до швидких змін у разі надзвичайних ситуацій.

[1] Українські приватні локомотиви помічені на ремонті залізниці в Молдові (фото). Центр транспортних стратегій. URL: https://cfts.org.ua/news/2025/07/08/ukranski_privatni_lokomotivi_pomicheni_na_remonti_zalznitsi_v_moldovi_foto_83468 (дата звернення: 07.11.2025).

[2] Ukrinform. Після обстрілу Чернігівщини затримуються поїзди - задіяли резервні тепловози. Укрінформ - актуальні новини України та світу. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/4042156-pisla-obstrilu-chernigivsini-zatrimuutsa-poizdi-zadiali-rezervni-teplovozi.html> (дата звернення: 10.11.2025).

УДК 656.078.8:519.876.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ У ПАКУВАЛЬНІЙ ТАРІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

IMPROVEMENT OF LIQUID CARGO TRANSPORT TECHNOLOGY IN PACKAGED CONTAINERS UNDER MODERN CONDITIONS

канд. техн. наук С.М. Продащук

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

S. Prodashchuk PhD (Tech.)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

У сучасних умовах воєнного стану та відновлення економіки України особливої актуальності набувають питання підвищення ефективності транспортно-логістичних процесів, зокрема перевезення наливних вантажів [1]. Ця категорія вантажів охоплює широкий спектр продукції – від паливно-енергетичних ресурсів і хімічних рідин до харчових концентратів і технічних розчинів, що вимагають спеціальних умов транспортування, зберігання та контролю.

Перевезення наливних вантажів у пакувальній тарі (флексітанках, бочках, ІВС-контейнерах) стає все більш поширеним завдяки універсальності, мобільності та можливості адаптації до різних видів транспорту. Проте ефективність таких перевезень залежить від багатьох взаємопов'язаних чинників – технічних, економічних, кліматичних, організаційних і нормативних. Тому виникає необхідність у створенні науково обґрунтованої моделі, яка б дозволила комплексно оцінити всі ці фактори та визначити оптимальну технологію перевезення.

Аналіз джерел [2-4] показав, що існуючі моделі логістичної оптимізації здебільшого орієнтовані на загальні процеси, ризики та маршрутизацію. Проте вони не враховують специфіку перевезень наливних вантажів, тип тари, кліматичні умови та повні витрати у логістичному ланцюзі.

Формалізовано процес перевезення наливних вантажів залежно від обсягу перевезення, типу тари та параметрів логістичної системи. Запропоновано вдосконалену математичну модель визначення оптимальної технології перевезення наливних вантажів у пакувальній тарі – флексітанках, бочках та ІВС-контейнерах. Її особливістю є комплексний підхід до врахування повних витрат, що включають не лише прямі логістичні витрати, а й часові, ризикові,

інфраструктурні, метеорологічні та людські фактори. Такий підхід дозволяє оцінити ефективність різних технологій перевезення з позиції мінімізації витрат і вибрати найраціональнішу з них.

На оптимальність технології перевезення впливає обсяг вантажу та кількість циклів його перевезення; наявність і доступність пакувальної тари; інфраструктурні обмеження на маршрутах; рівень цифровізації логістичної системи (TMS, GPS, е-документообіг) ; кліматичні та сезонні умови, що можуть впливати на стан тари та якість вантажу; людський фактор – ефективність персоналу, управління та планування; регуляторні й екологічні витрати, пов'язані з дотриманням законодавчих вимог і міжнародних угод.

Також в моделі враховано коефіцієнти доступності інфраструктури та рівня цифрової інтеграції. Вони відображають сучасний підхід до управління перевезеннями, де автоматизація й технічна готовність мають вирішальний вплив на економічну ефективність.

Розроблена модель дозволяє порівняти різні варіанти транспортування одного й того самого вантажу з урахуванням усіх чинників – від технічних і організаційних до природних і нормативних. На основі моделювання визначено, що найкращі результати за критерієм мінімізації повних витрат досягаються при балансі між типом тари, обсягом перевезення, рівнем цифровізації процесів та регіональними умовами експлуатації.

Результати дослідження свідчать, що оптимальна технологія перевезення досягається при збалансуванні типу тари, обсягів перевезень, цифровізації процесів та інфраструктурних можливостей.

Таким чином, удосконалена математична модель може бути використана для вибору оптимальної технології перевезення наливних вантажів у пакувальній тарі; прогнозування витрат і ризиків при зміні маршруту, сезону або типу тари; планування інвестицій у розвиток інфраструктури та цифрових рішень; удосконалення системи управління безпекою перевезень.

Запропонований підхід сприяє формуванню сучасної, стійкої та конкурентоспроможної системи перевезень наливних вантажів в Україні.

[1] Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Text>

[2] Digital Twins in Logistics: Requirements, Application and Potentials. URL: https://www.researchgate.net/publication/372607650_Digital_Twins_in_Logistics_Requirements_Application_and_Potentials

[3] Decision-making and logistics for energy-related liquid bulk within the port URL: <https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/241773432/DECISION-MAKING-AND-LOGISTICS-FOR-ENERGY-RELATED-LIQUID-BULK-WITHIN-THE-PORT.pdf>

[4] Javanpour S., et al. Sustainable Multi Modal Transportation and Routing focusing on Costs and Carbon Emissions Reduction. URL: https://www.researchgate.net/publication/388657635_Sustainable_Multi-Modal_Transportation_and_Routing_focusing_on_Costs_and_Carbon_Emissions_Reduction.

СТАН І НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ

STATE AND DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF MULTIMODAL TRANSPORTATION IN UKRAINE

канд. техн. наук С.М. Продашук, К.В. Лисенко
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

S. Prodashchuk PhD (Tech.), K. Lysenko
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Мультимодальні перевезення є ключовим напрямом розвитку сучасної транспортної системи, адже поєднують різні види транспорту для забезпечення доставки вантажів від місця відправлення до кінцевого пункту призначення. Вони створюють можливості для скорочення часу перевезення, зниження витрат та підвищення ефективності логістичних ланцюгів. Проте розвиток мультимодальних перевезень в Україні стикається з низкою проблем, пов'язаних із недосконалістю нормативно-правової бази.

Нормативне регулювання мультимодальних перевезень в Україні зазнало суттєвих змін після прийняття Закону України «Про мультимодальні перевезення» №3720-IX від 21 травня 2024 року [1], який став базовим документом у цій сфері. Закон визначає правові засади організації мультимодальних перевезень, статус оператора мультимодального перевезення, порядок укладання договорів і оформлення єдиного перевізного документа.

Поряд із цим законом, правове поле мультимодальних перевезень в Україні формується такими нормативними актами: Цивільним кодексом України [2], який регулює договірні відносини та відповідальність сторін; Митним кодексом України [3], що визначає порядок митного контролю й оформлення вантажів; Законом України «Про транспорт» [4], який встановлює принципи функціонування транспортної системи; законами України «Про автомобільний транспорт» [5] та «Про залізничний транспорт» [6], що регулюють діяльність перевізників; Законом України «Про транспортно-експедиторську діяльність» [7], який визначає роль експедитора у координації між видами транспорту; а також Законом України «Про транзит вантажів» [8].

Міжнародне регулювання мультимодальних перевезень базується на положеннях Конвенції ООН про міжнародне мультимодальне перевезення вантажів (1980), Конвенції про договір міжнародного дорожнього перевезення вантажів (CMR, 1956), Монреальської конвенції (1999), Правил перевезення небезпечних вантажів залізницею (RID), Міжнародного морського кодексу небезпечних вантажів (IMDG Code) та Правил Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA). Однак Конвенція ООН 1980 року не набула

широкого застосування, що створює певну невизначеність у міжнародному правовому полі мультимодальних договорів.

Основними проблемами нормативного регулювання мультимодальних перевезень в Україні є: неузгодженість і розрізненість національних нормативно-правових актів; відсутність єдиних стандартів для всіх видів транспорту та єдиного порядку оформлення перевізних документів; складність визначення відповідальності учасників при переході вантажу від одного виду транспорту до іншого; дублювання митних процедур на різних етапах мультимодального перевезення та відсутність спрощених механізмів транзиту; недостатня розвиненість мультимодальної інфраструктури – терміналів, логістичних центрів, хабів; низький рівень цифровізації транспортно-логістичних процесів.

Додатковими бар'єрами розвитку мультимодальних перевезень є технічні та екологічні аспекти. Відсутність уніфікованих технічних стандартів для контейнерів, платформ, вагонів і причепів, а також сумісності транспортних засобів різних видів транспорту знижує ефективність процесів перевалки вантажів. Недостатня увага до екологічних вимог та енергоефективності транспорту не відповідає сучасним міжнародним тенденціям сталого розвитку.

Для усунення зазначених проблем доцільно забезпечити гармонізацію національного законодавства з міжнародними стандартами, впровадження електронного документообігу, створення єдиної цифрової платформи управління мультимодальними перевезеннями, а також застосування інноваційних технологій – зокрема блокчейн-систем для відстеження вантажів і контролю за виконанням договорів.

Мультимодальні перевезення мають стратегічне значення для інтеграції України у світову транспортну систему та розвиток міжнародної торгівлі. Комплексне вдосконалення нормативної бази, модернізація інфраструктури та впровадження інноваційних рішень сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності українського транспортного комплексу та розвитку ефективних логістичних мереж у європейському та глобальному просторі.

[1] Закон України «Про мультимодальні перевезення». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text>

[2] Цивільний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>

[3] Митний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17#Text>

[4] Закон України «Про транспорт». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text>

[5] Закон України «Про автомобільний транспорт». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text>

[6] Закон України «Про залізничний транспорт». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/273/96-%D0%B2%D1%80#Text>

[7] Закон України «Про транспортно-експедиторську діяльність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1955-15#Text>

[8] Закон України «Про транзит вантажів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1172-14#Text>

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТЕЙНЕРНИХ БЛОК-ПОТЯГІВ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО І
МОРСЬКОГО ТРАСПОРТУ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**APPLICATION OF CONTAINER BLOCK TRAIN TECHNOLOGY TO
INCREASE THE EFFICIENCY OF THE INTERACTION OF RAILWAY
AND SEA TRANSPORT IN INTERMODAL TRANSPORTATION**

Д.В. Тарасенко, канд. техн. наук, доцент В.М. Прохоров

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

D.Tarasenko, V.Prokhorov, PhD(Tech), docent

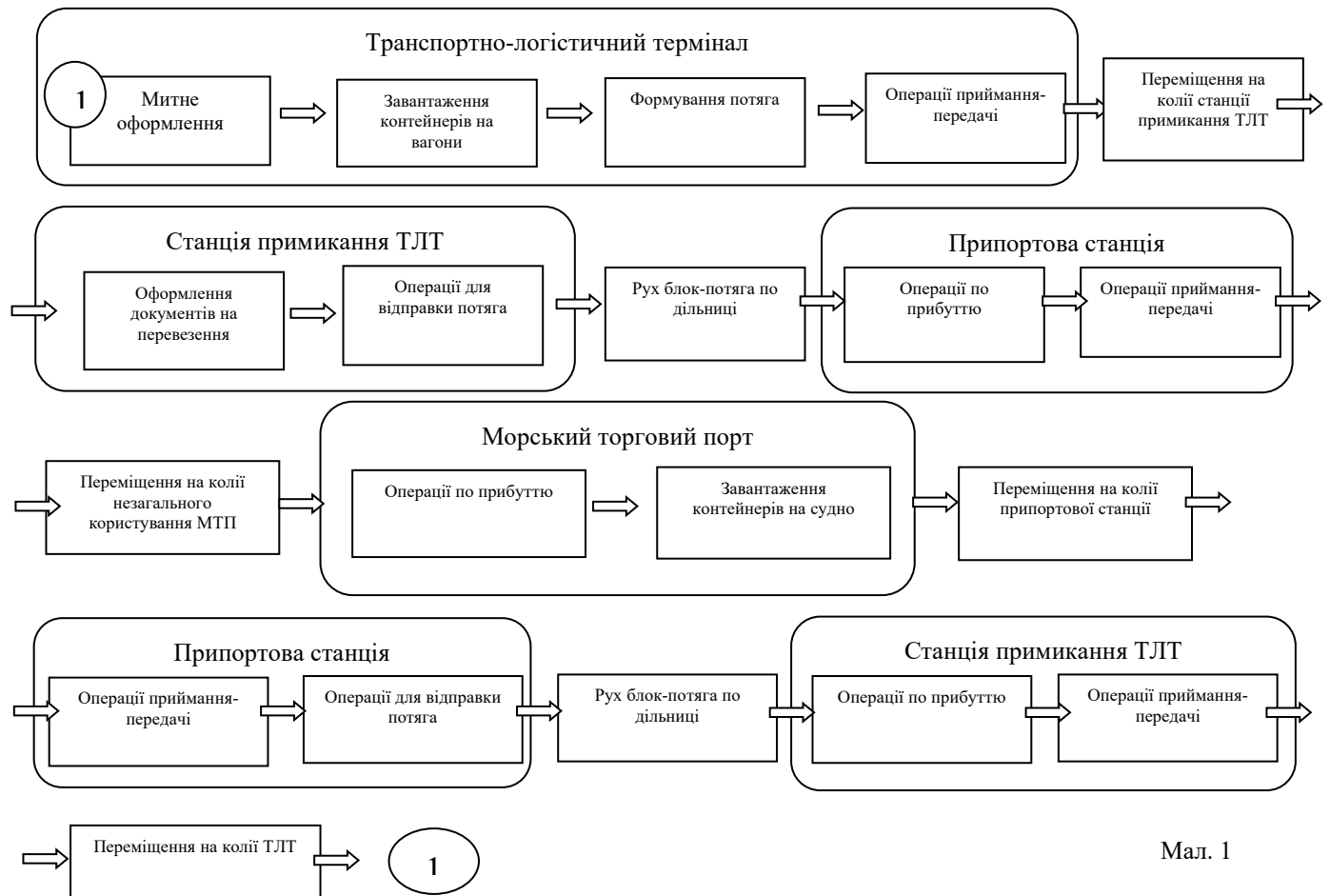
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Аналізуючи досвід контейнерних інтермодальних перевезень як у нашій країні так і за кордоном, можна дійти висновку, що найбільш раціональним варіантом для обробки контейнерного вантажопотоку через морські торгові порти є будівництво контейнерних транспортно-логістичних терміналів, так звані тилові порти і застосування технології блок-потягів, які доставляють вантажі в один пункт призначення – морський торговий порт і назад [1].

Контейнерний блок-потяг – це потяг, який складається з фітінгових платформ з контейнерами, який відповідає вимогам мінімальної довжини потяга, що прямує по затвердженому графіку на станцію призначення без розформування і сортування під час руху. Згідно технології організації руху блок-потягів, власник залізничної інфраструктури – АТ «Укрзалізниця» надає для контейнерного оператора, яким може бути як власник інфраструктури так і незалежний перевізник, нитку графіку і зобов'язується доставити його вагони до станції призначення згідно чіткого графіка. При цьому контейнерний оператор зобов'язується в установленний графік надати вантаж під загрузку, що дозволить спланувати роботу локомотивів і локомотивних бригад, оптимізувати графік руху потягів і ефективно використовувати пропускні спроможності.

Тилові транспортно-логістичні термінали (ТЛТ), які територіально наближені до морських торгових портів (МТП), повинні надати повний комплекс послуг щодо приймання, обробки, зберігання і накопичення вантажів. На ТЛТ повинна також бути реалізована можливість митного оформлення вантажів. При організації руху контейнерних блок-потягів між портом і тиловим терміналом, основною задачею ТЛТ є формування судових партій вантажу в контейнерах за межами порту. Таким чином, дана технологія перевезення акумулює наступні переваги перевезення залізничним транспортом: 1) дозволяє оптимізувати планування роботи вантажовідправника, контейнерного оператора, та ТЛТ ; 2) синхронізувати час прибуття контейнерних потягів і

морських суден до порту; 3) забезпечити контроль на проходженням вантажу в режимі «онлайн»; 4) розвантажити транспорту інфраструктуру в районі морських портів.



Мал. 1

На малюнку 1 відображена технологія обробки блок-потяга на різних етапах руху.

Враховуючи вищесказане, необхідно розвивати мережу транспортно-логістичних терміналів для розширення переліку напрямків для руху блок-потягів, формувати конкурентноспроможні тарифи, щоб переорієнтувати вантажні потоки з автомобільного на залізничний транспорт, організувати співпрацю з європейськими контейнерними операторами для продовження напрямків руху контейнерних блок-потягів. З розвитком необхідної інфраструктури вантажовідправники зможуть отримати своєчасні і якісні послуги з перевезення широкої номенклатури контейнеропридатних вантажів із застосуванням сучасних інтермодальних технологій.

[1] Грошев Г.М., Ванелик К.А., Шукалович Н.В. Об организации движения поездов по графику на станциях стыкования родов тока электрофицированных линий и припортовых станциях // Интеллектуальные системы на транспорте: материалы I международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2011». – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. – С. 205–212.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ ТА МИТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF FREIGHT FORWARDING AND CUSTOMS-LOGISTICS SERVICES IN UKRAINE

д-р.ф, М.П. Рой, Є.В. Компанієць, Д.К. Тарасенко
Національний транспортний університет (м. Київ)

M.P. Roi, PhD, Y.V. Kompaniets, D.K. Tarasenko
National Transport University (Kyiv)

Євроінтеграційні процеси, що відбуваються в Україні протягом останніх десятиліть, зумовлюють необхідність глибокого реформування національного митного законодавства, коригування стратегічних напрямів митної політики держави та створення сучасної нормативно-правової бази. Її метою є забезпечення сталого розвитку транспортно-митної інфраструктури та підвищення якості обслуговування суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності на рівні міжнародних стандартів [1].

У структурі транспортно-митної інфраструктури особливе місце належить транспортно-експедиторським і митно-логістичним послугам, які забезпечують управління вантажопотоками та реалізуються як державними, так і приватними суб'єктами господарювання. Ці послуги мають подвійний характер: з одного боку – властивості типових інфраструктурних послуг, а з іншого – специфічні риси, обумовлені технологічними особливостями зовнішньоторговельних операцій. Їх інфраструктурна сутність полягає в тому, що вони не створюють матеріального продукту, а формують необхідні умови для реалізації зовнішньоекономічної діяльності. Головним критерієм ефективності таких послуг є ступінь позитивного впливу на об'єкт обслуговування та рівень задоволення потреб клієнта.

Характерною ознакою транспортно-експедиторських і митно-логістичних послуг є багаторівнева просторова й часова послідовність операцій, у якій беруть участь кілька самостійних господарських суб'єктів. Одні з них відповідають за кінцевий результат, інші – за виконання проміжних логістичних функцій: транспортування, перевалку, митні формальності, зберігання, маркування тощо. Варіативність комбінацій цих операцій зумовлює потребу пошуку оптимальних схем обслуговування з урахуванням сукупних витрат і ефективності. Для цього доцільним є застосування сучасних логістичних систем управління, здатних інтегрувати технологічно й інформаційно взаємопов'язані процеси переміщення вантажів та супутніх операцій [2,3].

Зростання ролі управлінських функцій у сфері транспортно-експедиторських і митно-логістичних послуг визначає господарські структури як складні системи управління. Їх діяльність передбачає можливість формування кількох альтернативних варіантів товароруху, що відрізняються рівнем сервісу, витратами та швидкістю виконання замовлення. Такий підхід забезпечує пошук резервів підвищення ефективності логістичного обслуговування через оптимізацію маршрутів і процесів. Участь у цьому процесі численних економічно та юридично самостійних суб'єктів створює умови для розвитку конкурентного ринку послуг та побудови ефективних логістичних ланцюгів із використанням методів логістичного моделювання [4].

Реформування системи транспортно-експедиторських і митно-логістичних послуг має бути спрямоване на підвищення конкурентоспроможності, зниження собівартості обслуговування, забезпечення збереження товарів під час транспортування та зберігання, а також розширення функціональних можливостей підприємств. Важливим чинником виступає рівень якості сервісу, швидкість виконання операцій і гнучкість у реагуванні на запити клієнтів.

Розширення транспортно-митної інфраструктури та зростання обсягів зовнішньоторговельних вантажопотоків вимагають оптимізації процесів розподілу ресурсів і планування логістичних операцій. Оптимізація рішень щодо переміщення товарів забезпечує узгоджену взаємодію між усіма елементами інфраструктури, скорочення транспортної складової у вартості товару на 20–30% і підвищення загальної ефективності зовнішньоекономічної діяльності. Загалом, упорядкування експортних, імпорتنних і транзитних вантажопотоків на основі комплексної схеми розвитку транспортно-митної інфраструктури є стратегічним напрямом інтеграції України до європейського транспортного простору. Це потребує урахування міжнародного досвіду, удосконалення технологічних процесів і створення сучасних механізмів координації між державними структурами та бізнесом для надання високоякісних логістичних послуг.

[1] Озерська, Г. В. Транспортно-логістичне обслуговування міжнародних вантажних перевезень [Електронний ресурс] / Г. В. Озерська // Вісник економіки транспорту і промисловості. - 2014. - Вип. 47. - С. 34-38. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2014_47_9

[2] N. Luzhanska, Kotsiuk O., Lebid I. Technical support for freight customs complex operation. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2019. № 2 (250). С. 7-11.

[3] Luzhanska N., Kotsiuk O., Lebid I., Kravchenya I., Demchenko Ye. The influence of customs and logistics service efficiency on cargo delivery time. *Proceedings of the National Aviation University*. 2019. № 3 (80). P. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.80.14277>

[4] Wang, X., Kopfer, H., & Gendreau, M. (2014). Operational transportation planning of freight forwarding companies in horizontal coalitions. *Eur. J. Oper. Res.*, 237, 1133-1141. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.056>

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ В ПОРТАХ

SMART MANAGEMENT OF OPERATIONAL PROCESSES SI PORTS

А.В. Федоров, викладач II категорії

Чорноморський морський фаховий коледж ОНМУ (м. Чорноморськ)

A.V. Fedorov, II cat. lecturer,

Chernomorsk Maritime Applied College of ONMU (Chornomorsk)

Низький рівень координації діяльності суміжних видів транспорту в портах є однією з суттєвих проблем морських портів України. Недостатній рівень інформатизації перевантажувального процесу в портах призводить до зайвих витрат часу на підготовку рухомого складу до обробки і самої його обробки, уповільнює оформлення вантажних документів, і як наслідок - збільшує собівартість обробки рухомого складу в порту.

Згідно з прийнятою в Україні “Стратегією розвитку морських портів України на період до 2038 року” однією з задач адміністрацій портів є впровадження новітніх передових цифрових інтелектуальних систем управління перевантажувальними процесами, що сприяють автоматизації та роботизації перевантажувальних процесів на морських терміналах [1].

Метою статті є дослідження сучасного рівня автоматизації та цифровізації перевантажувальних процесів в українських портах.

Основою систем управління перевантажувальними процесами в портах можуть бути різноманітні поєднання обчислювальної техніки та програмного забезпечення; датчиків, сенсорів, систем відеоспостереження; спеціалізованих локальних, регіональних, міжнародних цифрових мереж; алгоритмів цифрового моделювання та прийняття рішень; протоколів реєстрації, обліку та передачі інформації; інтерфейсів “людина-пристрій” тощо. Ключовим елементом є саме програмне забезпечення.

Метою впровадження таких систем є автоматизація контролю та обліку перевантажувального процесу, а *основними напрямками* їх впровадження можуть бути реєстрація рухомого складу та управління його рухом в порту; ваговий контроль автомашин та вагонів; реєстрація та видача документів; розробка вантажних планів суден; лабораторні дослідження зернових вантажів, тощо [2].

Досвід іноземних портів у цій сфері надзвичайно широкий. Так, у порту Роттердам сьогодні діють три програми: “Цифровий Двійник” (програма для відстеження руху суден, інфраструктури, погодних, географічних та водних даних, [3]), платформа *PortXchange* (надає судноплавним компаніям, агентам, терміналам та іншим постачальникам послуг спільну платформу, яку вони

можуть використовувати для обміну інформацією про їхні заходи до порту, [4]) та інтегроване використання “Internet of Things” (IoT - система збору даних з сенсорів буїв, причалів, кранів, тощо про погодні умови та гідрологічні дані [5]). Подібні системи впроваджені у інших європейських портах - Гамбурзі, Антверпені, Гаврі, Саутгемптоні, Тілбері, Осло.

В портах України інтелектуальні засоби управління роботою почали застосовувати відносно недавно (2010 рік), і не так широко як у портах західної Європи. *Серед успіхів вітчизняної портової галузі слід відмітити впровадження наступних інтелектуальних систем:* автоматизованої системи управління портами у Чорноморську, Одесі, Маріупольському, Бердянському портах, порту “Південний”; модуля управління рухом автотранспорту “DocPort” в портах Одеси [6] та Одеса [7]; системи електронної черги [8]; системи PCS (PortCommunitySystem) [9]

За рівнем автоматизації та цифровізації управління транспортними та перевантажувальними процесами порти України значно поступаються західноєвропейським, але знаходяться приблизно на одному рівні з портами країн Балтії та Східного Середземномор'я. Цей рівень характеризується активним впровадженням базових необхідних цифрових засобів та інновацій, але обмежений окремими заходами зі спрощення документообігу та обміну інформацією і є далеким від повної автоматизації перевантажувальних процесів та застосування ІІІ. Покращення такого положення вимагає державної та міжнародної підтримки.

[1] URL:

<https://mtu.gov.ua/files/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%96%D0%B2%20%D0%B4%D0%BE%202038.pdf>

[2] URL: <https://ua.sudohodstvo.org/avtomatyzacziya-portiv-ukrayiny-klyuch-do-vyzhyvannya-ta-rozvytku/>

[3] URL: <https://www.axians.com/use-case/how-rotterdam-becomes-the-smartest-port-in-the-world/>

[4] URL:

<https://www.portofrotterdam.com/en/services/online-tools/portxchange>

[5] URL:

<https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/port-rotterdam-puts-internet-things-platform-operation>

[6] URL:

<https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3973645-u-travni-v-odeskomu-portu-zapracue-avtomatichna-sistema-upravlinna-logistikou-docport.html>

[7] URL:

<https://www.uspa.gov.ua/news/u-portu-pivdennej-zapracuyuvav-avtomobilnyj-modul-docport>

[8] URL:

<https://mind.ua/openmind/20253397-logistika-dlya-ukrayinskogo-zbizhzhya-yak-pracyue-elektronna-cheraga-v-morskih-portah>

[9] URL:

<https://www.uspa.gov.ua/news/docport-ampu-prezentovalo-novu-cyfrovu-systemu-na-zasidanni-koordinacijnoyi-rady-z-rozvytku-portovoyi-galuzi>

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

**INCREASING THE LEVEL OF CONTAINERIZATION IN UKRAINE'S
RAIL TRANSPORT BASED ON INTELLIGENT TECHNOLOGIES**

*О.О. Шапатіна, канд. техн. наук, Д.О. Троян, аспірант,
Д.О. Клименко, магістрант*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*O.O. Shapatina, PhD (Tech.), D.O. Troyan, postgraduate student,
D.O. Klymenko, master*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Контейнеризація є ключовим інструментом уніфікації логістичних процесів та інтеграції національної економіки у світову систему. В умовах стратегічної необхідності приєднання до транс'європейської транспортної мережі (TEN-T) та відновлення економічної активності, підвищення частки контейнерних перевезень на залізничному транспорті набуває критичного значення.

На сьогодні рівень контейнеризації в Україні становить менше ніж 4% від загального обсягу перевезень, тоді як у країнах Європейського Союзу (ЄС) цей показник сягає 35-55% [1, 2].

Низький рівень контейнеризації в Україні пов'язаний із комплексом взаємозалежних проблем. Перш за все, це інфраструктурні обмеження, що виявляються у дефіциті сучасних високотехнологічних мультимодальних терміналів та недостатній пропускній здатності на стиках колій 1520 мм та 1435 мм (питання інтеоперабельності). До цього додається управлінська неефективність, спричинена відсутністю єдиної інтелектуальної системи для динамічного прогнозування попиту та оперативного управління контейнерними потоками, що призводить до надмірно високого порожнього пробігу рухомого складу (близько 35% за окремими оцінками) [2].

Успішний досвід країн ЄС підтверджує, що вирішальним фактором зростання контейнеризації є широке впровадження інтелектуальних транспортних технологій. Зокрема, застосування алгоритмів машинного навчання (Machine Learning) для динамічного планування графіків руху поїздів дозволило європейським операторам досягти високої надійності та швидкості контейнерних перевезень. В основу даного дослідження покладено методи системного аналізу, математичного моделювання та мережевого планування. Такий підхід дозволив ідентифікувати критичні «вузькі місця» у залізничній мережі та обґрунтувати ефективність впровадження нових технологічних рішень на терміналах.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність реалізації трьох пріоритетних напрямків, які є основою для подальшого розвитку контейнеризації. По-перше, це інтелектуалізація управління через створення єдиної інтелектуальної платформи управління, яка на базі Big Data та штучного інтелекту забезпечить оптимальний розподіл та репозиціювання контейнерного парку. По-друге, необхідна технологічна модернізація інфраструктури, що передбачає будівництво опорних мультимодальних терміналів та оснащення їх ІТ-технологіями. По-третє, повний перехід на електронний документообіг та використання захищених каналів (на основі Blockchain) для мінімізації часу простою на прикордонних переходах.

Підвищення рівня контейнеризації на залізничному транспорті України можливе лише за умов комплексної технічної модернізації інфраструктури та впровадження інтелектуальних систем управління. Реалізація запропонованих напрямків забезпечить не лише зростання обсягів перевезень, а й стійкість логістичної системи країни та її ефективну інтеграцію у європейську транспортну мережу.

[1] Транспортна стратегія до 2030 року і роль залізниці в ній. URL: <https://www.railinsider.com.ua/rol-zalznici-v-transportnij-strategiyi/> (дата звернення: 04.11.2025).

[2] Аналіз регуляторного впливу. URL: <https://mtu.gov.ua/files/%D0%90%D0%90%D0%9B%D0%86%D0%97%20%D0%A0%D0%95%D0%93%D0%A3%D0%9B%D0%AF%D0%A2%D0%9E%D0%A0%D0%9D%D0%9E%D0%93%D0%9E%20%D0%92%D0%9F%D0%9B%D0%98%D0%92%D0%A3%200805.docx> (дата звернення: 04.11.2025).

УДК 338.47:629.463(477)

ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ – НЕОБХІДНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ

PUBLIC PROCUREMENT PERFORMANCE INDICATORS – NEED FOR IMPROVEMENT

*Канд. техн. наук В.І. Шевченко, Б.В. Мацієвський, Д.В. Кривошеєв
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Tech.) V.I. Shevchenko, B.V. Matsievskiy, D.V. Kryvosheev
Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)*

Керівництво АТ «Укрзалізниця» постійно виявляє турботу питанням пов'язаним із закупівлями товарів робіт та послуг. На офіційному сайті АТ «Укрзалізниця» доволі часто з'являються повідомлення про економію коштів в процесі здійснення закупівель у системі ПРОЗОРРО [1]. Однак, чи дійсно є справжня економія коштів, при відсутності обґрунтованих показників, чи дійсно кошти підприємства завжди використовуються ефективно. Для того, щоб відповісти на це питання, пропонуємо зробити аналіз закупівлі фанери,

інформацію про яку оприлюднено в системі ПРОЗОРРО (prozorro.gov.ua) за ідентифікатором UA-2024-11-21-012966-а 20.05.2025 на сайті АТ «Укрзалізниця» оприлюднена новина «Ефективні закупівлі: Укрзалізниця зменшила витрати на фарбу та фанеру» [1]. В повідомленні зазначено, що вартість фанери зменшилась на 40 % у порівнянні з закупівлями попередніх років, і на підставі цього зроблено висновок, що закупівля ефективна. Згідно інформації оприлюдненої про укладений договір (№ЦЗВ-02-00725-01 від 28 січня 2025) постачальник узяв на себе зобов'язання поставити Пливу фанерну атмосферостійку важкогорючу ПФА-В розмір 1525*1525*10/19мм сорт ¾ виробництва ТОВ "ФАНЕРНЕ ВИРОБНИЦТВО "ОРІОН" у кількості 108/112,6 м3 за ціною 107570,26 грн без ПДВ [2].

При цьому виробник ТОВ "ФАНЕРНЕ ВИРОБНИЦТВО "ОРІОН" укладає договори з Приватним акціонерним товариством "Київський електровагоноремонтний завод" (00480247) за ціною 89900,00 без ПДВ, на майже таких саме умовах (договір 215/05/25 від 29 травня 2025) закупівля у системі ПРОЗОРРО UA-2025-04-15-003682-а-с1 [3].

Є й інші пропозиції аналогічних товарів в системі ПРОЗОРРО, наприклад ТОВ «ОДЕК» Україна пропонує Фанера важкогорюча ФВГ, 1250*2500*10 мм СР/С за 88800,00 грн без ПДВ за м3 [4].

І, як результат, «Ефективна закупівля» має ознаки НЕ ефективної більше ніж на 4,5 млн грн.

Треба зазначити, що закупівля UA-2024-11-21-012966-а проведена у повній відповідності до чинного законодавства, дотримані всі вимоги визначення очікуваної вартості, строки та порядок оприлюднення публічної інформації, розгляду пропозицій та визначення переможця та інші, однак втрачена можливість скоротити витрати за даною закупівлею. На жаль, таке становище присутнє в значній кількості закупівель Замовників, і в більшості випадків це пов'язано з великим навантаженням на Уповноважену особу, бажанням дотриматись формальних вимог діючого законодавства, та страх бути звинуваченим при прояві ініціативи.

На підставі аналізу даної закупівлі можна зробити декілька висновків:

1. Для дійсно ефективних закупівель, при розрахунку очікуваної вартості необхідно робити техніко-економічний розрахунок з аналізом ринку. Для чого є потреба удосконалити Методику визначення очікуваної вартості [5].

2. Створити незалежну, галузеву систему оповіщення та співпраці з потенційними постачальниками, завдяки якій буде можливість не тільки оповістити потенційних учасників закупівлі, а й створити умови за яких участь у аукціоні будуть приймати максимальна кількість гравців.

3. Показники, що сьогодні визначають ефективність публічних закупівель не враховують велику кількість чинників. Є нагальна потреба удосконалення підходів до визначення ефективності використання

державних коштів в першу чергу з використанням ключових показників ефективності (КРІ).

На жаль вимірювання ефективності та оцінка якості в публічних закупівлях, що застосовуються сьогодні [6,7,8,9,10,11] не завжди відображають реальний стан, і створення галузевої HRM-системи з питань закупівель – є пріоритетним напрямком розвитку закупівельної діяльності на залізниці.

- [1] Ефективні закупівлі: Укрзалізниця зменшила витрати на фарбу та фанеру : веб-сайт. URL : https://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/page-8/666304/ (дата звернення: 11.10.2025).
- [2] UA-2024-11-21-012966-a-c2 : веб-сайт. URL : <https://prozorro.gov.ua/uk/contract/UA-2024-11-21-012966-a-c2> (дата звернення: 11.10.2025).
- [3] UA-2025-04-15-009682-a-c1 : веб-сайт. URL : <https://prozorro.gov.ua/uk/contract/UA-2025-04-15-009682-a-c1> (дата звернення: 11.10.2025).
- [4] Фанера важкогорюча : веб-сайт. URL : https://dozorro.org/tender/UA-2025-01-27-010189-a?_ref=search#tender (дата звернення: 11.10.2025).
- [5] Про затвердження примірної методики визначення очікуваної вартості предмета закупівлі [Електронний ресурс] : [наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 18 лют. 2020 р., № 275]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0275915-20#Text> – (Дата звернення: 11.10.2025).
- [6] Вимірювання ефективності та оцінка якості в публічних закупівлях : веб-сайт. URL : <https://infobox.prozorro.org/articles/vimiryuvannya-efektivnosti-ta-ocinka-yakosti-v-publichni-zakupivlyah-vebinar> (дата звернення: 11.10.2025).
- [7] Федірко О. А. Політика публічних закупівель у реалізації стратегії цифрової трансформації: пріоритети ЄС та України / О. А. Федірко, Н. В. Федірко // Світова економіка та міжнародні відносини. – 2023. – Проблеми економіки № 3. – С. 31-41.
- [8] Письменна М. С. Державний аудит та аналіз публічних закупівель: теорія, методологія та практика : монографія. Київ : Центр учб. літ., 2017. 451 с.
- [9] Болквадзе Н. І., Мазур С. М. Проведення публічних закупівель в Україні та країнах ЄС. Ефективна економіка. 2020. № 4. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.4.91
- [10] Мельников О. С. Особливості публічних закупівель як об'єкта державного регулювання економіки. Теорія та практика державного управління. 2016. № 1 (52). С. 1–7.
- [11] Нагорнічевський О. А. Основні напрямки удосконалення державного управління у сфері державних закупівель в Україні в контексті національної безпеки. Ефективність державного управління. 2015. № 43. С. 184–192.

«АТТО» ЯК ІНСТРУМЕНТ СТВОРЕННЯ ЄДИНОГО ТАРИФНОГО ПРОСТОРУ МІЖ МІСЬКИМ І ПРИМІСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

«АТТО» AS A TOOL FOR CREATING A UNIFIED FARE SPACE BETWEEN URBAN AND SUBURBAN TRANSPORT

Здобувач Д.З. Ікрамова

Ташкентський державний транспортний університет (м. Ташкент)

Researcher D.Z. Ikramova

Tashkent State Transport University (Tashkent)

Modern trends in urbanization require effective interaction between urban and suburban public transport systems. In Tashkent, a partial digital integration system for urban transport services based on the unified ATTO transport card has already been implemented. It enables passengers to pay for rides and receive fare compensation for transfers between different modes of transport (bus and metro) within one hour. However, the system currently does not cover suburban railway routes, which creates fragmentation and increases total transport costs for passengers, especially those commuting daily between suburban and urban areas.

In the city of Tashkent, partial tariff integration through the ATTO card already allows discounts for transfers between modes of urban transport. However, suburban railway routes remain outside this system. Expanding the current framework to include railway routes is necessary to establish a single tariff zone and promote the use of public transport.

Currently, passengers can use the ATTO transport card for cashless payments on urban transport, where the compensation system operates as follows [1]:

- *Start of accounting period*: from the first card validation;
- *Compensation window duration*: 1 hour;
- *Additional limit*: 30-minute restriction for repeated validation on the same bus;
- *Repeated metro entry*: not compensated — considered a new trip.

On suburban electric trains of the Tashkent Railway Junction, fares are paid by purchasing one-time tickets at station ticket offices or directly from the conductor at intermediate stops. Payment can also be made via mobile terminals using ATTO transport cards or online bank cards [2]. Despite these digital tools, integration between the city and suburban fare systems remains incomplete.

The purpose of this methodology is to develop a mathematically and logically justified framework for calculating the integrated tariff, allowing suburban train travel to be recognized as part of the general route within the city transport network. The methodology takes into account transfer timeframes, existing discounts, digital payment validation, and the technical capabilities of processing data from the ATTO card.

The key tasks include:

- Formalizing the concept of *integrated travel* and defining the criteria for discount recalculation;
- Developing an algorithm that recognizes transfers between urban and suburban transport as a single route;
- Establishing a fair and economically balanced discount applicable under specific transfer conditions;
- Preparing a calculation formula for automated fare systems;
- Developing practical examples to test the methodology's effectiveness in real Tashkent conditions.

The methodology is designed for digital implementation through the ATTO transport card, which is already used on most urban routes and supported by mobile terminals in suburban trains. Thus, the calculation of the integrated tariff is based on principles of fairness, passenger convenience, and technical feasibility.

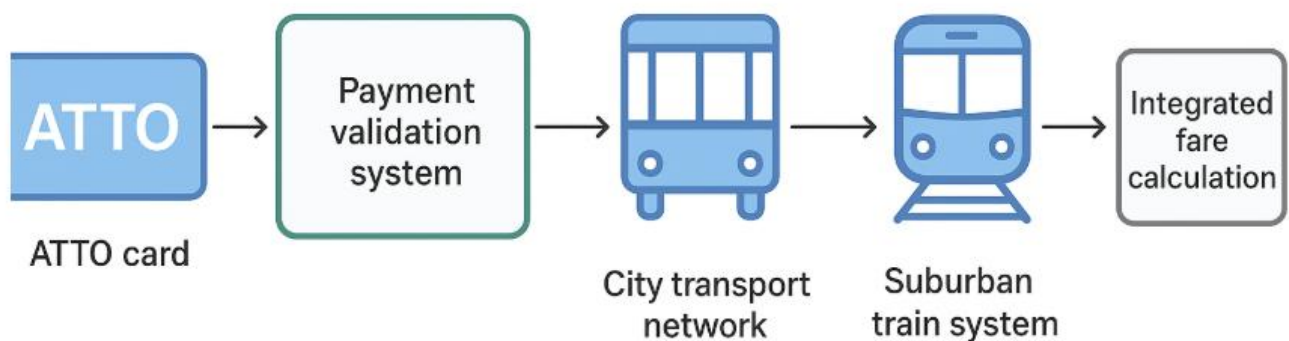


Figure 1. The role of the ATTO system in forming a unified fare space between urban and suburban transport.

Analysis shows that the ATTO system already supports digital validation and mobile terminal use on suburban routes, providing a technical foundation for unified tariffing. However, three main obstacles remain [3]:

1. Lack of automatic data transmission on train travel to the ATTO system;
2. Absence of software logic for recognizing train transfers within the hourly compensation framework;
3. Lack of unified ticketing and fare schemes.

These issues lead to duplicate payments when transferring from urban to suburban transport, increasing total passenger costs. As a result, a tariff gap arises: passengers transferring from bus to train pay twice — 1,700 soums per bus ride (or 1,100 soums with a transfer discount) plus the train fare, which currently excludes any transfer discount.

The conducted analysis indicates that the ATTO transport card possesses the essential technical infrastructure required for the integration of suburban transport services into the existing urban fare system. By introducing updated software modules and refined tariff calculation algorithms, it becomes feasible to establish a unified

digital fare platform, within which suburban train journeys are recognized as a continuous segment of the overall transport route.

The implementation of such a system is expected to reduce passengers' total travel expenditures, streamline the processes of payment and transfer validation, and encourage the wider use of public transport for extended commuting distances. Thus, the proposed methodology constitutes both a theoretical foundation and a practical framework for achieving comprehensive tariff integration between urban and suburban transport modes in Tashkent, thereby contributing to the development of a seamless, efficient, and passenger-oriented public transport network.

[1] ATTO Transport Card // JSC Avtomatlashtirilgan Transport to'lov tizimi Operatori : official website. URL: <https://www.atto.uz/ru/passengers> (date of access: 09/26/2025).

[2] Payment by bank cards and ATTO transport cards has been launched in electric trains // Vzglyad.uz. URL: <https://vzglyad.uz/ru/post/2024/02/29/v-elektropoezdahzapustili-oplatu-bankovskimi-kartami-i-transportnymi-atto/> (date of access: 09/26/2025).

[3] Diyorakhon Z. Ikramova. Socio-economic rationale of an integrated tariff for urban and suburban transportations in Tashkent // Инновационный транспорт №3 (57), ISSN 2311-164X.

Секція
**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ, СЕРВІС ТА ОХОРОНА ПРАЦІ В
ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ**

УДК 656.2.021.1:620.9

**АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТАНЦІЙНИХ ГОРЛОВИН ІЗ
УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-РЕСУРСНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ФАКТОРІВ**

**ADAPTIVE OPTIMIZATION OF STATION THROATS CONSIDERING
OPERATIONAL, RESOURCE AND ENERGY FACTORS**

д.т.н., професор О.М. Огар, канд. техн. наук А.О. Ковальов, *аспірант*
Продащук М.В.

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Dr.Sc., professor O. Ohar, A. Kovalov PhD (Tech.), M. Prodashchuk
postgraduate

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Залізнична система України залишається ключовою опорою економіки, гуманітарної логістики й оборонного забезпечення. В умовах війни залізниця виконує функції енергетичної, логістичної та гуманітарної артерії країни. Її стійкість визначається не лише станом магістралей, а й ефективністю роботи станційних горловин. Традиційні методи проектування, орієнтовані на геометричну мінімізацію довжини та зменшення кількості стрілочних переводів, не враховують експлуатаційно-ресурсні та енергетичні фактори, які сьогодні стають вирішальними [1]. Тому проблема формування раціональних конструкцій горловин набуває особливого значення в сучасних умовах, коли транспортна система України зазнає серйозних випробувань унаслідок війни та масових руйнувань інфраструктури. У таких умовах постає потреба не лише у проектуванні нових об'єктів, але й у швидкому відновленні, адаптації та оптимізації існуючих.

У світовій практиці широко застосовуються методики Міжнародного союзу залізниць (UIC 406), цифрове планування на основі BIM-моделей [2] та концепції інженерії життестійкості (resilience engineering) [3]. Вони спрямовані на створення транспортних систем, здатних швидко адаптуватися до зовнішніх загроз і відновлюватися після пошкоджень. Однак більшість цих підходів розраховані на мирний період, тоді як для України актуальним є врахування кризових і післявоєнних сценаріїв.

У таких умовах актуальним є формування адаптивних конструкцій, здатних функціонувати у різних сценаріях – від мирної експлуатації до кризового або відновлювального періоду [1]. Саме тому запропоновано нову модель – адаптивної геометричної оптимізації з урахуванням експлуатаційно-ресурсного фактору (АГО+ЕРФ), яку доповнено компонентом енергетично-ресурсної адаптації.

Сутність моделі полягає у створенні багатокритеріальної функції оцінки ефективності конструкції горловини. Вона враховує не лише геометричні характеристики, але й інтенсивність використання, залишковий технічний ресурс, вартість монтажу та експлуатації, енергетичні витрати, а також стійкість конструкції до пошкоджень.

$$F(x) = \sum_{s \in S} \pi_s \left[w_1 G(x, s) + w_2 C(x, s) + w_3 T(x, s) + w_4 E(x, s) + w_5 (1 - A(x, s)) + w_6 S(x, s) \right],$$

$$\text{при обмеженнях} \quad \begin{cases} G(x, s) \leq G_{\max} - \text{геометричні обмеження;} \\ C(x, s) \leq C_{\max} - \text{бюджетні обмеження;} \\ T(x, s) \leq T_{\max} - \text{допустимий час проходження;} \\ E(x, s) \leq E_{\max} - \text{допустимий рівень енергоспоживання;} \\ A(x, s) \geq A_{\min} - \text{мінімальний рівень надійності;} \\ S(x, s) \leq S_{\max} - \text{допустимий рівень втрати стійкості,} \end{cases} \quad (2)$$

де $x = (x_1, \dots, x_n)$, де $x_i \in \{0, 1\}$ – змінна вибору i -го елемента (стрілки, ділянки чи іншого компонента);

$w_1 \dots w_6$ – вагові коефіцієнти, що визначають значущість кожного критерію;

$G(x, s)$ – геометричні параметри горловини (довжина, кількість стрілочних переводів, конфігурація);

$C(x, s)$ – витрати життєвого циклу (будівництво, обслуговування, ремонт);

$T(x, s)$ – середній час проходження маршруту;

$E(x, s)$ – енергоспоживання під час маневрових операцій;

$A(x, s)$ – коефіцієнт технічної надійності;

$S(x, s)$ – індекс стійкості інфраструктури.

Модель АГО+ЕРФ дозволяє розглядати процес проектування горловини як задачу багатокритеріальної оптимізації, у якій одночасно враховуються геометричні, технічні, експлуатаційні, економічні та ризик-орієнтовані чинники. Важливою перевагою є можливість адаптації вагових коефіцієнтів під конкретні сценарії функціонування – мирний час, воєнні дії або післявоєнна відбудова. Для кожного сценарію визначаються обмеження за часом проходження поїздів, допустимими витратами та мінімальними рівнями надійності.

Для підвищення точності оцінювання використано цифрове моделювання типу Scan-to-BIM, що забезпечує інтеграцію просторових, експлуатаційних та енергетичних характеристик у єдину цифрову модель станції. Це дозволяє

прогнозувати зміни енергоспоживання при різних конфігураціях та виявляти «вузькі місця» у структурі горловини [2].

Для перевірки ефективності запропонованої моделі було розглянуто умовну станцію «Х» із двома варіантами горловини:

- 1) варіант А – класичний (традиційний проєкт без урахування АГО+ЕРФ);
- 2) варіант Б – оптимізований за методикою АГО+ЕРФ.

Оцінювання проводилося за трьома сценаріями: стабільна експлуатація, воєнний період і післявоєнне відновлення.

Порівняльне моделювання на прикладі умовної станції показало, що оптимізована за принципами АГО+ЕРФ конструкція горловини має низку переваг над традиційною. Довжина стрілочних вулиць скорочена на 8 %, витрати на монтаж знижено на 25 %, споживання енергії – на 18 %, коефіцієнт залишкового технічного ресурсу збільшено на 8 %. У кризовому сценарії адаптивна горловина зберігає працездатність навіть за відключення окремих елементів, тоді як класична втрачає до 40 % ефективності. Розрахований індекс енергетичної життєздатності (Energy Resilience Index, ERI) для оптимізованої системи становив 0,82, тоді як для базової – 0,64. Отримані результати підтверджують, що впровадження енергетично-ресурсної адаптації дозволяє не лише економити ресурси, а й підвищувати здатність інфраструктури до відновлення.

Таким чином, модель АГО+ЕРФ дозволяє не лише знайти оптимальну конфігурацію горловини в звичайних умовах, але й оцінити її стійкість у кризових ситуаціях. Це робить підхід придатним для планування, реконструкції та адаптивного розвитку залізничної інфраструктури.

Запропонована модель АГО+ЕРФ із компонентом енергетично-ресурсної адаптації забезпечує багатокритеріальний підхід та комплексну оцінку варіантів конфігурацій горловин за сукупністю технічних, експлуатаційних, економічних і ресурсних показників. Її застосування дозволяє підвищити енергоефективність до 25 %, зменшити витрати на обслуговування та скоротити час відновлення станцій після руйнувань. Вона дозволяє швидко приймати обґрунтовані рішення щодо реконструкції станцій, враховуючи обмеження ресурсів, ризики пошкоджень та необхідність швидкого відновлення руху. Запропонована модель забезпечує проєктування станційних горловин на основі технічних, експлуатаційних та енергетичних аспектів.

Практичне впровадження можливе у проєктах реконструкції вузлів, модернізації сортувальних гірок і побудови математичних моделей станцій. Методика узгоджується з положеннями Національної транспортної стратегії України до 2030 року [3], рекомендаціями UIC 406 [4], а також підходами Європейської комісії TEN-T щодо відновлення критичної інфраструктури.

Розроблений підхід може бути використаний не лише в Україні, а й у будь-якій країні, де важливим є забезпечення життєстійкості критичних транспортних об'єктів. Застосування моделі сприятиме підвищенню ефективності, надійності

та енергоефективності залізничних станцій, а також інтеграції України до європейського транспортного простору та зміцненню національної безпеки.

Отже, модель АГО+ЕРФ є універсальним інструментом для адаптивної оптимізації конструкцій горловин залізничних станцій, який поєднує технічні, експлуатаційні, економічні та ресурсні аспекти, забезпечуючи підвищення ефективності й стійкості залізничної інфраструктури в сучасних умовах.

- [1] Огар О. М., Берестов І. В., Бантюков С. Є., Круглова Н. С. Напрями удосконалення методів формування конструкцій колійного розвитку залізничних станцій та їх техніко-технологічної оцінки. *Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень»*. Дніпро, 2021. Вип. 21. С. 60-67. URL: <https://doi.org/10.15802/tstt2021/237664>
- [2] Продашук М.В., Квасов П.В. Модернізація станційних горловин із застосуванням цифрових технологій Scan-to-Bim. *Матеріали двадцять першої науково-практичної міжнародної конференції «МІЖНАРОДНА ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА, ІНДУСТРІАЛЬНІ ЦЕНТРИ ТА КОРПОРАТИВНА ЛОГІСТИКА»* (5 - 6 червня 2025р. м. Харків) Український державний університет залізничного транспорту. Харків, 2025.
- [3] Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Text>
- [4] Landex A., Schittenhelm B., Kaas A. H., Schneider-Tilli J. Capacity measurement with the UIC 406 capacity method. *WIT Transactions on The Built Environment. Computers in Railways XI*, Vol 103, 2008, p. 55-64.

УДК 004.94:625.8

ІНТЕГРАЦІЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

INTEGRATION OF BIM-TECHNOLOGIES INTO TRANSPORT CONSTRUCTION

канд. техн. наук, доц. М.М. Балака,

канд. техн. наук, доц. Д.О. Міщук

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof. M. Balaka,

Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof. D. Mishchuk

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

Розвиток транспортної інфраструктури України характеризується активним впровадженням цифрових технологій управління будівництвом, що узгоджується з європейським курсом на формування «розумного будівельного простору». Традиційні методи планування та виконання земляних робіт не забезпечують належної точності та інтеграції даних, що ускладнює контроль і підвищує ризик перевитрат ресурсів [1–3]. В умовах скорочення термінів будівництва, потреби у геодезичній точності та безпечному управлінні механізованими процесами особливого значення набуває інформаційне моделювання будівництва (BIM).

Метою цього дослідження є узагальнення принципів інтеграції технологій інформаційного моделювання у систему управління транспортним будівництвом, зокрема у процеси виконання, контролю та моніторингу земляних робіт, з метою підвищення точності, ефективності та безпеки виробничих операцій.

Інформаційне моделювання створює єдине цифрове середовище, у якому поєднано проєктні, геодезичні, машинні та експлуатаційні дані [1, 4]. На етапі підготовки робіт формується цифрова модель рельєфу (DEM/ЦМР), створена за результатами аерофотозйомки або лазерного сканування, з точністю кілька сантиметрів. Її інтеграція у BIM-простір дозволяє здійснювати візуальний і метричний контроль відповідності фактичного рельєфу проєктному, обчислювати обсяги переміщення ґрунту та оптимізувати маршрути транспортування.

На етапі виконання робіт використовуються землерийні машини з GNSS/RTK-приймачами, гідравлічними сенсорами і системами автоматичного позиціонування. Цифрова модель об'єкта завантажується у бортовий комп'ютер машини, що дозволяє виконувати операції з точністю 2–3 см без традиційних нівелірів і розмітки [5]. Завершальний етап – контроль виконаних робіт (as-built). Отримані зйомки безпілотниками або RTK-приймачами порівнюються з BIM-моделлю, що формує замкнений цикл «планування – виконання – контроль».

Інтеграція геоінформаційних систем (GIS) з моделлю об'єкта розширює можливості аналізу території. GIS забезпечує прив'язку геологічних шарів, водних джерел, природоохоронних зон і підземних комунікацій, що дозволяє ще на стадії проєктування виявляти конфлікти, зменшувати ризики підтоплення чи перетину мереж і оптимізувати трасування автомобільних доріг або залізниць. Так формується єдина інформаційна платформа управління територією [6].

Важливою складовою цифрового циклу є взаємозв'язок CAD–BIM–CAM. Розрахункові методи прикладної механіки в CAD-середовищі використовуються для аналізу стійкості укосів, несучої здатності основ і параметрів роботи землерийних машин. Результати передаються у BIM-модель, що забезпечує інтеграцію з CAM-технологіями – системами керування виготовленням та монтажем конструкцій [3]. Таким чином реалізується наскрізне інтелектуальне проєктування, у якому всі етапи життєвого циклу об'єкта пов'язані цифровими потоками даних. Водночас безпека праці є ключовим аспектом цифрового будівництва. Поєднання GNSS-засобів із інформаційною моделлю дозволяє визначати зони підземних комунікацій і створювати віртуальні межі руху техніки, що запобігає аваріям. Системи нового покоління, оснащені алгоритмами машинного навчання, можуть автоматично виявляти небезпечні відхилення у положенні техніки та попереджати оператора про потенційні ризики.

Використання цифрового моделювання позитивно впливає й на логістичну складову будівництва. Оптимізація маршрутів перевезення ґрунту, синхронізація графіків машин та постачання матеріалів зменшує витрати палива і запобігає простоям. Цифрові моделі спрощують складання кошторисів, календарних графіків, іншої документації, забезпечуючи прозорість будівельного процесу.

Отже, інформаційне моделювання у транспортному будівництві є основою переходу до інтелектуального проєктування. Його впровадження забезпечує:

- створення єдиного цифрового середовища з високою сумісністю даних;
- підвищення точності геодезичного супроводу та виконання робіт;
- зниження виробничих ризиків і підвищення безпеки праці;
- скорочення термінів будівництва та оптимізацію ресурсів;

– формування цифрового «двійника» транспортного об'єкта.

Подальший розвиток інформаційного моделювання будівництва у поєднанні з технологіями штучного інтелекту, хмарними обчисленнями та інтернетом речей (IoT) сприятиме створенню інтегрованих систем «Smart Construction», у яких усі етапи життєвого циклу транспортних споруд реалізуються в єдиному інтелектуальному цифровому середовищі.

- [1] Skiba R. Earthmoving Equipment Operations. Melbourne, 2024. 542 (Industrial Equipment Operations series).
- [2] Міщук Д. О., Міщук Є. О., Балака М. М. Міждисциплінарна освіта – запорука до сталого розвитку суспільства. MoodleMoot Ukraine 2024. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle: матеріали 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 31 трав. 2024 р. К.: НАПН України, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024. URL: <https://2024.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=13>.
- [3] Балака М. М., Міщук Д. О. Системи технологій земляних робіт у транспортному будівництві. К.: Компрінт, 2025. 224 с.
- [4] Gorbatyuk Ie., Balaka M., Mishchuk D. Information model of bulldozer-looser movement. The world of science and innovation: Abstracts of the 7th International Scientific and Practical Conference (February 10–12, 2021). Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2021. P. 54–59.
- [5] Балака М. М., Горбатюк Є. В., Міщук Д. О. GNSS/RTK-навігація як чинник підвищення ефективності земляних робіт. Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура '2025 (MAITRI 2025): тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. до Дня автомобіліста та дорожника та з нагоди 95-річчя ХНАДУ (30–31 жовт. 2025). Харків: ХНАДУ, 2025.
- [6] Liu Xiang, Antwi-Afari Maxwell, Li Jue, Zhang Yongcheng, Manu Patrick. BIM, IoT, and GIS integration in construction resource monitoring. Automation in Construction. Vol. 174. June 2025. 106149. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106149>.

УДК 656.078.8:004.9

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИБОРУ РІЧСТАКЕРІВ У СИСТЕМАХ КОНТЕЙНЕРНОЇ ЛОГІСТИКИ

INTELLIGENT METHODS FOR DESIGNING AND SELECTING REACH STACKERS IN CONTAINER LOGISTICS SYSTEMS

*студ. К.Ю. Гурєєв, студ. П.О. Кривченков,
канд. техн. наук, доц. М.М. Балака*

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

*student K.Yu. Hurieiev, student P.O. Kryvchenkov,
Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof. M.M. Balaka
Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)*

Інтелектуалізація управління транспортно-складськими системами є одним із ключових напрямів розвитку сучасної логістичної інфраструктури. Підвищення рівня автоматизації, застосування сенсорних технологій, аналітики даних і цифрових двійників оптимізує рух матеріальних потоків, знижує витрати та підвищує безпеку експлуатації техніки. Особливу роль у контейнерній логістиці відіграють річстакери – універсальні самохідні машини для штабелювання та транспортування контейнерів різних типорозмірів. Раціональний вибір моделі та

вдосконалення системи керування безпосередньо визначають ефективність роботи терміналів. Тому актуальним є поєднання інтелектуальних підходів до проектування систем керування з науково обґрунтованими методами вибору техніки, що створює синергетичний ефект у межах логістичної системи [1–3].

Метою роботи є підвищення ефективності експлуатації річстакерів шляхом інтеграції методів інтелектуального проектування системи керування та багатокритеріальної техніко-економічної оцінки моделей.

Розроблена методика [3] базується на системному підході до синтезу керування, який охоплює аналіз кінематичних, динамічних і енергетичних характеристик машини. На першому етапі формується кінематична модель підйомно-поворотного механізму з урахуванням геометрії стріли, довжини телескопічних секцій та положення спредера. Це дозволяє визначити оптимальні траєкторії руху контейнера і обмеження по висоті, вильоту та куту нахилу.

На другому етапі здійснюється синтез алгоритмів планування рухів із використанням методів предиктивного керування. Реалізація комбінованого регулювання забезпечує точне позиціонування контейнера та компенсацію інерційних впливів. Для підвищення безпеки система доповнена блоком цифрової діагностики і самонавчання, який аналізує параметри гідроприводів, вібраційні характеристики та температурні режими, формуючи рекомендації оператору або автоматично коригуючи режими роботи [2, 4].

Архітектура системи керування має три рівні: нижній – керування приводами, середній – координація робочих механізмів, верхній – інтеграція з логістичною інформаційною системою підприємства. Така структура створює основу для автономного позиціонування та дистанційного моніторингу технічного стану.

Паралельно розроблено методику багатокритеріальної оцінки ефективності річстакерів [5], що забезпечує вибір оптимальної моделі з урахуванням умов експлуатації. Основні критерії включають:

- енергетичну ефективність (питома потужність, навантаження);
- технічну продуктивність (цикл підйом/спуск, швидкість штабелювання);
- вартісні показники (ціна одиниці потужності, циклу роботи);
- економічну ефективність (сукупна вартість володіння – TCO);
- надійність та ремонтпридатність.

Прийняття рішення здійснюється за методом аналітичної ієрархії з нормуванням параметрів, визначенням вагових коефіцієнтів та побудовою інтегрального рейтингу. У разі відсутності повних даних використовується експертна апроксимація. Апробація методики на моделях Konecranes, Kalmar, Hyster, Liebherr та Terex показала її ефективність. Найвищий інтегральний бал отримала Konecranes SMV 4531TC5, що забезпечує оптимальне співвідношення потужності машини, вантажопідйомності та вартості експлуатації при роботі контейнерного терміналу.

Інтеграція інтелектуального керування та раціонального вибору техніки в єдину методологічну схему дозволяє ще на етапі технічного завдання враховувати можливості адаптації системи керування до конкретної моделі, скорочуючи час налаштування і ризик несумісності програмного забезпечення.

Розроблений підхід формує інтелектуальний життєвий цикл річстакера, у якому вибір, проєктування, експлуатація та сервіс об'єднані єдиною інформаційною платформою [1, 6]. Це створює передумови для інтеграції з системами керування Fleet Management, Predictive Maintenance та цифровими двійниками транспортного обладнання.

Запропонована концепція забезпечує зростання продуктивності операцій на 10–15%, зниження енерговитрат і часу циклу, підвищення надійності та безпеки, а також відкриває шлях до впровадження цифрових платформ управління транспортно-логістичними процесами. Отримані результати підтверджують, що інтеграція інтелектуальних технологій у системи керування річстакерами є важливим етапом формування розумних транспортних систем нового покоління.

[1] Ізтелеуова М. С., Грицук І. В., Арімбекова П. М., Тарандушка Л. А. Організація та логістика перевезень. Херсон: Олді плюс, 2021. 264 с.

[2] Вікович І. А. Транспортні навантажувально-розвантажувальні засоби. Львів: Львів. політехніка, 2018. 678 с.

[3] Lysak S., Balaka M., Machyshyn H., Diachenko O., Shcherbyna T. Design procedure of reach stacker control system. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*. 2024. No. 103, P. 25–32. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2024.103.0202>.

[4] Пелевін Л. Є. Балака М. М., Аржаєв Г. О. Мехатронні системи гідропневмоавтоматики. К.: Аграр Медіа Груп, 2014. 192 с.

[5] Lysak S., Balaka M., Riepin V., Yahodynets V., Matsybura A. Feasibility study of reach stacker model choice. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*. 2025. No. 105, P. 45–50. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2025.105.0303>.

[6] Назаренко І. І., Берник І. М., Кузьмінець М. П., Онищенко А. М. Технічні основи створення машин. Київ: Людмила, 218. 307 с.

УДК:658.3:61:681.3

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ БІОЛОГІЧНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЛЮДИНИ- ОПЕРАТОРА

APPLICATION OF BIOFEEDBACK TOOLS TO INCREASE THE LEVEL OF PROFESSIONAL RELIABILITY OF THE HUMAN OPERATOR

Докт. техн. наук В.Г. Брусенцов¹, студентка О.Д. Козодой²

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

²*Харківський національний університет радіоелектроніки (м. Харків)*

V. Brusentsov¹ Dr. Sc. (Tech.), O. Kozodoi² student

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

²*Kharkiv National University of Radio Electronics (Kharkiv)*

Рівень професійної надійності людини-оператора є важливим чинником безпеки складних технічних систем зокрема залізничного транспорту [1]. У зв'язку з цим важливе значення має застосування нових засобів контролю та підтримки цього рівня. Відомо, що професійна надійність є складним явищем,

що складається з якісно різнорідних складових [2]. Одним з найважливіших є функціональна надійність, що також складається з декількох складових, найважливішими з яких є рівень здоров'я та поточний функціональний стан. Для підтримки цих складових ефективним є застосування методу біологічного зворотного зв'язку (biofeedback).

Біологічний зворотний зв'язок (БОС) є методикою, що дозволяє навчити людину керувати фізіологічними функціями, які у звичай не піддаються довільному контролю. Суть методу полягає у навчанні людини управлінню своїм тілом, станом, здоров'ям. Це спосіб навчання саморегуляції фізіологічних процесів, у якому людина вчиться керувати ними, отримуючи у часі інформацію про свій стан. Процедура дозволяє побачити та почути роботу систем організму, а також впливати на власні біологічні показники. За допомогою методик керованої уяви, медитацій, релаксації можна змінити фізичну реакцію організму на стрес чи психологічні тригери. [3].

Відомі кілька видів БОС.

Шкірно-гальванічна реакція (КГР), або зміна електричного опору шкіри – показник, що характеризує стан симпатичної нервової системи, тісно пов'язаний із станами стресу, ступенем емоційного переживання.

Вимірювання рівня напруги м'язового тону. Висока м'язова напруга викликає соматичні реакції: головний біль, скутість, больовий синдром у ділянці шиї та плечей. При релаксації м'язи розслаблені, людина не відчуває дискомфорту. Це особливо актуально через масове поширення комп'ютеризованих робочих місць.

Вимірювання серцевих ритмів – вони бувають пов'язані з погіршенням емоційного тла і загальним станом серцево-судинної системи.

Вимірювання біоелектричних хвиль мозку, рівня їхньої активності та якості. Певна якість хвильової активності головного мозку дозволяє досягати глибокого розслаблення, що важливо при боротьбі зі стресом. Це також сприяє якісному нічному сну.

Таким чином, застосування засобів БОС дозволяє:

- ефективно боротися з професійним стресом, який представляє сьогодні серйозну проблему для транспортних операторів [3];
- вирішувати низку проблем працівників комп'ютеризованих робочих місць [4];
- підвищувати ефективність відпочинку працівників локомотивних бригад у пунктах обігу;
- підвищувати рівень здоров'я працівників, змушуючи їх вести здоровий спосіб життя шляхом подання оперативної інформації про динаміку їхнього рівня здоров'я.

1. Brusentsov O. V. Problems of assessing the basic part of the functional reliability level of human operators. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.europub.co.uk/articles/problems-of-assessing-the-basic-part-of-the-functional-reliability-level-of-human-operators-A-115636>

2. Brusentsov V. Ergonomic bases of controlling the working capacity of railway operators as a means of increasing the reliability of their professional activity : dissertation : 05.01.04. Kharkiv, 2013. P.359/ [Electronic resource] Access mode: <https://uacademic.info/ua/document/0514U000036>
3. LeWine H. E. Biofeedback. Harvard Heath Publishing, 2023. [Electronic resource] Access mode: https://www.health.harvard.edu/a_to_z/biofeedback-a-to-z
4. Доктори техн. наук Брусенцов В.Г., Пузир В.Г., кандидати техн. наук Григор'єва Є.С., Гармаш Б.К., Серіков Я.О., магістрант Крамчанин І.Г. Вплив професійного стресу на рівень функціональної надійності транспортних операторів. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті 63 ІКСЗТ, 2024 №4 с.62-70. https://www.researchgate.net/publication/390784498_Vpliv_profesijnogo_stresu_na_riven_funkcionalnoi_nadijnosti_transportnih_operatoriv

УДК 331.45

РОЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ

THE ROLE OF INTELLECTUAL TECHNOLOGIES IN IMPROVING THE LEVEL OF OCCUPATIONAL SAFETY IN THE TRANSPORT INDUSTRY

*Докт. техн. наук Ю.В. Буц¹, канд. техн. наук О.В. Крайнюк²,
канд. техн. наук Д.С. Козодой¹,*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)

***Yu.V. Buts¹ D.Sc. (Tech.) O.V. Krainyuk² PhD (Tech.),
D.S. Kozodoy¹ PhD (Tech.)***

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv)

Застосування інтелектуальних технологій вносять суттєві інновації у сферу охорони праці та управління у транспортній галузі, що сприяє зниженню ризиків виробничих аварій та підвищує рівень безпеки праці.

Метою дослідження є узагальнення напрямів використання інтелектуальних технологій для підвищення рівня безпеки праці у транспортній галузі.

Нами з'ясовано, що інтелектуальні технології можуть бути корисними для вирішення наступних задач безпеки праці у транспортній галузі зокрема [1-3]:

– Системи автоматичної діагностики і ремонту транспортної інфраструктури. Зокрема, штучний інтелект (ШІ) допомагає створювати систем, що здатні автоматично виявляти проблеми транспортних засобів і консультувати з ремонту транспортного обладнання.

– Прогнозування вибухів і пожеж на транспорті. Алгоритми машинного навчання дають змогу аналізувати наявні дані про температуру, вологість, тиск та хімічні реакції, знижуючи ймовірність виникнення пожеж.

– Моніторинг параметрів повітря і хімічної обстановки транспортної сфери.

Інтелектуальні технології можуть аналізувати дані сенсорів, щодо вмісту небезпечних сполук у повітрі і повідомляти про перевищення нормативів.

– Системи автоматизованого управління доступу до заборонених та небезпечних зон із визначенням персоналу і біометрії.

– Оптимізація логістичних та складських операцій. Інтелектуальні технології можуть допомогти у розподілі вантажів, контролі інвентарю і запобіганні аварійним ситуаціям у складських приміщеннях і депо.

– Система дослідження здоров'я персоналу. Спорядження співробітників датчиками і слідкування за їх здоров'ям, щоб вчасно реагувати на небезпечні та аварійні ситуації на транспорті. Рекомендується ефективне застосування датчиків за допомогою ШІ та нейронних мереж, що дає змогу виконати вагому роль у забезпеченні охорони праці у транспортній галузі. Представимо деякі аспекти їхнього впливу на безпеку праці на транспорті:

1. Моніторинг стану устаткування. Інтелектуальні технології на основі даних датчиків дають змогу на постійній основі відслідковувати стан транспортного обладнання. ШІ використовує показання датчиків, щоб показувати відхилення та завбачати імовірні відмови. Нейронні мережі автоматично попереджають про необхідність технічного огляду транспортних засобів, що сприяє уникненню аварій і гарантує безпеку працівників транспорту.

2. Запобігання транспортним виробничим аваріям та нещасним випадкам. Інтелектуальні технології можуть аналізувати відеодані з камер спостереження для виявлення потенційних аварійних ситуацій на транспорті. ШІ може розпізнавати неадекватні поведінкові шаблони працівників, такі як присутність у небезпечних зонах, активуючи аварійно-сигнальні системи.

3. Автоматичне контролювання доступу. Інтелектуальні технології та система машинного навчання можуть впроваджуватися для розпізнавання особи працівника та його біометричної ідентифікації. Це сприяє створенню автоматизованих систем контролю доступу.

4. Аналіз виробничого середовища. Датчики допомагають збору даних про стан робочого середовища, такі як температура, вологість, освітлення, рівень шуму та вібрації, концентрацію шкідливих газів тощо. Інтелектуальні технології можуть аналізувати ці дані та сигналізувати про перевищення дозволених норм чи небезпечні зміни на робочому місці. У випадку наявності небезпечних або шкідливих факторів, ШІ попереджає працівників або ж включає системи сигналізації або ж евакуації.

5. Моніторинг стану здоров'я співробітників. При використанні обладнання і датчиків, інтелектуальні технології можуть безперестанно моніторити здоров'я робітників. Зокрема, вони можуть відстежувати частоту пульсу, температуру тіла, кров'яний тиск, рівень стресу чи навіть фізичну форму персоналу. ШІ може аналізувати ці дані та попереджати персонал або надсилає інформацію на системи керування.

6. Використання датчиків ударів чи падіння, що прикріплені до спецодягу працівників та інтегровані зі штучним інтелектом, дозволяють суттєво сприяти підвищенню безпеки у транспортній сфері.

Отже, інтелектуальні технології можуть успішно застосовуватись для підвищення рівня охорони праці у транспортній галузі.

[1]. Крайнюк, О.В. SWOT – Аналіз впровадження цифрових технологій для забезпечення безпеки праці [Текст] / О.В. Крайнюк, Ю.В. Буц, В.В. Барбашин // Комунальне господарство міст. - 2021. - Т. 3.. - № 163.-С.234-238. <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5810>

[2]. Крайнюк, О.В. Використання технологій віртуальної та доповненої реальності для забезпечення безпеки праці [Текст] / О.В. Крайнюк, Ю.В. Буц, В.В. Барбашин, О.В. Северинов // Комунальне господарство міст. - 2022. Том 4, випуск 171. – С. 165-172. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-4-171-165-172>

[3]. Крайнюк, О.В. Використання штучного інтелекту для управління безпекою праці [Текст] / О.В. Крайнюк, Ю.В. Буц, В.В. Барбашин // Комунальне господарство міст. – 2023. – Т 6 (180). С. 207-214 <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6224/6143>

УДК 614.8.084(477)

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І БЕЗПЕКА ПРАЦІ

APPLICATION OF SMART TECHNOLOGIES AND OCCUPATIONAL SAFETY

*Канд. техн. наук Є.С. Григор'єва¹, канд. техн. наук Л.А. Катковнікова¹,
канд. техн. наук Б.К. Гармаш¹, канд. філос. наук С.В. Гулевський²*

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

²*Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, (м. Харків)*

*PhD (Tech.) Ye.S. Hryhorieva, PhD (Tech.) L.A. Katkovnikova,
PhD (Tech.) B.K. Harmash, PhD (Philos.) S.V. Hulevsky²*

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

²*V. N. Karazin Kharkiv National University (Kharkiv)*

В переважній більшості випадків люди сприймають ситуації або явища як безпечні чи ризиковані в залежності від контексту ризику. Прикладом розмірковувань на тему можуть бути такі: чи є ризик добровільний або нав'язаний, відомий або невідомий, чи є від нього певний зиск, чи надходить інформація про ризик з надійних джерел [1].

Із поширенням розумних технологій, будь-які цифрові пристрої стали необхідністю в повсякденному житті більшості людей. Замість того, щоб запам'ятовувати номери телефонів, люди тепер просто вводять їх до власних мобільних пристроїв, а запам'ятовування конкретних документів або записів залишають комп'ютерам. До того ж відтепер, коли батарея мобільного телефону розряджена, більшість відчуває тривогу та неспокій, а під час зникнення світла стає зрозумілим, що людям нічого робити. Такими є перші ознаки «цифрової деменції» («цифрового недоумства»).

«Цифрове недоумство» означає «стан, при якому пам'ять і здатність до

обробки даних значно знижені через надмірну залежність від цифрових пристроїв, таких як мобільні телефони» [2]. Його також називають «ІТ-синдромом», оскільки люди, які використовують багато цифрових пристроїв, відчувають «деменційні» симптоми.

У динамічному робочому середовищі працівники повинні підтримувати високу продуктивність, а використання смартфонів у дорозі на роботу, зокрема в метро, стало звичною частиною повсякденного життя для населення працездатного віку в переважній більшості країн світу. Розумні пристрої підвищили якість та зручність у всіх сферах нашого життя, але залежність від цифрових пристроїв у нашому повсякденному житті зросла до такої міри, що «люди стали їх рабами» [3–4]. Безумовно, сучасні технології стрімко змінюються та вдосконалюються, роблячи життя людей легшим та зручнішим. Інтелектуальні технології є невід’ємною частиною нашого повсякденного життя, і більшість людей не можуть уявити собі життя без них. Вони можуть полегшити комунікацію, забезпечити доступ до інформації, покращити освіту та навчання, підвищити ефективність роботи, підвищити продуктивність та ефективність тощо. Цифрові технології стали необхідними при управлінні складними технічними системами, допомагають компаніям у обслуговуванні клієнтів та в інших маркетингових заходах.

Незважаючи на ці численні переваги та можливості, які виникають із впровадженням та використанням цифрових технологій, виникають нові ризики. Дослідження показують, що люди перевіряють свої смартфони приблизно 80 разів на день Крім того, близько половини від усіх власників смартфонів заявили, що не можуть жити без них [5].

Ми самі формуємо свій мозок і власне професійне майбутнє, оскільки розв’язання складних завдань та глибокі роздуми – все залишає сліди у нашому мозку. Але як саме надмірна цифровізація може змінити мозок [6]? Стан «цифрового недоумства» впливає на емоційну регуляцію, поведінку та мотивацію при збереженні свідомості. Поява п’ятого покоління Інтернету (5G) докорінно змінила використання технологій, вплинувши також і на лікування психічного здоров’я та клінічну практику в усьому світі.

Вплив цифрових медіа проявляється в погіршенні моторики, мовленні та зниженні когнітивних здібностей. А надмірне використання цифрових технологій призводить до тривоги та нереалістичних очікувань, що впливає на розвиток мозку, особливо на когнітивний і гальмівний контроль, увагу, пам’ять і мислення, які необхідні для адаптації до динамічного виробничого середовища [7].

Як це все позначиться на формуванні професійних ризиків для працюючої людини – покаже час. Оскільки переважна більшість поки вважає, що користь від надмірної цифровізації переважає існуючі ризики.

[1] Sandman P.M, Lanard J. Flu Vaccine Shortages: Segmenting the Audience. 2004. <http://psandman.com/col/flu-1.htm>

[2] Ali Z., Janarthanan J., Mohan P. Understanding Digital Dementia and Cognitive Impact in the Current Era of the Internet: A Review. *PubMed*, 2024. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39449887/>

[3] Could you live without your smartphone? Are we slaves to our smartphones? : веб-сайт. <https://www.sydne.edu.au/news-opinion/news/2017/08/18/are-we-slaves-to-our-smartphones-.html>

- [4] Pantano E., Pedeliento G., Christodoulides G. «A strategic framework for technological innovations in support of the customer experience: A focus on luxury retailers». *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2022. <http://doi.10.1016/j.jretconser.2022.102959>
- [5] Lascau L., Wong Ng., Brumby D., Cox A. Why Are Cross-Device Interactions Important When It Comes To Digital Wellbeing? *UCL Discovery*, 2019. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10144313>
- [6] Григор'єва Є.С., Гармаш Б.К., Власенко К.Г. Професійні ризики надмірної цифровізації. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD–2023, 17–20 травня 2023 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків : НТУ «ХПІ». 528 с.
- [7] Sparrow B., Liu J., Wegner D. M. Google effects on memory: cognitive consequences of having information at our fingertips. *Science*, 2011. <http://doi.10.1126/science.1207745>

УДК:656.13:338.1

ЕКОНОМІЧНІ ВИГОДИ ВІД ПОКРАЩЕННЯ УМОВ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ТРАНСПОРТІ

ECONOMIC BENEFITS FROM IMPROVING OCCUPATIONAL SAFETY IN TRANSPORT

Н.В. Гриценко канд. економічних наук, доцент

Д.С. Козодой канд. технічних наук, доцент

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

Hrytsenko N.V. Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Kozodoi D.S. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Покращення умов безпеки праці на транспорті не лише захищає життя та здоров'я працівників, але й приносить значні економічні вигоди для підприємств. Звичайно це підтверджують сучасні методи економічної оцінки.

Саме вони включають комплексний аналіз прямих витрат на лікування та компенсації, непрямих витрат від втрати робочого часу та пошкодження обладнання, а також оцінку позитивних ефектів від підвищення продуктивності, покращення іміджу компанії та зниження ризиків. Такий підхід забезпечує всебічне розуміння економічного впливу інвестицій у безпеку. Комплексне використання методів економічної оцінки забезпечує найбільш точну та повну картину економічної вигоди від покращення умов безпеки праці на транспортних підприємствах. До основних методів відносять: аналіз витрат і вигод; оцінки збитків від аварій; метод людського капіталу; метод готовності платити; судовий метод; оцінка впливу на продуктивність праці. Для більшого розуміння розглянемо кожен метод окремо.

Аналіз витрат і вигод. Його основна задача, порівняння сукупності витрат на реалізацію заходів з безпеки праці з очікуваними вигодами від їх впровадження. Аналіз витрат і вигод є основним методом економічної оцінки впливу безпеки праці на транспорті. Цей підхід дозволяє порівняти сукупність витрат на реалізацію заходів з безпеки праці з очікуваними вигодами від їх впровадження.

Методологія даного методу включає систематичний розрахунок всіх релевантних витрат та переваг у грошовому вимірі. Ефективність аналізу витрат і вигод особливо важлива для транспортних підприємств, оскільки дозволяє прийняти обґрунтовані рішення щодо інвестицій у безпеку. Аналіз включає розгляд короткострокових та довгострокових наслідків, врахування інфляції та дисконтування майбутніх грошових потоків у транспортну галузь.

Оцінка збитків від аварій. Розрахунок економічних наслідків дорожньо-транспортних пригод та інших інцидентів. Розрахунок економічних наслідків від дорожньо-транспортних пригод та інших інцидентів становить критично важливу частину загальної оцінки безпеки праці. Точна оцінка збитків дозволяє керівництву транспортного підприємства розуміти реальну вартість аварій та приймати обґрунтовані рішення щодо інвестицій у превентивні заходи безпеки.

Метод людського капіталу. Базується на розрахунку дисконтованої вартості майбутніх доходів працівника протягом його трудової діяльності. Даний метод передбачає оцінку вартості людських ресурсів через аналіз їхнього внеску в прибуток транспортного підприємства. Це може включати аналіз продуктивності, витрат на навчання та розвитку, а також вплив на загальні результати транспортного підприємства. Ефективне управління талантами є ключовим аспектом методу. Це включає в себе залучення, утримання та розвиток висококваліфікованих працівників, що сприяє зростанню організації.

Метод готовності платити. Визначає суму, яку люди готові заплатити за зниження ризику смерті або травмування на транспортному підприємстві. Використовує опитування та аналіз поведінки споживачів на ринку.

Судовий метод. Базується на розмірах компенсацій, що присуджуються судами у справах про відшкодування шкоди життю та здоров'ю. Враховує судову практику та страхові виплати.

Оцінка впливу на продуктивність. Визначення ефекту покращення умов праці на ефективність роботи та обсяги перевезень. Покращення умов праці та зниження травматизму мають прямий позитивний вплив на ефективність роботи транспортних підприємств. Безпечне робоче середовище сприяє підвищенню мотивації працівників, зменшенню стресу та покращенню концентрації уваги водіїв, що є критично важливим для безпечного керування транспортними засобами.

Кожен з цих методів має свої особливості застосування та дозволяє отримати різні аспекти економічного впливу безпеки праці. Слід відмітити, що одним з найголовніших етапів отримання економічної вигоди та забезпечення розвитку є інвестиції у безпеку праці транспортного підприємства. Інвестиції в безпеку праці сприяють зменшенню простоїв техніки через аварії та поломки, що призводить до зростання обсягів перевезень та підвищення рентабельності підприємства. Крім того, транспортні компанії з високими стандартами безпеки часто отримують переваги при участі в тендерах та укладанні довгострокових контрактів з клієнтами.

Всі методи безумовно важливі, однак не можуть повною мірою відобразити цінність людського життя. Треба відзначити, що раціональний підхід до цього

питання дозволить приймати більш обґрунтовані рішення у сфері безпеки праці на транспортних підприємствах.

- [1] Методика визначення соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод М 218-03450778-695:2011. Київ https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64471 (дата звернення 30.09.2025р).
[2] Проект Закону України “Про безпеку та здоров’я працівників на роботі” від 27.01.2021р. <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=8c876ee6-0cbb-4ecf-9585-e7b1d24c1335&title=ProektZakonuUkrainiproBezpekuTaZdoroviaPratsivnikivNaRoboti> (дата звернення 30.09.2025р.).
[3] Безуглий А.О., Концева В.В., Стасюк Б.О. Концептуальні засади визначення та обґрунтування розміру соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод. Дороги і мости. 2020. Вип. 21. С. 18–27. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.018> (дата звернення 30.09.2025р.).

УДК 621.391

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ МЕТОДІВ КОНВЕРТАЦІЇ КОЛЬОРОВИХ ПРОСТОРІВ У ВЕБ-СЕРЕДОВИЩІ

RESEARCH ON HIGH-PERFORMANCE METHODS FOR CONVERTING COLOUR SPACES IN THE WEB ENVIRONMENT

І.В. Ковтун, к.т.н., доцент

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

I.V. Kovtun, PhD (Tech.).

Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv)

Актуальність дослідження обумовлена широким використанням формату YUV (NV12) у сучасних відеокодеках, пристроях захоплення та обробки зображень, у той час як веб-браузери та графічні інтерфейси відображення працюють з моделлю RGB. Це створює необхідність конвертації кольорового простору у режимі реального часу, особливо критичну для відео високої роздільної здатності та потокової передачі мультимедійних даних [1]. Традиційні програмні методи перетворення характеризуються високим навантаженням на центральний процесор, що обмежує продуктивність веб-додатків і знижує швидкість обробки графічної інформації, підкреслюючи необхідність використання апаратного прискорення на графічному процесорі (GPU) та паралельної обробки даних[2,3].

Робота присвячена дослідженню та теоретичному аналізу високоефективного методу конвертації кольорового формату YUV (NV12) у RGB із використанням WebGL і можливостей GPU. Теоретичні основи методу передбачають застосування фрагментних і вертексних шейдерів для паралельної обробки пікселів, оптимізацію передачі даних між CPU та GPU та раціональний розподіл обчислювальних ресурсів для забезпечення високої продуктивності та точності перетворення кольору. Архітектура алгоритму враховує специфіку роботи сучасних графічних процесорів та дозволяє узгоджено трансформувати

компоненти Y, U та V формату NV12 у формат RGB без втрати колірної точності та деталізації зображення.

Теоретичний аналіз підкреслює перспективність застосування паралельної обробки на GPU для підвищення ефективності веб-додатків та мультимедійних систем. Розглянуто можливість масштабування алгоритму для відео різної роздільної здатності, адаптації до сучасних графічних архітектур і оптимізації обчислювальних потоків у реальному часі. Отримані теоретичні висновки підтверджують значущість розробки методів високопродуктивної обробки відеоданих із врахуванням апаратного прискорення, що відкриває перспективи для подальшого розвитку моделей конвертації кольорових просторів та оптимізації веб-технологій відтворення графіки.

1. Podpora M. YUV vs RGB-Choosing a Color Space for Human-Machine Interaction / M. Podpora, G.P. Korbas, A. Kawala-Janik // Conference on Computer Science and Information Systems [Електронний ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/281822371_YUV_vs_RGB_-_Choosing_a_Color_Space_for_Human_Machine_Interaction (дата звернення 05.11.2025).
2. Ma D. A Video Transmission optimization Scheme for Web-based Cloud Desktop Protocol / D. Ma, Y. Kou // 2023 9th International Symposium on System Security, Safety, and Reliability (ISSSR), 2023. – С. 376-385. [Електронний ресурс]. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10214840> (дата звернення 05.11.2025).
3. Gunkel S.N. From 2d to 3D video conferencing: Modular RGB-D capture and reconstruction for interactive natural user representations in immersive extended reality (XR) communication / S.N. Gunkel, S. Dijkstra-Soudarissanane, H.M. Stokking, O.A. Niamut // Frontiers in Signal Processing. – Vol. 3, 2023.

УДК 658.7:656.073.235 (477)

АНАЛІЗ ОБСЯГІВ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ

ANALYSIS OF CONTAINER TRANSPORT VOLUMES IN UKRAINE

***А.В. Колісник канд. техн. наук, доцент, І.Е. Алієв аспірант,
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)***

***A.V. Kolisnyk Cand. of Techn. Sc., As. Prof., I.E. Aliiev, Postgr. St.,
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)***

Як відомо, основна частка вантажів, що перевозиться за участю декількох видів транспорту як територією України та і у міжнародному сполученні, транспортується у контейнерах. Аналізуючи обсяги транспортування вантажів у контейнерах за останні роки спостерігається їх збільшення. Якщо розглядати довоєнні роки, обсяги у 2021 році сягали до 279792 ДФЕ, тоді як у 2022 році виявилось падіння кількості перевезених контейнерів майже на 46%. За 2025 рік обсяги контейнерних перевезень зрости. Здебільшого інтермодальні перевезення в Україні поєднують саме залізничний і морський транспорт, тому доцільно розглянути статистичні саме цих видів перевезень. Розглядаючи обсяги

перевалки контейнерів за січень-серпень 2025 року спостерігається рекордний показник перевалених контейнерів через морські порти від початку повномасштабної війни, а саме 134 191 ДФЕ, що більше на 3,3% за аналогічний період 2024 року [1]. В структурі загального вантажопотоку імпорту склав 49,84%, експорт- 46,98%, транзит- 3,17%. Щодо обсягів контейнерних перевезень залізницею, за 8 місяців 2025 року вони зменшилися на 26%, зокрема перевезення зерна- на 13%. Розподіл контейнерних перевезень залізницею має такий вигляд: експорт становить 92,057 тис. ДФЕ, що дорівнює 60% від загального обсягу; імпорту – 42,119 тис. ДФЕ (28%); внутрішні перевезення – 17,721 тис. ДФЕ (12%). За підсумками восьми місяців 2025 року експортні контейнерні перевезення здійснювалися: через морські порти – 41,545 тис. ДФЕ (45%); через сухопутні прикордонні переходи – 50,512 тис. ДФЕ (55%) [2].

Для збільшення обсягів перевезень контейнерів залізницею, слід звернути увагу на взаємозв'язок всіх учасників перевезень через єдину автоматизовану систему для швидкої передачі необхідної інформації про вантаж та рівень цифрової інтеграції залізниці тобто впровадження цифрових технологій у всі аспекти функціонування залізничного транспорту з метою підвищення ефективності, безпеки, швидкості обслуговування та взаємодії з іншими транспортними системами.

[1] Українські морські порти досягли рекордної обробки контейнерів під час війни: URL: <https://agroreview.com/content/ukrayinski-morski-porty-dosyagly-rekordnoyi/>.

[2] Контейнерні перевезення зерна Укрзалізницею в 2025 році скоротилися на 26%. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/news/1550495>.

УДК 658.7:656.073.235 (477)

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

IMPROVING CONTAINER TRANSPORT TECHNOLOGY IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

***А.В. Колісник канд. техн. наук, доцент, Т.В. Шпек аспірант,
В.В. Ткаченко, ст. гр. 213-МКТ-Д24***

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

***A.V. Kolisnyk Cand. of Techn. Sc., As. Prof., T.V. Shpek, Postgr. St.,
V.V. Tkachenko, st. 213-MKT-D24***

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

В умовах невизначеності, що спостерігаються останнім часом, зокрема на території України, організація контейнерних перевезень вимагає впровадження новітніх цифрових технологій, що дозволять своєчасно з найменшими ризиками

та витратами доставити вантаж до вантажоодержувача. Серед проблем, що негативно впливають на якісь транспортування вантажів за участю залізниць слід відзначити:

- нестача прозорості ланцюга постачання (відстеження контейнера/вантажу в реальному часі);
- непродуктивні простой вагонів/контейнерів на прикордонних і перевантажувальних пунктах;
- неефективна координація між всіма учасниками процесу перевезень, такими як порт, термінал, залізниця, митниця;
- значний обсяг обробки паперових документів і ручних операцій, що призводять до затримок та помилок.

Зважаючи на вищенаведене, актуальним питанням постає огляд автоматизованих технологій на логістичних терміналах, що використовують в різних країнах світу.

Однією з таких технологій, яку запровадили на залізницях Швеції та Германії є технологія Intelligent Video Gate [1], яка мінімізує частку ручних операцій таких як фіксація даних у реальному часі про прибуття поїздів із відповідними вагонами та транспортними одиницями, які потім звіряються з попередньо заявленими перевізниками або операторами поїздів. Така перевірка може тривати для поїзда довжиною 740 м близько 45 хвилин і більше. Впровадження даної технології дозволяє досягти скорочення часу перевірки поїзда тривалістю до 15 хвилин, збільшення пропускної спроможності терміналу на 15 %, зменшення непередбачених ситуацій на 75%.

Для впровадження такої технології на логістичних терміналах України перш за все необхідно технічне оснащення таке як: високошвидкісні камери з розпізнаванням номерів, кодів ISO та знаків небезпечних вантажів; RFID-система (мітки на вагонах і контейнерах, зчитувачі, антенні модулі); аналітичне ПЗ та система зберігання даних; інтерфейс користувача для операторів терміналу (панель керування, база даних, звітність); системи зважування, сканування пошкоджень, тепловізори. Щодо програмного забезпечення, впровадження такої технології вимагає розробки нового модулю в АСК ВП УЗ-Є при взаємодії та обміном даних з платформами митних та прикордонних служб.

[1] Intelligent Video Gate -Automated Detection of Wagons and Intermodal Loading Units for Image Processing and Sharing and Exploitation of Data. URL: https://www.researchgate.net/publication/373196048_Intelligent_Video_Gate_-_Automated_Detection_of_Wagons_and_Intermodal>Loading_Units_for_Image_Processing_and_Sharing_and_Exploitation_of_Data

**АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ
УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ,
СЕРВІСУ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ В ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ**

**ANALYSIS OF DESIGN PARAMETERS OF TECHNICAL STATIONS OF
UKRAINE**

С.С. Ворошило, К.В. Крячко, канд. техн. наук

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

S. Voroshilo, K. Kryachko Candidate of Technical Sciences

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Встановлено, що вантажний вагон близько третини тривалості свого обігу перебуває під обслуговуванням на технічних станціях у процесах розформування та формування составів. Якість конструктивних параметрів таких станцій суттєво впливає не лише на тривалість маневрових операцій і раціональність використання енергоресурсів, але й на ефективність роботи інтелектуальних систем керування, рівень сервісу та дотримання вимог охорони праці [1]. Тому модернізація технічного оснащення з урахуванням норм проектування та впровадження сучасних інтелектуальних рішень є актуальним завданням галузі.

Більшість технічних станцій України спроектовані за застарілими або нераціональними схемами [2], що створює надмірне завантаження горловин основних парків і призводить до збільшення міжопераційних простоїв. Ворожі перехрещення маневрових та поїзних маршрутів ускладнюють керування потоками, знижують показники сервісу та створюють додаткові ризики для безпеки працівників. На дільничних станціях такі перехрещення часто спричинені нераціональним розміщенням локомотивних і вагонних господарств, вантажних районів та сервісних зон.

На сортувальних станціях недоліки конструктивних рішень особливо проявляються при комбінованому розміщенні основних парків і невдалому позиціонуванні локомотивного господарства. Це призводить до надмірних затримок поїзних локомотивів при подачі та забиранні составів, знижуючи загальну ефективність сервісу та підвищуючи рівень виробничих ризиків. Додаткові затримки виникають під час перестановок составів на витяжні колії перед насувом і розформуванням, що ефективно розв'язується лише шляхом упровадження інтелектуальних систем оптимізації руху.

Вихідні горловини сортувально-відправних парків потребують удосконалення з метою забезпечення можливості одночасного виконання маневрових переміщень. Впровадження інтелектуального проектування

дозволяє скоротити довжину горловин, зменшити кількість стрілочних переводів та забезпечити безпечніші умови роботи персоналу.

На дільничних станціях поздовжнього та напівпоздовжнього типів [3] значні затримки руху виникають у схемах з послідовним розташуванням локомотивного господарства відносно сортувально-відправного парку. Такі рішення збільшують кількість точок перехрещення маршрутів, що негативно впливає на швидкість виконання операцій, надійність сервісних процесів і на рівень охорони праці працівників, які виконують маневрові роботи.

Важливим чинником безпеки та ефективності є наявність локомотивних тупиків у вхідних горловинах парків приймання. Їх відсутність збільшує навантаження на колійну інфраструктуру, подовжує час простою вагонів, знижує пропускну та переробну спроможність станції та ускладнює роботу персоналу. Аналогічні проблеми виникають при нераціональному виборі ходових колій [4] і невідповідності кількості насувних колій обсягам поїздів з переробкою.

Нераціональні конструкції горловин також формуються у випадках проектування суміжних колій різної довжини, що перешкоджає паралельному виконанню операцій, перевантажує систему та створює додаткові небезпечні зони для працівників. Зі зміною обсягів переробки зростає потреба у науково обґрунтованому аналізі колійного розвитку та застосуванні інтелектуальних моделей оптимізації, що дозволяють забезпечити безпечний рух, якісний сервіс та ефективну організацію праці [5].

У цілому, більшість технічних станцій України була збудована або реконструйована за інших експлуатаційних умов і нині потребує комплексного вдосконалення конструктивних параметрів, впровадження інтелектуальних систем керування, оновлення сервісної інфраструктури та посилення заходів охорони праці.

[1] Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, схвалена розпорядженням КМУ від 30.05.2018 р. № 430-р., Київ, 2018. - 42 с. - (Національний стандарт України)

[2] Статут залізниць України: Київ: Транспорт України, 1998. 198 с. - (Національний стандарт України)

[3] Державні будівельні норми України: ДБН В.2.3-19-2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 122с. - (Національний стандарт України)

[4] Державна служба статистики. Офіційний сайт. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. - (Національний стандарт України)

[5] Журавель, І. Л. Проблеми регулювання ємності колійного розвитку залізничних станцій / І. Л. Журавель // 36. наук. пр. ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». - Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. - Вип. 8. - С. 51.

**ДО ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ВАГОНІВ
НА ПРИКОРДОННІЙ ВАНТАЖНІЙ СТАНЦІЇ В УМОВАХ
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ**

**ON THE ISSUE OF IMPROVING THE PROCESS OF WAGON
PROCESSING AT THE BORDER FREIGHT STATION IN THE
CONDITIONS OF INFORMATIZATION**

*Канд. техн. наук В.В. Кулешов, аспірант А.С. Магальяс,
магістр М.О. Бражнік*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*PhD (Cand. Tech. Sciences) associate professor V.V. Kuleshov,
postgraduate student A.S. Magalyas, master M.O. Brazhnyk
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Аналіз показує, що при розвитку залізничного транспорту України виявилися несприятливі тенденції. Допущено відставання в розвитку пропускних спроможностей ряду ділянок і залізничних напрямків, локомотивного і вагонного комплексів, портів, а також в реконструкції прикордонних станцій.

З'явилася стійка тенденція уповільнення темпів зростання продуктивності праці на залізничному транспорті [1,2].

Прикордонна вантажна станція Б має шість парків: приймальний, сортувальний, приймально-відправний, пасажирський, перевантажувальний і виставний.

Загальна місткість колій у парках сортувальної системи складає: приймальний парк – 866 умовних вагонів; сортувальний парк – 1277 умовних вагонів; приймально-відправний парк – 885 умовних вагонів. Загалом станція може вмістити 3028 умовних вагонів. Характеристики корисної довжини колій парків прикордонної вантажної станції Б ілюструються на рисунку 1.

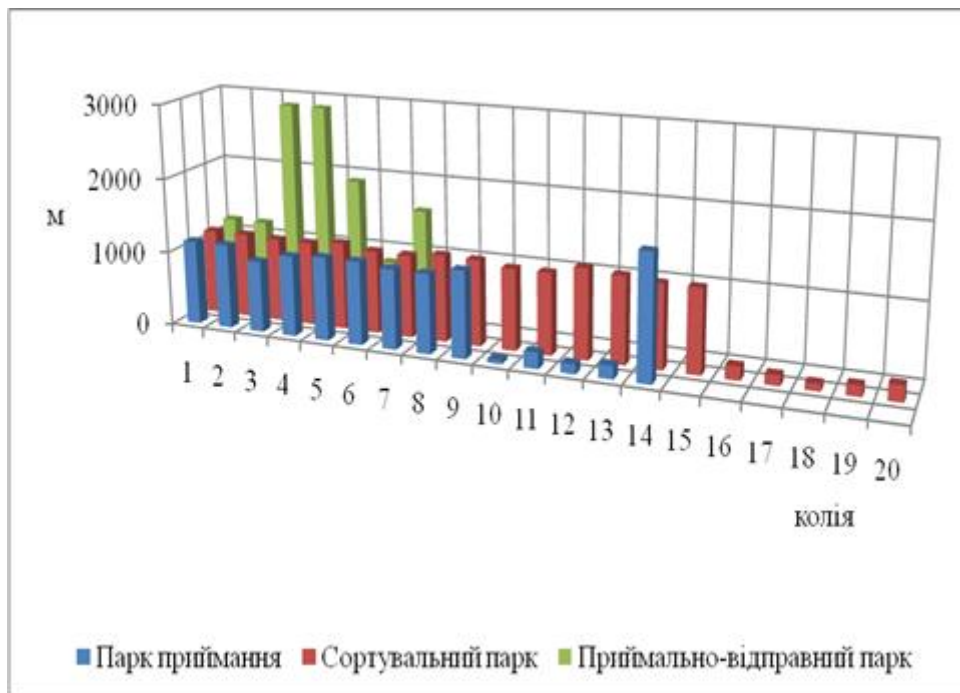


Рисунок 1 – Характеристики корисної довжини колій парків сортувальної системи прикордонної вантажної станції Б

Модель удосконалення процесу переробки вагонів на прикордонній вантажній станції базується на основі використання технічних засобів з оптимізацією їх основних параметрів для скорочення загальних експлуатаційних витрат [3, 4].

Цільова функція охоплює витрати, пов'язані з часовими та технічними аспектами: час на обслуговування рухомого складу на прикордонній вантажній станції, очікування початку основних технологічних операцій, паузи між технологічними операціями під час обслуговування, експлуатаційні витрати на утримання персоналу, витрати включають вартість технічного обладнання, задіяного в технологічному процесі прикордонної вантажної станції, а також витрати на його обслуговування

$$F = F_M + F_3 + F_d - F_e \rightarrow \min$$

$$F_M = \sum_{i=1}^k nt_k C_{вг}$$

$$F_3 = R_{\Pi} \sum_{V=1}^{V_{\Pi\Pi}} \eta_v [(t_{ov} - t_{\Pi V}) C_{\Pi\Gamma} + \rho_v (t_{PV} - t_{HV}) (C_{вг} + G_{\eta} C_T)] \quad (1)$$

$$F_d = R_{\Lambda} \sum_{V_P=1}^{V_{\Pi\Pi}} [(t_{ov_P} - t_{\Phi_{VP}}) C_{\Lambda\Gamma} + L_{\text{ЛКМ}}^{\Lambda} C_{\text{ЛКМ}}^{\Lambda}]$$

$$F_e = P_\Phi \sum_{V_\Phi=1}^{V_{\text{ПФ}}} [(\eta_{V\Phi} + \epsilon_M N_M)(t_{ov} - t_{\Phi V\Phi})C_{\text{ВГ}} + \rho_{V\Phi} \eta_{V\Phi} (t_{MV\Phi} - t_{PV\Phi})(m_V C_{\text{ВГ}} + G_\eta C_\eta)]$$

де $F_M; F_D; F_3; F_e$ - відповідні функціонали, грн/добу, що враховують добові експлуатаційні витрати внаслідок знаходження вагонів на станції і під'їзній колії при здійсненні митних процедур; витрати від затримки поїздів на підходах до станції; витрати на допоміжний пробіг локомотивів з бригадами; економію при більш ранньому відправленні сформованих поїздів;

η_v - кількість вагонів $V_{i\eta\text{П}}$, що прямує до вантажовідправників та вантажоотримувачів для здійснення митних процедур на станції;

$t_{\text{ПВ}}, t_{\text{НВ}}$ - відповідно до графіків руху, час прибуття поїзда та час очікування за прогнозом, год;

$C_{\text{ПГ}}, C_{\text{ВГ}}, C_{\text{П}}, C_{\text{ЛГ}}, C_{\text{ЛКМ}}^{\text{Д}}$ - грошові еквіваленти, відповідно: однієї поїздо-години, вагоно-години, тони дизпалива, локомотиво-години, локомотиво-кілометри одиночного пробігу, грн;

$t_{\text{PV}}, t_{\text{HV}}$ - відповідно, розрахунковий та нормативний час на розформування составу, год;

$\rho_v, \rho_{V\Phi}$ - відповідно, коефіцієнти, які враховують частку составів, з маневровою роботою (додатковою) на сортувальній гірці при розформуванні та на витяжній колії при завершенні формування;

G - витрати дизельного палива, т (електроенергії, кВт-год);

$\eta_{V\Phi}$ - кількість вагонів $P_{i\eta\Phi}$, що подаються зі станції на під'їзну колію до фронтів навантаження/вивантаження;

ϵ_M - частка затримки місцевих вагонів;

N_M - кількість місцевих вагонів;

$t_{ov}, t_{\Phi V\Phi}$ - відповідно, очікувана (запланована) тривалість відправлення поїзда, год;

$t_{MV\Phi}, t_{PV\Phi}$ - відповідно, нормативна та розрахункова тривалість на завершення оформлення документів при здійсненні митних процедур, год;

R_A - частка допоміжного пробігу локомотиву з бригадою;

$L_{\text{ЛКМ}}^{\text{Д}}$ - відстань допоміжного пробігу, лок-км;

$t_{ovP}, t_{\Phi VP}$ - відповідно, очікувана (запланована) тривалість відправлення локомотиву з бригадою резервом, год.

Дана функціональна модель враховує параметри:

$(N_{j\text{П}}, L_{j\text{П}})$ - кількість і довжина колій у парку приймання;

$(N_{j\text{с}}, L_{j\text{с}}, M_{j\text{с}})$ - довжина і кількість і колій у сортувальному парку, які закріплено за маневровим районом;

(Q_i, L_i) - норми довжини і маси поїздів (передач) за призначенням плану формування поїздів;

(T_n, H_n) - напрямок і тривалість слідування поїзда (передачі) по нитці графіка руху;

$C_{\text{вг}}; C_{\text{лг}}; C_{\text{пг}}; C_{\text{лкм}}^{\text{д}}; C_{\text{т}}; G_{\eta}$ - вартість, відповідно: ваг-год, лок-год, поїздо-год, лок-км, 1 т палива (1 кВт-год) та норми витрат.

При обмеженнях:

$$\begin{cases} C_{\text{вг}}^{\min} \leq C_{\text{вг}} \leq C_{\text{вг}}^{\max}; C_{\text{лг}}^{\min} \leq C_{\text{лг}} \leq C_{\text{лг}}^{\max}; \\ C_{\text{пг}}^{\min} \leq C_{\text{пг}} \leq C_{\text{пг}}^{\max}; C_{\text{лкм}}^{\min} \leq C_{\text{лкм}}^{\text{д}} \leq C_{\text{лкм}}^{\max} \\ G_n^{\min} \leq G_n \leq G_n^{\max}; C_{\text{т}}^{\min} \leq C_{\text{т}} \leq C_{\text{т}}^{\max} \end{cases} \quad (2)$$

Враховуючи розбіжності в грошовій оцінці різних видів витрат між виробничими підприємствами залізничного транспорту України доцільно використовувати їх усереднені значення.

Необхідно вирішити питання щодо підвищення ефективності роботи автоматизованої системи для оперативного коригування розкладу руху поїздів, використовуючи методи моделювання технології перевезень, які базуються на застосуванні технічних засобів із оптимізацією ключових параметрів.

Принцип рівноправного доступу до інфраструктурних послуг слід поширити на всіх користувачів, зацікавлених у таких послугах.

Необхідно встановити правові основи технічного регулювання та забезпечити допуск користувачів залізничного транспорту до автоматизованих систем керування залізничною мережею.

[1] Транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.

[2] Panchenko S., Ohar O., Kutsenko M., Kuleshov V. Kuleshov A. Improvement of the organizational-technological model of the route from groups of wagons of different owners. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3) (2018) 266-269. URL: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/19801>.

[3] Данько М.І., Ломотько Д.В., Запара В.М., Кулешов В.В. Формування вимог до технології взаємодії залізничних адміністрацій і власників рухомого складу. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*, 2011. Вип. 124. С. 5-11

[4] Данько М.І., Ломотько Д.В., Кулешов В.В. Удосконалення організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів різної форми власності на залізницях України. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*, 2012. Вип. 129. С. 5-12.

[5] Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. – Berlin: Springer, 2009. – 278 p.

[6] Algorithms for railway traffic management in complex central station areas / A dissertation submitted to the ETH ZURICH for the degree of DOCTOR OF SCIENCES presented by Martin Fuchsberger. – 2012. – 145 p.

[7] Thijs Dewilde, Peter Sels, Dirk Cattrysse, Pieter Vansteenwegen Robust railway station planning: An interaction between routing, timetabling and platforming. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. Vol. 3, 2013. P. 68-77.

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ КОЕФІЦІЄНТІВ
ОПЕРАТИВНОЇ ГОТОВНОСТІ**

**ENSURING RELIABILITY OF MARSHALLING YARD OPERATIONS
BASED ON OPERATIONAL READINESS COEFFICIENTS**

*канд. техн. наук М.Ю. Куценко, здобувач А.О. Толоч
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*C. Sc. (Tech). M.Y. Kutsenko, student A.O. Tolok
Ukrainian State University of Railway Transport
(Kharkiv)*

Ефективне функціонування сортувальних станцій значною мірою залежить від надійності роботи їх технологічних та технічних систем. Традиційні методи розрахунку колійного розвитку не враховують в повній мірі вплив надійності пристроїв на потрібну потужність станційних парків, що призводить до необґрунтованого завищення кількості колій [1].

У роботі запропоновано підхід до визначення потрібного колійного розвитку з урахуванням коефіцієнтів оперативної готовності технічних засобів та технологічних каналів. Оперативна готовність характеризує ймовірність того, що об'єкт виявиться у працездатному стані в довільний момент часу та буде працювати безвідмовно протягом заданого часу [2].

Коефіцієнт оперативної готовності підсистеми «Вхідні дільниці – Парк приймання – Гірка» визначається через добуток коефіцієнтів оперативної готовності технологічних каналів та технічних засобів підсистеми. При цьому враховується надійність роботи бригад ПТО, ПКО, операторів СТЦ, маневрових локомотивів, пристроїв СЦБ, зв'язку та контактної мережі [3,4].

Статистичні спостереження та метод експертних оцінок дозволили встановити, що коефіцієнт оперативної готовності сортувальної гірки складає 0,9409, технологічних каналів підсистеми – 0,96-0,94, технічних засобів – 0,9039. Інтенсивності відмов та відновлення визначені для кожного технологічного каналу окремо.

Аналіз інтервалів між поїздами показав, що для Східної системи середній інтервал становить 37,09 хв з коефіцієнтом варіації 0,91, для Західної системи інтервали відрізняються в залежності від напрямку руху. Це свідчить про узагальнений розподіл Ерланга для вхідного поїздопотоку [5,6].

Врахування коефіцієнтів оперативної готовності при розрахунку кількості колій дозволяє більш точно визначити потрібну потужність парків. Для парку приймання враховується коефіцієнт оперативної готовності гірки та всієї

підсистеми «ВхД-П-Г», для сортувального парку – витяжних колій формування, для парку відправлення – підсистеми «ВФ-ПВ-ВихД» та вихідних дільниць.

Застосування запропонованого підходу для двосистемної сортувальної станції показало, що гірковий технологічний інтервал може бути зменшений з 15,69 до 14,82 хв для Східної системи та з 16,40 до 15,89 хв для Західної системи при забезпеченні необхідного рівня надійності функціонування.

Комплексний підхід з урахуванням надійності дозволяє оптимізувати колійний розвиток станції, забезпечуючи необхідну якість обробки поїздів при мінімальних експлуатаційних витратах та раціональному використанні наявних ресурсів.

- [1] Гревцов С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках / С. В. Гревцов // Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2016. – Вип. 12. – С. 10-15.
- [2] Бобровський В. І. Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти // В. І. Бобровський // Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2014. – Вип. 12. – С. 23-29.
- [3] Огар, О.М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок: дис....докт. техн. наук : 05.22.20 / Огар Олександр Миколайович. – Х., 2011. – 307 с. – Бібліогр.: с. 17–68.
- [4] Куценко, М. Ю. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв [Текст] / М. Ю. Куценко, І. В. Берестов // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Х., 2020. – №2. – С. 34 – 37.
- [5] Hidir S., Güler H. Reliability, availability and maintainability analyses for railway infrastructure management // Structure & Infrastructure Engineering. – 2019. – Vol. 15. – P. 37-48.
- [6] Li H., Jin M., He S. Sequencing and Scheduling in Railway Classification Yards // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2015. – No. 2475. – P. 72–80.

УДК 656. 212. 5

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ З ПОЗИЦІЇ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

OPTIMIZATION OF CUT BRAKING MODES AT A MARSHALLING HUMP FROM THE RESOURCE CONSERVATION PERSPECTIVE

*канд. техн. наук М.Ю. Куценко, здобувачка М.О. Бур'ян
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*C. Sc. (Tech). M.Y. Kutsenko, student M. O. Burian
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Енергозбереження на сортувальних гірках є важливим напрямком підвищення економічної ефективності роботи залізничних станцій. Щорічні витрати електроенергії на регулювання швидкості скочування відчепів складають значні суми, тому актуальною є задача оптимізації режимів гальмування з мінімізацією енергетичних витрат [1, 4, 5].

У роботі розроблено математичну модель визначення оптимальних режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці. Цільова функція моделі спрямована

на мінімізацію річних експлуатаційних витрат на електроенергію при забезпеченні виконання технологічних обмежень безпеки [2].

Модель базується на диференційних рівняннях руху вагону та враховує конструктивні параметри гірки, характеристики вагонного парку, метеорологічні умови та вимоги до безпечних інтервалів між відчепами. Для розв'язання задачі нелінійного програмування застосовано метод спрямованого перебору варіантів з реалізацією у програмному середовищі C#.

Вихідними даними для оптимізації є: число відчепів у составі, крок гальмування на гальмових позиціях, задані мінімальні інтервали на розділових елементах, колії призначення відчепів, вага та довжина відчепів. На основі цих даних моделюється умовно-ідеальне скочування кожного відчепу при середніх значеннях швидкості та напрямку вітру, оптимальному основному питомому опорі руху [3].

Результати розрахунків для конкретної сортувальної гірки показали, що кількість спрацювань вагонних уповільнювачів на один вагон може бути зменшена: на першій гальмовій позиції з 3,358 до 2,854, на другій – з 2,484 до 2,186, на парковій – з 2,300 до 1,978.

Впровадження оптимізованих режимів гальмування дозволяє зменшити річні витрати електроенергії на 311,69 тис. кВт·год, що складає економію 474,02 тис. грн на рік при переробці 3500 вагонів на добу. Відносне зменшення енергоспоживання становить 14%.

Модель може бути адаптована для різних типів сортувальних гірок з врахуванням їх конструктивних особливостей, що робить її універсальним інструментом для енергоефективного управління сортувальним процесом [6].

[1] Огар, О.М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок: дис....докт. техн. наук : 05.22.20 / Огар Олександр Миколайович. – Х., 2011. – 307 с. – Бібліогр.: с. 17–68

[2] Куценко, М. Ю. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв / М. Ю. Куценко, І. В. Берестов // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Х., 2020. – №2. – С. 34 – 37.

[3] Widrow, B. 30 Years of adaptive neural networks: perceptron, madaline, and backpropagation artificial neural networks: concepts and theory / B. Widrow, M. Lehr // IEEE Computer Society Press, 2023. – pp. 327-354.

[4] Bielajew, A. Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and charged particle transport. – University of Michigan, 2011. – P. 348.

[5] Бодянський, Є. В. Штучні нейронні мережі: архітектури, навчання, застосування / Є. В. Бодянський, О. Г. Руденко. – Х.: ТЕЛЕТЕХ, 2014. – 369 с.

[6] Зайченко, Ю. П. Нечіткі моделі та методи в інтелектуальних системах / Ю. П. Зайченко. – К.: «Видавничий Дім «Слово», 2018. – 344 с.

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ГІРКОВИХ ОПЕРАТОРІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR HUMPS OPERATORS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS

*канд. техн. наук М.Ю. Куценко, здобувач О.М. Макарук
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*C. Sc. (Tech). M.Y. Kutsenko, student O. M. Makaruk
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Забезпечення безпеки руху на сортувальних гірках є актуальною задачею, оскільки від якості роботи операторів залежить ефективність сортувального процесу та схоронність вагонів і вантажів. Основною проблемою є те, що оператори приймають рішення в умовах відсутності повної інформації про стан колісних пар і ходові якості вагонів, що призводить до помилок у регулюванні швидкості скочування відчепів [1-2].

У роботі запропоновано систему підтримки прийняття рішень для гіркових операторів, що базується на математичному апараті нейронних мереж. Система навчається із застосуванням методу зворотного поширення похибки та орієнтована на формування рішень в умовах невизначеності при забезпеченні енергозбереження [3-4].

В основу системи покладено принцип умовно-ідеального скочування відчепів при середніх значеннях основного питомого опору руху вагонів, температури повітря, швидкості і напрямку вітру. Розроблена нейронна мережа має тришарову архітектуру: вхідний шар з 8 нейронів, два приховані шари по 16 нейронів кожен та вихідний шар з 4 нейронів. Як активаційна функція використовується сигмоїдальна функція [5-6].

Для навчання мережі використано навчальну вибірку з 800 вхідних векторів. Після навчання похибка ідентифікації бажаних параметрів гальмування склала 0,3%, що є високим результатом точності.

Система інтегрована у локальну інформаційно-керуючу систему сортувальної гірки, що включає магнітні датчики, метеорологічні датчики та систему контролю заповнення колій сортувального парку. Корегування параметрів гальмування здійснюється у два етапи: на першому визначаються умовно-оптимальні параметри, на другому вони коректуються з урахуванням поточних характеристик процесу скочування.

Впровадження системи дозволило знизити імовірність перевищення допустимої швидкості співударяння вагонів у сортувальному парку майже у 26 разів – з 0,668 до 0,026. Річна економія від зменшення витрат на ліквідацію наслідків небезпечних подій склала близько 1978 тис. грн.

Застосування нейронних мереж забезпечує швидке прийняття рішень в умовах динамічного процесу розпуску составів, що є критичним фактором для підвищення безпеки та ефективності роботи сортувальної гірки.

- [1] Куценко, М. Ю. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв / М. Ю. Куценко, І. В. Берестов // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Х., 2020. – №2. – С. 34 – 37.
- [2] Огар, О.М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок: дис....докт. техн. наук : 05.22.20 / Огар Олександр Миколайович. – Х., 2011. – 307 с. – Бібліогр.: с. 17–68
- [3] Bielajew, A. Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and charged particle transport. – University of Michigan, 2011. – P. 348.
- [4] Widrow, B. 30 Years of adaptive neural networks: perceptron, madaline, and backpropagation artificial neural networks networks: concepts and theory / B. Widrow, M. Lehr // IEEE Computer Society Press, 2023. – pp. 327-354.
- [5] Бодяньський, Є. В. Штучні нейронні мережі: архітектури, навчання, застосування / Є. В. Бодяньський, О. Г. Руденко. – Х.: ТЕЛЕТЕХ, 2014. – 369 с.
- [6] Зайченко, Ю. П. Нечіткі моделі та методи в інтелектуальних системах / Ю. П. Зайченко. –К.: «Видавничий Дім «Слово», 2018. – 344 с.

УДК 656. 212. 5

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗМЕНШЕННЯ ВАГОНОПОТОКУ

MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF TRACK DEVELOPMENT AT MARSHALLING YARDS UNDER CONDITIONS OF REDUCED WAGON FLOW

*канд. техн. наук М.Ю. Куценко, здобувач І.А. Кравець
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*C. Sc. (Tech). M.Y. Kutsenko, student I. A. Kravets
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

В умовах скорочення загальних обсягів перевезень інтенсивність використання основних пристроїв залізничних станцій не відповідає їх розрахунковій потужності, що викликає значні додаткові експлуатаційні витрати та збільшує собівартість обробки вагонів. Актуальною є задача приведення колійного розвитку станцій до існуючого рівня перевезень з позиції ресурсозбереження [1-2, 5-6].

У роботі розроблено математичну модель визначення потрібного колійного розвитку сортувальної системи з позиції мінімізації річних експлуатаційних витрат. Цільова функція включає витрати на утримання колій, регулювання швидкості скочування відцепів, затримку поїздів на підходах та зупинку через неприймання станцією, з урахуванням економії від скорочення простою составів.

Модель враховує коефіцієнти оперативної готовності технічних засобів та технологічних каналів підсистем станції. Коефіцієнт оперативної готовності визначається через інтенсивності відмов та відновлення технологічних каналів, що дозволяє оцінити надійність функціонування пристроїв станції [3].

Кількість колій у парку приймання визначається з врахуванням загальної кількості підходів, інтенсивності прибуття поїздів, технологічної тривалості зайняття колії, періоду найбільшого згущення та коефіцієнтів оперативної готовності гірки і підсистеми в цілому. Для сортувального парку враховується кількість призначень плану формування, інтервал виводу составів, щільність потоку накопичення та надійність витяжних колій формування.

Модель реалізовано на ПЕОМ із застосуванням пакету Microsoft Office Excel у середовищі Visual Basic. Паралельно виконувалось моделювання скочування вагонів з сортувальної гірки в залежності від кількості уповільнювачів на парковій гальмовій позиції.

Результати моделювання для конкретної станції показали можливість скорочення колійного розвитку: в Східній системі парк приймання з 19 до 5 колій, сортувальний парк з 42 до 30 колій, парк відправлення з 11 до 10 колій; у Західній системі відповідно з 13 до 7, з 32 до 27 та з 11 до 8 колій, транзитний парк з 8 до 7 колій.

Економічний ефект від оптимізації колійного розвитку за п'ять років складає 60737 тис. грн, при цьому річна економія становить 19530 тис. грн. Економія досягається за рахунок зменшення витрат на утримання колій, скорочення витрат на регулювання швидкості скочування відчепів та зменшення затримок поїздів [3].

Запропонований підхід дозволяє систематично виконувати дослідження ритмічності функціонування сортувальних систем з метою виявлення раціонального завантаження колійного розвитку у відповідності до реальних обсягів роботи.

- [1] Бобровський В. І. Дослідження ефективності конструкції сортувальної гірки з горбами різної висоти // В. І. Бобровський // Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2014. – Вип. 12. – С. 23-29.
- [2] Гревцов С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках / С. В. Гревцов // Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2016. – Вип. 12. – С. 10-15.
- [3] Куценко, М. Ю. Аналіз існуючих методів та методик розрахунку сортувальних пристроїв [Текст] / М. Ю. Куценко, І. В. Берестов // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Х., 2020. – №2. – С. 34 – 37.
- [4] Огар, О.М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок: дис....докт. техн. наук : 05.22.20 / Огар Олександр Миколайович. – Х., 2011. – 307 с. – Бібліогр.: с. 17–68.
- [5] Li H., Jin M., He S. Sequencing and Scheduling in Railway Classification Yards // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2015. – No. 2475. – P. 72–80.
- [6] Hidir S., Güler H. Reliability, availability and maintainability analyses for railway infrastructure management // Structure & Infrastructure Engineering. – 2019. – Vol. 15. – P. 37-48.

НОВІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ МЕХАНІЗМІВ В УМОВАХ ДИСКРЕТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ НА ТРАНСПОРТІ

NEW PRINCIPLES OF FORMING LOGISTICS MECHANISMS IN CONDITIONS OF DISCRETION OF THE INFORMATION FIELD IN TRANSPORT

*А.О. Лямзін д.т.н., проф., Є.О. Український к.т.н., доц.
Державний університет «Київський Авіаційний Інститут» (м. Київ)*

*A.O. Lyamzin, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ukrainian E.O. Ph.D., Assoc. Prof.
State University «Kyiv Aviation Institute» (Kyiv)*

Гостра конкуренція з боку західних компаній, що активно освоюють український ринок, змушує логістичних операторів диверсифікувати свої послуги, розробляти і просувати нові сервіси для клієнтів. Подібний вектор розвитку компаній обумовлений бажанням втриматися на ринку логістики. Строгий контроль якості послуг, що надаються перестав бути чимось унікальним - сертифікація ISO не настільки вже й рідкісне явище на ринку транспортно-експедиторських компаній. І хоча один з найважливіших принципів ISO говорить, що безперервне удосконалення дозволяє створити стійку систему прийняття та закріплення інноваційних змін в компанії, на практиці впровадження системи контролю якості не дає ніяких конкурентних переваг, ставши просто необхідною умовою роботи. Але саме побудова систем якості на вітчизняних підприємствах сприяло розвитку системи supply chain (ланцюга поставок). З'явилося безліч ефективних варіантів взаємодії логістичних провайдерів і учасників ринку, що впровадили систему управління ланцюгами поставок. Прийшло розуміння того, що логістика інформаційних потоків, тобто оптимізація інформаційного поля всьому ланцюгу поставок стала одним з основних компонентів не тільки логістики в цілому, але і послуг логістичних операторів зокрема. Разом з тим в логістиці і понині є актуальною проблема ресурсів, оскільки затребуваність новаторських рішень на сучасному ринку вкрай висока. Забезпечити скорочення термінів реалізації конкурентних переваг дозволяє використання коштів нових кадрових технологій і активного тайм-менеджменту. А тому оптимізація обробки і передачі інформації між логістичним провайдером і клієнтом - один з найбільш ефективних шляхів економії ресурсів і скорочення витрат.

Якщо взяти до уваги, що оптимізація руху інформації вимагає серйозних фінансових і тимчасових витрат, а саме побудова системи на основі хаотичних і розрізнених даних неможливо, то відповіді на ці питання стають тим більш

важливі. Однак сучасний ринок вчить, що рішення ніколи не буває єдино вірним і безперечним. Це відноситься і до наведених вище питань. Разом з тим, ґрунтуючись на власному досвіді побудови, хотілося б виділити центральний, обов'язковий етап оптимізації. Тільки крізь призму опису і стандартизації всіх процесів в логістичній компанії можна зрозуміти, як забезпечити стабільність потоків даних і уникнути інформаційних прогалин, а також реалізувати нові технології і сервіси для клієнта. Ефективніше один раз вкласти кошти і ресурси в опис і стандартизацію процесів, ніж багато разів відволікатися і витратитися на виправлення недоліків в спочатку помилкових інформаційних технологіях. Отже, кожна компанія на основі стандартів якості ISO може описати внутрішні процеси (основні і допоміжні) і виділити відмітні ознаки для кожного з них. Потім слід прописати і впровадити процедури збору цих ознак як для задіяних клієнтом послуг, так і для кожного з процесів. Отримана статистика дозволить виявити слабкі місця в реалізованих процесах компанії, намітити контури і основу інформаційної системи і вибрати відповідний програмний продукт. Це - головне, що потрібно зробити. Наприклад, компанія STS Logistics за результатами проведеного моніторингу процесів прийняла рішення про формування власного ІТ-підрозділу. Основним завданням цього відділу є створення і вдосконалення програмного продукту, що систематизує внутрішні і зовнішні потоки інформації. Більш того, на його плечі лягли обов'язки зі збору даних від клієнтів та інтегруванню нашої інформаційної системи в програмні продукти замовників. Планується, що подальший розвиток функціональності ІТ-продуктів і скорочення часових витрат на введення і обробку інформації має сприяти виведенню компанії на рівень 3PL- і навіть 4PL-провайдерів логістичних послуг. А започаткувати роботу з інформаційними структурами може систематизація найпростіших для логістики даних про вступників вантажах, необхідних документах і грошових витратах.

[1] Information Technology [Electronic resource] / International Organization for Standardization (ISO). – Mode of access: Information Technology & People | Emerald Publishing (viewed on 21.09.2025).

**ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МИТНОГО КОНТРОЛЮ НА
ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

**INTELLECTUALIZATION OF CUSTOMS CONTROL PROCESSES IN
RAILWAY TRANSPORT**

*Доктор техн. наук В.К. Мироненко¹,
канд. техн. наук О.С. Пестременко-Скрипка²*

¹Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ)

² Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

V.K. Myronenko¹, Dr. Sci. Eng.,

O.S. Pestremenko-Skrypka², PhD in Sci. Eng

¹State University of infrastructure and technologies (Kyiv)

²Ukrainian State University of railway transport (Kharkiv)

Сучасні тенденції розвитку митної справи та транспорту вимагають переходу до інтелектуальних систем управління, здатних забезпечити швидкість, безпеку та прозорість митних процедур. На залізничному транспорті, де пропускна спроможність і точність взаємодії між службами мають вирішальне значення, інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та цифрових технологій відкриває нові можливості для підвищення ефективності митного контролю [1].

Інтелектуальні системи аналізу даних, засновані на алгоритмах машинного навчання, дозволяють здійснювати автоматичне виявлення ризиків, аналіз пасажирських і товарних потоків, а також прогнозування можливих порушень митних правил. Використання технологій комп'ютерного зору і систем розпізнавання об'єктів забезпечує автоматизовану ідентифікацію вантажів і багажу, мінімізуючи вплив людського фактора.

Концепція «розумного пункту пропуску» (Smart Border Station) передбачає застосування сенсорних систем, відеоаналітики, електронних вагових платформ та сканерів, інтегрованих у єдину інформаційну систему залізничного вузла. Це сприяє зниженню часу обробки потоку пасажирів, підвищенню рівня безпеки та оптимізації роботи митних підрозділів [2].

Подальший розвиток цифрових інструментів митного контролю передбачає створення адаптивних моделей прийняття рішень, які на основі аналізу великих масивів даних зможуть автоматично визначати пріоритетність перевірок. Застосування нейронних мереж у поєднанні з ризик-орієнтованими підходами дозволить прогнозувати можливі порушення митного законодавства ще до моменту прибуття поїзда на прикордонну станцію.

Не менш важливим напрямом є інтеграція національних залізничних і митних інформаційних систем із європейськими цифровими платформами (наприклад, NCTS та eFTI), що забезпечить безперервний обмін даними між суміжними

країнами та скоротить час оформлення міжнародних перевезень. Такий підхід підвищує довіру між учасниками транспортно-логістичного процесу, зменшує кількість ручних операцій і сприяє гармонізації процедур з вимогами ЄС.

У перспективі очікується створення цифрової екосистеми митного контролю на транспорті, де дані з систем управління рухом поїздів, митного оформлення, прикордонного контролю та логістичних операторів будуть об'єднані в єдиний аналітичний простір. Такий підхід відповідає принципам Індустрії 4.0 та забезпечує сталий розвиток транспортної інфраструктури України у відповідності до європейських стандартів.

[1] Стратегія здійснення цифрового розвитку, цифрових трансформацій і цифровізації системи управління державними фінансами на період до 2025 року. – Київ: Мінцифра, 2021.

[2] Державна митна служба України. Концепція «Розумний пункт пропуску». – URL: <https://customs.gov.ua>

УДК 656.212

ПРОЦЕДУРА РОЗРАХУНКУ ШВИДКОСТІ ВИХОДУ ВІДЧЕПІВ З ПАРКОВОЇ ГАЛЬМОВОЇ ПОЗИЦІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ СОРТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ПРОТИУХИЛАМИ

A PROCEDURE FOR CALCULATING THE EXIT SPEED OF CARS FROM THE PARKING BRAKE POSITION IN THE CONDITIONS WHEN USING A SORTING DEVICE WITH COUNTER-SLOPES

*д-р техн. наук, професор О.М. Озар, аспірант І.В. Кондратьєв,
аспірант А.О. Левченко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*Dr.Sc., professor O. Ohar, graduate student I. Kondratiev,
graduate student A. Levchenko
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Точне регулювання швидкості скочування відчепів у сортувальному парку є ключовим, але водночас дуже складним етапом у процесі сортування вагонів. Його суть полягає в необхідності забезпечити такий режим руху кожного окремого відчепа, щоб він досяг своєї цільової точки з допустимою швидкістю співударяння і водночас не створив «вікно» на сортувальній колії.

Цьому завданню перешкоджає низка чинників. Основними серед них є відмінності характеристик вагонів, нестабільні зовнішні умови, складний профіль колій, технічні труднощі у налаштуванні гальмівних пристроїв, а також необхідність швидкої реакції операторів гальмових позицій.

Недостатнє або неточне регулювання швидкості може призводити до пошкодження вагонів та вантажу внаслідок надмірного удару, створення аварійних ситуацій, необхідності ручного втручання у разі зупинки відчепа на

колії, а також до дестабілізації роботи всього сортувального парку. Ці труднощі також залишаються актуальними у разі використання систем сортування з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів [1].

У нещодавніх наукових публікаціях значна увага приділяється проблемам точного регулювання швидкості скочування відчепів на сортувальних гірках. Зокрема, у дослідженні [2] розглядається актуальне питання оптимізації швидкості виходу вагонів з уповільнювачів з урахуванням стохастичних факторів, таких як опір коченню, метеоумови, а також похибки роботи гальмових механізмів. У межах цієї роботи встановлено допустимі межі початкових швидкостей виходу вагонів з гальмівних позицій, які гарантують безпечне розведення відчепів на стрілочних переводах, а також запропоновано спрощений алгоритм вибору режимів гальмування для автоматизованих систем керування гірками. Дослідження [3] також присвячене аналізу впливу випадкових змінних, на точність прогнозування параметрів руху відчепів. Автори визначили, що головними чинниками, які визначають середньоквадратичне відхилення тривалості скочування, є протяжність дільниці вільного ходу і задана швидкість виходу з гальмівної позиції. У праці [4] була формалізована задача вибору оптимальних гальмівних режимів для всіх відчепів состава, що забезпечують ефективне розведення суміжних вагонів як на стрілочних переводах, так і на гальмових позиціях спускної частини гірки.

У ході проведених досліджень було з'ясовано, що виконання точного розрахунку швидкості виходу відчепів ускладнюється через вплив численних випадкових чинників, серед яких ключовим є опори руху зі стохастичними властивостями. Для вирішення цієї задачі запропоновано процедуру обчислення швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції, яка базується на оперативному урахуванні метеоумов, геометричних характеристик колій, складу відчепів і їхніх поточних параметрів руху.

Уперше в межах задачі прицільного гальмування запропоновано метод оцінки приблизного значення основного питомого опору руху шляхом реєстрації актуальних значень швидкості та напрямку вітру, а також фактичної швидкості руху при проходженні першою віссю відчепа контрольних точок. Такий підхід дозволяє суттєво покращити точність визначення параметрів гальмування. Для забезпечення впровадження цього методу в практичну діяльність розроблено концепцію автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами.

Запропонована процедура включає в себе модуль оптимізації, який забезпечує визначення такого значення швидкості виходу відчепа з паркової гальмової позиції, яке мінімізує відхилення від бажаної швидкості зіткнення з вагонами на підгірковій колії.

Підхід, що пропонується, може бути інтегрований в автоматизовані системи керування парковими уповільнювачами з метою підвищення надійності та ефективності функціонування сортувального пристрою, що використовує гравітаційно-прицільне гальмування.

- [1] Ohar O., Berestov I., Kutsenko M., Smachilo J., Kogaro I. Using the new car braking systems in marshalling yards. *ICTE in Transportation and Logistics 2019 : Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. 2020. pp. 203-210. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_27
- [2] Kozachenko D., Grevtsov S., Titova A. Determination of the Optimal Cars Exit Speeds from the Retarders on Sorting Humps. *Proceedings of 27th International Scientific Conference Transport Means 2023. Part II*. 2023. pp. 966-971. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85176262755&origin=recordpage>
- [3] Kozachenko D., Hermaniuk Y., Grevtsov S. The influence of random factors on the estimation of the speed and time of rolling cuts from sorting humps. *EOT-2023 : MATEC Web of Conferences*. Volume 390, 04001. 2024. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439004001>
- [4] Дорош А. С. Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці. *Транспортні системи та технології перевезень : збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2021. Вип. 22. С. 28-35.

УДК 656.2:004.89

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ СЕРВІСНИХ СИСТЕМ МИТНОГО КОНТРОЛЮ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

INTELLIGENT DESIGN OF SERVICE SYSTEMS OF CUSTOMS CONTROL IN RAILWAY TRANSPORT

*Канд. техн. наук О.С. Пестременко-Скрипка,
магістр О.О. Федорчук*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*O.S. Pestremenko-Skrypka, PhD in Sci. Eng
O.O. Fedorchuk, M.Sc*

Ukrainian State University of railway transport (Kharkiv)

Розвиток транспортної галузі України потребує впровадження інтелектуальних підходів до проєктування сервісних систем митного контролю, що функціонують у складних умовах прикордонних залізничних станцій. Сучасні технології дозволяють здійснювати цифрове моделювання процесів контролю, визначати оптимальні технічні параметри роботи постів та передбачати поведінку системи в умовах змін пасажиропотоків і навантаження [1].

Інтелектуальне проєктування таких систем базується на використанні цифрових двійників митних пунктів контролю, що дає змогу створювати віртуальні моделі взаємодії персоналу, обладнання та інформаційних систем. Це дозволяє тестувати різні сценарії роботи без ризику порушення реального процесу, оцінювати ефективність інженерних рішень і підвищувати якість обслуговування пасажирів.

Сервісна складова митного контролю на залізниці також зазнає трансформації під впливом цифровізації. Автоматизовані сервіси самообслуговування, електронна черга, попереднє декларування та інтегровані мобільні додатки формують новий рівень взаємодії пасажирів з митними

структурами. Такі сервіси знижують суб'єктивний вплив людського фактора, скорочують час перебування на станції та підвищують комфорт користувачів [2].

Використання методів системної інженерії та багатофакторного моделювання у процесі інтелектуального проєктування дає змогу оптимізувати розміщення обладнання, визначати необхідну кількість персоналу та технічних засобів контролю. Завдяки симуляційним інструментам можливо прогнозувати затримки, виявляти вузькі місця в технологічному процесі та розробляти адаптивні рішення для їх усунення.

Особливу увагу приділено людиноорієнтованому підходу до сервісу митного контролю. Впровадження ергономічних рішень у плануванні приміщень, зручних інтерфейсів для пасажирів і операторів, а також автоматизованих систем підтримки прийняття рішень для працівників митниці підвищує якість сервісу та рівень безпеки. Поєднання технологічних інновацій із комфортом користувача формує сучасну концепцію «розумної станції» нового покоління.

Удосконалення процесів інтелектуального проєктування сервісних систем митного контролю сприятиме створенню єдиної цифрової платформи транспортного сервісу, інтегрованої з митними, прикордонними та залізничними інформаційними системами. Це є основою побудови ефективного, безпечного та клієнтоорієнтованого середовища міжнародних перевезень.

[1] Стратегія цифрової трансформації транспортної галузі України до 2030 року. – Мінінфраструктури України, 2023.

[2] Державна митна служба України. Концепція «Розумний пункт пропуску». – URL: <https://customs.gov.ua>

УДК 629.463.027.27-048.35

УРАХУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ У МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

INCORPORATING OPERATIONAL FACTORS INTO THE DIAGNOSTIC MODELING OF PASSENGER CAR BRAKE SYSTEMS

Д.т.н., В.Г. Равлюк¹, к.т.н., В.М. Ільчишин², Я.В. Дерев'янчук¹

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

V. G. Ravlyuk¹ Dr. Sc. (Tech.), V. M. Ilchyshyn² PhD (Tech.), Ya. V. Derevianchuk¹

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²National University "Lviv Polytechnic" (Lviv)

Забезпечення стабільної та безвідмовної роботи гальмової системи під час експлуатації пасажирських поїздів є важливою складовою системи ремонту та технічного обслуговування вагонів. Для своєчасного виявлення можливих

несправностей гальмового обладнання доцільним є впровадження сучасних діагностичних засобів, які підвищують рівень безпеки руху та запобігають транспортним подіям [1, 2]. Розроблення діагностичних систем для контролю роботи гальмового обладнання є важливим напрямом підвищення ефективності технічного обслуговування пасажирських вагонів. Основою створення таких систем є математична модель, яка відображає закономірності витрати повітря та зміни тиску у пневммережах і забезпечує можливість порівняння розрахункових і експериментальних даних для виявлення відхилень у роботі гальмових пристроїв.

Типова математична модель пневматичного привода гальмової системи включає рівняння зміни тиску в порожнинах нагнітання та рівняння руху виконавчого органа. Ключовим елементом цієї моделі є опис процесів витікання повітря через дросельні елементи, які визначають динаміку заповнення резервуарів, камер і гальмових циліндрів. У моделі враховуються основні режими роботи пневмосистеми — ізотермічний, адіабатичний та політропний. Процес перетікання повітря, для спрощення розрахунків, розглядають як адіабатичний, що відповідає теплоізолюваному стану трубопроводів під час швидкоплинних перехідних процесів у гальмовій системі. В умовах адіабатичного потоку для розрахунку витрати газу G використовується модель Сен-Венана і Ванцеля [3]:

$$G = \mu \cdot f \cdot P_M \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{(k-1) \cdot R \cdot T_M} \cdot \left[\frac{P_{II}^{\frac{2}{k}}}{P_B} - \frac{P_{II}^{\frac{k+1}{k}}}{P_B} \right]}, \quad (1)$$

де P_{II} — абсолютний тиск після дроселя, МПа; P_B — абсолютний тиск на вході дроселя, МПа; k — показник адіабати; μ — коефіцієнт витрати повітря; f — площа поперечного перетину дросельного отвору, м²; T_M — температура повітря у повітропроводі, К; R — універсальна газова стала; G — масова витрата, кг/с.

У термодинамічних розрахунках коефіцієнт витрати μ визначається як добуток коефіцієнта швидкості, що враховує втрати енергії потоку через тертя, і коефіцієнта стиснення, який характеризує зменшення ефективної площі перерізу струменя під час витікання робочого середовища. У практичних інженерних розрахунках цей коефіцієнт розглядають як відношення дійсної витрати до її теоретичного значення, отриманого для ідеальних умов течії. Таким чином, коефіцієнт витрати узагальнює вплив геометричних, гідродинамічних і теплотехнічних чинників, які не завжди можна точно врахувати аналітично.

З метою підвищення достовірності діагностування пневматичної системи гальмового обладнання пасажирських вагонів у подальшому розвитку діагностичної моделі (1) доцільно враховувати експлуатаційні чинники, серед яких особливо значущими є засмічення каналів і калібрувальних отворів. Це явище істотно впливає на стабільність параметрів повітряного потоку, змінює гідродинамічні характеристики системи та призводить до погіршення роботи окремих пневматичних елементів. Для урахування зазначених чинників у модель

(1) вводиться додатковий коефіцієнт, що характеризує погіршення проходження повітря через дроселі, калібрувальні отвори або канали внаслідок забруднення, відкладень або мікродеформацій. Використання такого коефіцієнта дає змогу точніше відображати реальний технічний стан пневматичної мережі, підвищити точність оцінювання працездатності системи та ефективність процесів діагностування.

Висновки. Математичне моделювання процесів у пневмомережах пасажирського рухомого складу створює теоретичну основу для розроблення діагностичних систем нового покоління. Такі системи забезпечують своєчасне виявлення несправностей, прогнозування стану гальмового обладнання та оптимізацію процесів технічного обслуговування. Урахування реальних умов експлуатації сприяє підвищенню надійності й безпеки гальмових систем пасажирських вагонів.

Визначено, що удосконалення діагностичної моделі шляхом урахування впливу засмічення каналів і калібрувальних отворів є перспективним напрямом підвищення точності моделювання та надійності контролю технічного стану пневматичних систем гальмового обладнання пасажирських вагонів.

[1] Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України: ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015: Затв. нак. Укрзалізниці від 28.10.1997. № 264-Ц. Київ : 2004. 146 с.

[2] Бабаєв, А. М., Дмитрієв Д. В. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць : навч. посіб. – Київ: ДЕТУТ, 2007. 176 с.

[3] Ravluyk V., Derevianchuk I., Afanasenko I., Ravluyk N. Development of electronic diagnostic system for improving the diagnosis reliability of passenger car brakes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 2(9(80)). P. 35–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.66007>

УДК 629.4

PLUG-IN ГІБРИДНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА ДЛЯ КАР'ЄРНОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ З АВТОНОМНИМ РУХОМ

POWER UNIT FOR A QUARRY ELECTRIC LOCOMOTIVE WITH AUTONOMOUS MOTION

канд. техн. наук Є.С.Рябов¹, В.О.Яготін^{1,2}, А.С.Тихонов^{1,2}

*¹Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут» (м. Харків)*

²ТОВ «МТПЗ» (м. Миколаїв)

Ie.Riabov, PhD (Tech.)¹, V.Yahotin^{1,2}, A.Tykhonov^{1,2}

¹National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkiv

²LLP «MLRP» Mykolaiv

На вітчизняних гірничо-збагачувальних комбінатах зі значними обсягами видобутку копалин використовується електрифікований транспорт, що в умовах

переходу до «зеленої» сталі сприяє стабільній роботі підприємств галузі та підвищенню конкурентоздатності продукції [1]. Водночас при розробці нових горизонтів та родовищ електрифікація ліній може виявитися недоцільною. Наявні тягові агрегати зазвичай комплектуються дизельною секцією, але тягові властивості агрегату при роботі від дизельної секції не дозволяють здійснювати повноцінний рух з навантаженням поїздом. Тому на таких маршрутах використовуються тепловози.

Для більш повного використання наявної системи електричної тяги доцільно використання тягового рухомого складу, в складі тягової системи якого буде енергетична установка для забезпечення автономного руху неелектрифікованими ділянками із забезпеченням високих тягових властивостей. Подібне рішення використовується на магістральних локомотивах, які можуть використовуватися для водіння поїздів по частково електрифікованим маршрутам [2].

В умовах постійного зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів та впровадження більш жорстких екологічних вимог створення ефективної енергетичної установки є комплексною задачею.

Аналіз експлуатаційних даних та результатів моделювання показує, що потужність локомотиву у тягових режимах змінюється у широкому діапазоні: від номінальної при русі на керівному підйомі з навантаженими думпками до величини, рівної 15-20% номінальної потужності, при русі по горизонтальній ділянці з порожніми вагонами. При маневруванні при навантаженні та розвантаженні також споживається мінімальна потужність, при чому на режими з частковою потужністю припадає тривала робота. Для дизельних двигунів, які традиційно використовуються на локомотивах, режими роботи, які близькі до холостого ходу, характеризуються високим питомим споживанням пального. Для усунення таких режимів доцільно використати бортові накопичувачі для живлення тягового електроприводу та допоміжних систем [3]. Аналіз публікацій показує, що при використанні plug-in накопичувачів енергії можливе заряджання накопичувача енергії від стаціонарного джерела електроенергії, вартість кіловат-години якої нижча, ніж вартість кіловат-години енергії, виробленої бортовим дизель-генератором. Бортівий накопичувач енергії також можливо заряджати при електродинамічному гальмуванні, що сприяє зменшенню споживання паливно-енергетичних ресурсів. Тобто при використанні plug-in гібридних енергетичних установок можливе зменшення витрат на паливно-енергетичні ресурси.

Іншим важливим аспектом при створенні енергетичної установки є дотримання екологічних вимог. Незважаючи на те, що використання накопичувача енергії зменшує шкідливі викиди, первинне джерело енергії має працювати з мінімальними викидами.

На сьогоднішній день можливо виділити такі типи теплових двигунів, які можливо використати у енергетичній установці:

- дизельний двигун,
- поршневий двигун на біопаливі;

- газопоршневий двигун;
- водневий поршневий двигун;
- газотурбінний двигун.

Дизельний двигун є «традиційним» для автономних локомотивів. Сучасні дизельні двигуни створюються з урахуванням чинних екологічних вимог.

Використання біопального у поршневих двигунах суттєво зменшує шкідливі викиди у порівнянні з двигунами, які працюють на дизельному пальному. Найпоширенішим є використання HVO (гідрогенізована рослинна олія), при чому серійні дизельні двигуни допускають робота на цьому паливі без додаткових налаштувань. Відомі також дослідження щодо використання етанолу та сумішей з ним для дизельних двигунів, що також зменшує шкідливі викиди. Чистий етанол використовується у двигунах з іскровим запаленням.

Газопоршневі двигуни у якості пального використовують природній газ (LPG,CNG) та біогаз, який отриманий з різних видів органічної сировини. Такі двигуни мають низькі викиди шкідливих речовин. Зазвичай газопоршневі двигуни – з іскровим запаленням, проте газ може використовуватися у дизельних двигунах, конвертованих для роботи газомоторному пальному.

Водневі поршневі двигуни у якості пального використовують водень. При роботі такого викиди вуглецевого газу практично відсутні, однак необхідне використання каталізаторів для усунення викидів оксиду азоту.

Перевагами газотурбінних двигунів є можливість роботи на багатьох видах пального – від мазутів до водню. При цьому викиди залежать від типу пального та технологій, які використовуються для зменшення шкідливих викидів. Для більшості застосувань шкідливі викиди менші, ніж у дизельних двигунів співставної потужності.

Як видно з наведеного, у порівнянні з дизельним двигуном, усі інші типи теплових двигунів продукують менші викиди. При цьому вартість кіловат-години енергії, яка виробляється двигунами, який працює на природньому газі та мазуту, менша, ніж вартість кіловат-години, виробленої дизельним двигуном. Тобто при використанні цих палив прогнозується менші витрати на паливо.

Іншим типом джерела енергії, яке може бути використане в енергетичній установці локомотиву, є паливна комірка – електрохімічний генератор, який завдяки безпосередньому перетворенню енергії хімічної реакції у електричну енергію має високу ефективність. При роботі паливних комірок не виділяються шкідливі викиди. У випадку використання енергії відновлюваних джерел для вироблення водню досягаються нульові викиди при експлуатації рухомого складу, обладнаного паливними комірками. Проте на сьогоднішня вартість водню достатньо висока, що стримує поширення водневих технологій.

Варто відзначити, що на сьогоднішня можливе створення повністю акумуляторного локомотиву, який не потребує бортового джерела енергії на викопному пальному. У випадку заряджання накопичувача енергії від відновлювальних джерел відсутні шкідливі викиди при експлуатації таких локомотивів.

Таким чином, на сьогоднішній день доступні різні типи первинних джерел енергії, використання яких можливе у енергетичній установці локомотиву. Зважаючи, що перелічені джерела енергії мають різні характеристики та властивості, для вибору типу джерела енергії необхідне проведення комплексних досліджень, які враховують технічні характеристики джерела енергії, особливості експлуатації тощо. Для застосування деяких видів теплових двигунів необхідне створення відповідної інфраструктури, побудова логістики для отримання пального, впровадження нових підходів до технічного обслуговування, ремонт і т.д. Це потребує ретельного дослідження та співставлення варіантів, що забезпечить вирішення задачі зі створення plug-in гібридної енергетичної установки для кар'єрного електровозу з автономним рухом.

[1] Губіна В.Г., Чорноног С.С. Стан і перспективи залізничної галузі України. *Геохімія техногенезу*, 2024. Випуск 10 (38). С.20-27 <https://doi.org/10.32782/geotech2024.38.02>

[2] Riabov, I., Overianova, L., Kondratieva, L., Plyutin, O., Overianov, A. Dual-mode powered locomotives for main routes. *Transport Systems and Technologies*, 2025. №45. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2025-45-4>

[3] Riabov, I., Goolak, S., Neduzha, L. An Estimation of the Energy Savings of a Mainline Diesel Locomotive Equipped with an Energy Storage Device. *Vehicles*, 2024. №6. P. 611–631. <https://doi.org/10.3390/vehicles6020028>

УДК 629.4

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ПРОМИСЛОВИХ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВАХ

PROSPECTS FOR THE USE OF HYBRID POWER UNITS ON INDUSTRIAL SHUNTING LOCOMOTIVES

канд. техн. наук Є.С.Рябов¹, С.В.Рой^{1,2}, А.В.Качан^{1,2}, Ганчо О.О.^{1,2}

¹*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут» (м. Харків)*

²*ТОВ «МТПЗ» (м. Миколаїв)*

Ie.Riabov, PhD (Tech.)¹, S.Roi^{1,2}, A.Kachan^{1,2}, O.Hancho^{1,2}

¹*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Kharkiv)*

²*LLC «MLRP» (Mykolaiv)*

У багатьох виробничих процесах промислових підприємств використовується залізничний транспорт, де у якості тягових одиниць використовують серійні маневрові тепловози. Аналіз даних щодо фактичних експлуатаційних параметрів показує, що серійні тепловози мають «надлишкові» параметри [1]. Характерним є те, що найбільша потужність, з якою працює дизельний двигун, не перевищує 50% його номінальної потужності, яка для серійних тепловозів становить близько 900 кВт. Також є тривалими – 60% і вище від загального часу роботи – режими роботи на холостому ході дизеля, значна частина яких припадає на очікування поїзної роботи.

Для таких умов експлуатації доцільне використання локомотивів, оснащених гібридною енергетичною установкою у складі дизельного двигуна (чи або іншого теплового двигуна) та системи накопичування енергії [1,2]. Використання гібридної енергетичної установки дозволяє зменшити споживання дизельного пального шляхом виключення роботи дизельного двигуна у режимі холостого ходу, де питома витрата пального є високою. У [3] наведено дані щодо дизеля потужністю 590 кВт, згідно яких питома витрата пального у режимі при частоті обертання холостого ходу 600 об/хв з потужністю 20 кВт становить близько 0,84 кг/кВт·год, в той час як мінімальна значення питомої витрати становить близько 0,24 кг/кВт·год. Якщо здійснити заряджання накопичувача енергії від дизель-генератора у режимі з найменшою питомою витратою пального, а потім здійснювати живлення систем локомотиву при зупиненому дизелі, то споживання пального зменшиться. Еквівалентна питома витрата пального для такого варіанту живлення може бути оцінена згідно [4] на 20% вищою, ніж найменша витрата пального. Для наведеного дизельного двигуна, який задовольняє використанню на промислових маневрових локомотивах, еквівалентна питома витрата пального складе 0,29 кг/кВт·год, що практично в 2,9 рази менше питомої витрати пального у режимі, близького до холостого ходу. Наприклад, при потужності навантаження 20 кВт витрата пального при роботі дизеля складе 16,8 кг. А у випадку живлення від бортового накопичувача, який попередньо заряджався від дизеля у режимі мінімальної питомої витрати, витрата пального при живленні навантаження 20 кВт протягом години складе 5,8 кг. Тобто у режимах з низькою потужністю доцільно використовувати живлення від накопичувача, який заряджений від дизель-генератора.

Використання гібридної енергетичної установки дозволяє використати дизельний двигун з меншою потужністю, характеристики якого адаптовані для найбільш ефективної роботи у тривалих режимах роботи локомотиву. У режимах, де необхідно забезпечити пікову потужність, живлення навантаження здійснюється сумісно від дизель-генератора та накопичувача енергії.

Іншим варіантом гібридизації локомотиву є використання plug-in гібридної енергетичної установки, характерною особливістю якої є застосування бортового накопичувача збільшено енергоємності. Для ефективного застосування таких локомотивів їх заряджання необхідно здійснювати від стаціонарних джерел електроенергії з низькою вартістю електроенергії та мінімальним вуглецевим слідом, що важливо декарбонізації виробництв. На сьогоднішня вартість кіловат-години енергії, виробленої дизель-генератором, приблизно удвічі дорожча, ніж вартість кіловат-години, отриманої при заряджанні накопичувача від промислової мережі. Тобто при використанні plug-in гібридних енергетичних установок зменшуються витрати на паливно-енергетичні ресурси. Однак для таких локомотивів потрібно створення інфраструктури для заряджання, що збільшує капітальні затрати.

Таким чином, при використанні гібридних енергетичних установок зменшується споживання паливно-енергетичних ресурсів, витрат на них та

зменшяться шкідливі викиди. Це робить доцільним використання таких енергетичних установок на промислових маневрових локомотивах.

- [1] Рябов Є. С., Якунін Д. І., Рой С. В., Яготін В.О., Качан А. В. Визначення параметрів plug-in гібридної тягової системи для промислового маневрового локомотиву. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування.* 2024. №2(18). С.63-68 <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2024.02.08>
- [2] Riabov, Ie., Yeritsyan, B., Kachan, A., Roi, S., Tykhonov, A. Prospects for a Hybrid Shunting Locomotive in Industrial Enterprise Environment. *Proceedings of the International Conference Transport Means -2024.* October 20204, P. 253–257
- Riabov, I., Overianova, L., Kondratieva, L., Plyutin, O., Overianov, A. Dual-mode powered locomotives for main routes. *Transport Systems and Technologies*, 2025. №45. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2025-45-4>
- [3] Rymaniak L., Daszkiewicz P., Merksiz J., Bolzhelarskyi Y.V. Method of determining the locomotive engine specific fuel consumption based on its operating conditions. *AIP Conference Proceedings*. 2019. №2078. 020053. <https://doi.org/10.1063/1.5092056>
- [4] Буряковський С.Г., Овер'янова Л.В., Нещерет В.О., Подоляк А.С. Керування plug-in гібридною енергетичною установкою дизель-поїзду. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування.* 2024. №2(18). С.57-62. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2024.02.07>

УДК 528.3:625.1

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА

ENGINEERING AND GEODETIC SUPPORT OF TRANSPORT CONSTRUCTION

Г.М. Слінецька,
*Відокремлений структурний підрозділ «Львівський фаховий коледж
транспортної інфраструктури Національного університету
«Львівська політехніка», (м. Львів)*

Н.М. Slipetska,
*Eparate structural unit "Lviv Professional College of Transport Infrastructure of
the National University "Lviv Polytechnic", (Lviv)*

Інженерна геодезія є однією з ключових дисциплін у системі підготовки фахівців будівельного та транспортного профілю.

Вона забезпечує точне визначення просторового положення споруд, шляхів, станцій та елементів інфраструктури, а також контроль їх геометричних параметрів під час будівництва та експлуатації. Геодезичні роботи супроводжують увесь цикл реалізації транспортних об'єктів – від проектування до введення в експлуатацію [4].

Основу інженерно-геодезичного забезпечення становлять три головні групи вимірювань: нівелювання, теодолітні спостереження та тахеометрична зйомка. Кожен із цих методів має свої особливості, призначення та точність, але всі вони

спрямовані на побудову єдиної просторової системи координат, необхідної для геометричної точності споруд (див. формули 1,2) [2], [3].

$$h = s \times \tan(v) + i - v \quad (1)$$

де h — перевищення; s — похила відстань; v — кут нахилу; i — висота приладу; v — висота візирної цілі.

$$S = D \times \cos(v) \quad (2)$$

де S — горизонтальне прокладення; D — відстань; v — кут нахилу.

Нівелювання застосовується для визначення перевищень між точками місцевості, складання планів рельєфу та побудови горизонталей (див.рис.1).

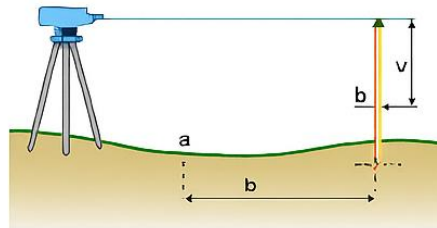


Рис. 1. Схема геометричного нівелювання.

Особливе значення має метод нівелювання по квадратах, який дозволяє отримати висотну модель поверхні на будівельному майданчику. (див. формулу 3).

$$h = a - b \quad (3)$$

де h — перевищення між точками; a, b — відліки по задній та передній рейках відповідно.

Отримані результати використовують для проектування земляного полотна, дренажних систем і трас транспортних шляхів.

Контроль точності здійснюють за висотною прив'язкою, що не повинна перевищувати допустимі значення. (див. формулу 4).

$$f_h = \Sigma a - \Sigma b \quad (4)$$

де f_h — висотна нев'язка; $\Sigma a, \Sigma b$ — суми відліків по задніх та передніх рейках.

Теодолітні вимірювання дають змогу визначати горизонтальні та вертикальні кути, що є основою для побудови знімальних ходів і визначення координат пунктів. Результати вимірювань обробляють за формулами з урахуванням колімаційної помилки, що підвищує точність розрахунків. Тахеометрична зйомка об'єднує кутові та лінійні вимірювання й дозволяє створювати топографічні плани, цифрові моделі місцевості та інженерні схеми з високою деталізацією [2], [3].

Важливою складовою інженерно-геодезичних робіт є забезпечення точності при проектуванні та реконструкції залізничних станцій і вузлів [4].

Сучасні тенденції розвитку геодезії пов'язані з упровадженням цифрових технологій — електронних тахеометрів, лазерних сканерів, GPS- та ГНСС-систем. Це дозволяє автоматизувати процес збору, обробки та передачі даних, підвищити швидкість виконання робіт і мінімізувати вплив людського фактору. Отже, інженерно-геодезичне забезпечення транспортного будівництва є комплексом взаємопов'язаних процесів, що гарантують точність, надійність і

безпечність споруд. Геодезичні вимірювання виступають основою ефективного управління просторовими даними в системі сучасного транспортного проектування [5].

- [1] Масляев А.Ф., Листопадський А.А. Обробка результатів нівелювання поверхні по квадратах. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. (див. формулу 1).
- [2] Ренгач М.Г., Северин О.П. Обробка результатів тахеометричної зйомки. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012.
- [3] Методичні вказівки до виконання робіт з теодолітних вимірювань. – Дніпро: ДНУЗТ, 2014.
- [4] Станції та вузли: методичні вказівки з проектування. – Харків: УкрДУЗТ, 2016.
- [5] Інженерна геодезія: навчальний посібник / За ред. М.Г. Ренгача. – Львів: ЛПНУ, 2020.

УДК 629.113

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ ШИН ПОРТОВИХ СІДЕЛЬНИХ ТЯГАЧІВ

RESEARCH OF TIRE WEAR ON PORT TRACTOR TRUCKS

К.т.н В.В. Стрельбіцький

Одеський національний морський університет (м. Одеса)

V.V. Strelbitskiy

Odessa National Maritime University (Odessa)

Port operations are deeply dependent on the smooth and efficient movement of goods, with tractor trucks serving a critical function in transporting cargo across terminals, storage facilities, and loading zones [1]. These vehicles endure constant use in challenging conditions, such as carrying heavy loads, frequent stopping, and navigating diverse terrains [1,2]. Consequently, tire wear emerges as a notable issue, influencing both the cost-effectiveness and operational performance of port logistics systems [3-6]. Therefore, it is crucial to understand why they wear out and take effective measures to extend their lifespan and ensure safe operation.

This study seeks to present an in-depth examination of tire wear in port tractor trucks, concentrating on its underlying causes and impacts.

In an inspection of 29 identical truck tractors utilized across four Black Sea ports for transporting 40-foot containers, their slightly varying mileage was noted.

The tires were subjected to a comprehensive inspection, with special attention paid to the side surfaces, rims, and front tread sections.

Additionally, the residual tread depth of the tires was meticulously measured and compared with earlier recorded values. This analysis facilitated the assessment of wear patterns arising from regular operational use. A specialized depth gauge was employed to accurately measure the extent of tread wear during the study.

The key causes of critical tire wear can be summarized as follows:

Firstly, the accumulation of fatigue stresses and structural damage in the tread rubber compound. These factors gradually weaken the material, accelerating the wear process.

Secondly, the increased uneven wear along the tread length leads to variations in the rolling radius. Depending on the relationship between the change in rolling radius and the movement of the wheel, abrasive or fatigue wear becomes more pronounced.

Thirdly, the acceleration of tire deformation in the tangential direction also contributes to tire wear.

Fourthly, uneven tire tread wear, where the tread wear is from a higher point to a lower point from the front to the rear edge, is often seen on the heel and toe of the tires. This situation is caused by uneven tire pressure or differences in tire diameter in a dual tire setup.

- [1] Ayhan E. E. From ports to prosperity: Leveraging maritime sector for poverty reduction //Journal of Marine and Engineering Technology. 2023. T.3. №. 2. С. 99-109.
- [2] Automobile. Theory and operational properties : study guide / S. M. Shuklinov, V. I. Klymenko, D. M. Leontiev, M. M. Aloksa ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. 278 p.
- [3] Peng X. D., Guo K. H. Effective factors on tire wear //China Rubber Industry. 2003. T.50. №. 10. С. 619-624. .
- [4] Kravchenko A., Sakno O., Lukichov A. Research of dynamics of tire wear of trucks and prognostication of their service life //Transport problems. 2012. T. 7. №. 4. С. 85-94.
- [5] Strelbitskiy V. V. RESEARCH OF TIRE WEAR ON PORT CONTAINER SEMI-TRAILERS // System technologies. 2025. T.5. №. 160. С. 189-197..
- [6] He J. F., Jin X. X., Hou C. Y. Simulation Analysis and Research of Tire Wear //Advanced Materials Research. 2011. T. 299. С. 1212-1216.

УДК 629.113:

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПОРТОВИХ СІДЕЛЬНИХ ТЯГАЧІВ СИСТЕМ МЕТОДАМИ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF PORT TRUCK TRACTORS USING STATISTICAL MODELING METHODS

к.т.н Н.О. Пунченко¹, к.т.н В.В.Стрельбіцький²,

¹Одеський державний аграрний університет (м. Одеса)

²Одеський національний морський університет (м. Одеса)

PhD (Tech.) N.O. Punchenko¹, PhD (Tech.) V.V. Strelbitskiy²

¹ Odesa State Agrarian University (Odessa),

²Odessa National Maritime University (Odessa)

The continuous operation of port tractors is very important for the efficiency of terminals, the port, and logistics in general [1,2]. These machines are necessary for moving cargo inside and outside the port. Given their operation, which includes

frequent stops, heavy loads, and short work cycles, it is crucial to assess their reliability and predict potential failures or the need for maintenance.

Due to their constant operation in harsh marine conditions, port tractors are subjected to significant loads, which ensures their high reliability and productivity [2-5]. Based on this, the following complex tasks become relevant: improving the quantitative methods for assessing the reliability of truck tractors.

When 40 identical truck tractors used in four Black Sea ports for transporting containers and other cargo were inspected, minor differences in mileage were noted.

The purpose of the work was to study changes in the technical condition of Volvo, Man, Scania and Mercedes-Benz tractors during operation, as well as to determine the least reliable units, assemblies and parts.

Research has shown that under heavy-duty operation of tractors, the distribution of time to failure for different units follows a normal, log-normal, or gamma distribution. Failures are caused by the cumulative effect of many independent factors, each of which has a small individual impact.

Processing and analyzing the collected data allows you to anticipate the amount of repair work required, as well as to plan the need for labor, production facilities, materials, and spare parts, which is crucial for effective production management and reducing vehicle downtime.

Assessing the reliability of port truck tractors using statistical modeling methods is an important tool for improving the efficiency of port processing lines.

- [1] Ayhan E. E. From ports to prosperity: Leveraging maritime sector for poverty reduction //Journal of Marine and Engineering Technology. 2023. T.3. №. 2. C. 99-109.
- [2] Automobile. Theory and operational properties : study guide / S. M. Shuklinov, V. I. Klymenko, D. M. Leontiev, M. M. Aloksa ; KhNAHU. – Kharkiv : Brovin O., 2023. 278 p.
- [3] Kumar A. R., Krishnan V. A Study on Reliability Analysis of Haul Trucks //International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology. 2017. T. 4. №. 3. C.76-85.
- [4] Strelbitskyi V. V. RESEARCH OF TIRE WEAR ON PORT CONTAINER SEMI-TRAILERS // System technologies. 2025. T.5. №. 160. C. 189-197.
- [5] Bhering F. L., Pereira C. A. B., Polpo A. Reliability estimators for the components of series and parallel systems: The Weibull model //arXiv preprint arXiv:1302.3053. 2013.

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ ДЛЯ
МОНІТОРИНГУ ФАКТИЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ**

**PROSPECTS FOR THE USE OF ENERGY AUDITING FOR MONITORING
THE ACTUAL CONDITION OF ROLLING STOCK**

канд. техн. наук, А.Л. Сумцов

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

A.L. Sumtsov PhD (Tech,)

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Енергетичний аудит тягового рухомого складу — це системний підхід до оцінки енергоспоживання всіх систем поїзда (тягова передача, пневматична система, допоміжні системи, освітлення тощо) з метою виявлення розподілу, втрат та аномалій споживання енергії [1, 2]. У контексті залізничного транспорту це не лише інструмент підвищення енергоефективності, а й потужний діагностичний механізм для визначення фактичного стану та передбачення несправностей обладнання.

Ключовим аргументом енергоаудиту є те, що зміни в споживанні енергії окремими системами поїзда можуть бути ранніми індикаторами зносу або дефектів. Наприклад, підвищене споживання енергії компресором може вказувати на приховані витoki повітря, знос клапанів, зниження ефективності поршневої групи. Використання такого підходу відповідають тренду діагностики визначення фактичного стану шляхом використання не тільки класичних методів безрозбірного контролю (рівня вібрації або температури), а й моніторинг енергетичних показників. В сучасних системах технічного обслуговування це може стати частиною додаткового фактора при переході на обслуговування а фактичним станом.

За допомогою алгоритмів машинного навчання і штучного інтелекту можна моделювати “здоровий” енергетичний профіль та виявляти відхилення. Наприклад, в інших галузях (наприклад, в електромеханічному обладнанні залізничної інфраструктури) вже застосовуються подібні методи. [3]

Енергоаудит дозволяє виявляти резерви енергозбереження в поїздах — наприклад, через оптимізацію режимів ведення поїзда та рекуперації енергії, регулювання кліматичних систем пасажирських поїздів у відповідності до фактичних умов навколишнього середовища, зменшення втрат у пневматичних мережах. В дослідженнях українських науковців [4] вказується на значний потенціал економії такого підходу. Тепловізійне обстеження рухомого складу може доповнювати енергетичний аудит [5 - 7].

Енергетичний аудит тягового рухомого складу демонструє значний потенціал як інструмент не лише для підвищення енергоефективності, але й для

поглибленої технічної діагностики. Аналіз енергоспоживання окремих систем дозволяє виявляти ранні ознаки зносу та прихованих дефектів, що робить цей підхід важливим елементом переходу до обслуговування за фактичним станом. Використання алгоритмів машинного навчання підсилює можливості енергоаудиту, забезпечуючи моделювання «здорових» енергетичних профілів та точне виявлення відхилень. Поєднання енергетичного моніторингу з іншими діагностичними методами, зокрема тепловізійним контролем, відкриває нові можливості для підвищення надійності та економічності роботи рухомого складу, підтверджуючи перспективність такого підходу для залізничної галузі.

- [1] Калабухін Ю. Є. Сумцов А. Л. Загальний підхід до визначення енергетичного балансу локомотива Прогресивні технології засобів транспорту: тези 2-ї міжнар. наук.-техн. конф. (5-6 грудня 2024 р.). - Харків: УкрДУЗТ, 2024. - С. 44-46.
- [2] Сумцов А. Л. Інформаційне забезпечення енергетичного аудиту моторвагонного рухомого складу в умовах цифровізації залізничного транспорту / А. Л. Сумцов // Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика: матеріали двадцять першої наук.-практ. міжнарод. конф. (5-6 червня 2025р.). - Харків: УкрДУЗТ, 2025. - С. 371-372.
- [3] Eduardo Di Santi, Ruixiang Ci, Clément Lefebvre, Nenad Mijatovic, Michele Pugnali, Jonathan Brown, Victor Martin, Kenza Saiah (2025) SCALABLE, TECHNOLOGY-AGNOSTIC DIAGNOSIS AND PREDICTIVE MAINTENANCE FOR POINT MACHINE USING DEEP LEARNING <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.11692>
- [4] Donchenko, A. V., Sulym, A. O., Siora, A. S., Melnyk, A. A., & Fedorov, V. V. (2016). ANALYSIS OF ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY ISSUES DURING OPERATION OF THE METRO ROLLING STOCK. Science and Transport Progress, (3(63), 108–119. <https://doi.org/10.15802/stp2016/74732>
- [5] Білошицький Е. В., Ловська А. О., Мямлін С. С. (2020) Зниження непродуктивних витрат тепла пасажирського рухомого складу в опалувальний період Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. С. 34 – 40.
- [6] Білошицький Е. В. (2018) Енергоефективність систем життєзабезпечення рухомого складу залізниць. Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. 2018. № 179. С. 13–25. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.179.2018.147709>.
- енергоефективності моторвагонного рухомого складу / Ю. Є. Калабухін, А. Л. Сумцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : тези стендових доповідей та виступів учасників 37-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Харків, 10-11 жовтня, 2024 р.). – 2024. – № 3 (додаток). – С. 22-23.

UDC 656.212.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ЗАТРИМОК ВАНТАЖІВ ПРИ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

RESEARCH ON THE CAUSES OF CARGO DELAYS IN INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION

Г. В. Шаповал к. т. н. доцент, В.С. Антоненко магістр
Український державний університет залізничного транспорту

G. Shapoval Ph.D (Tech.), V. Antonenko master
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

The efficiency of international railway transportation largely depends on the coordinated operation of all elements of the transport and logistics chain — from the

departure station to the destination point abroad. However, during transportation, delays often occur due to both internal and external factors.

Among the external causes of cargo delays, the most significant are: inspection of certificates, documents, and consignment notes during customs clearance; differences in customs requirements between neighboring countries; errors in completing documents and customs declarations; increased cargo flow volumes during seasonal transport periods.

The internal causes of cargo delays include: technical malfunctions of railcars; prolonged accumulation of trains due to lack of wagon flow or waiting for a locomotive; limited acceptance of trains by the railways of neighboring countries; congestion of station railway infrastructure; the impact of military actions.

An important stage in researching the causes of cargo delays in international transportation is the analysis of claims received from clients. Claim management serves as one of the indicators of the quality of transport services and allows assessment of delivery timeliness, cargo preservation, and the efficiency of transport process organization. An increase in the number of claims indicates systemic problems in the logistics scheme or shortcomings in the work of specific railway departments.

Statistical data on the number of claims regarding delayed cargo in international shipments were analyzed. Military actions, infrastructure destruction, transport connection restrictions, and the shutdown of some industrial enterprises have led to a significant decrease in activity in the railway sector. Along with the reduction in transport volumes, the number of claims has also decreased.

One of the causes of cargo delays is the imperfection of organizational interaction between different divisions of the railway system. Despite the centralized management model of JSC *Ukrzaliznytsia*, the decision-making process remains multi-level and often overloaded with approvals. The lack of effective communication between the transport, infrastructure, and rolling stock services leads to inconsistencies in route formation, increasing train idle time at border stations.

Regulatory barriers also play an important role in delays. The current procedures for coordinating international transportation at border crossings often do not meet European standards for document circulation speed. The process of reconciling electronic declarations between the customs services of Ukraine and Poland still includes manual verification stages, which increases the idle time of international rail traffic.

Digitalization is one of the key factors in improving the efficiency of logistics processes in railway transport. It enables the creation of a unified information space among all participants in the logistics chain - from the consignor to customs and border services. The implementation of electronic platforms such as *UZ Cargo* and *UZ-CargoPolska* contributes to reducing wagon idle time and minimizing technical and organizational disruptions. Establishing a joint interface between the Ukrainian and European systems will reduce the average processing time of applications and enhance the transparency of logistics processes.

Thus, digitalization forms the foundation for increasing the efficiency of logistics processes, and its further development should become a strategic priority in the field of international railway transportation.

[1] Digitalization in railway transport. - Access mode: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/635528/EPRS_BRI\(2019\)635528_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/635528/EPRS_BRI(2019)635528_EN.pdf).

[2] Zhuzhgoval, J. and Ruf, Y. Directions of Railway Transport Development for Prospective Cooperation with Logistics Providers. DOI: 10.5220/0011582000003527 In Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference on Transport: Logistics, Construction, Maintenance, Management (TLC2M 2022), p. 224-229.

УДК 656.212.5

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФРАСТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ОБ'ЄКТІВ ПРИПОРТОВИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

EFFICIENCY ASSESSMENT OF INFRASTRUCTURE AND TECHNOLOGICAL INTERACTIONS OF OBJECTS IN PORT TRANSPORT AND TECHNOLOGY SYSTEMS

*канд. техн. наук Г.І. Шелехань, канд. техн. наук Г.В. Шаповал, С.Ю. Дудка
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*H.I. Shelekhan, PhD (Tech.), H.V. Shapoval, PhD (Tech.), S.Yu. Dudka
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Незважаючи на те, що у загальній транспортній системі України залізничний транспорт посідає досить сильні позиції на ринку вантажних перевезень, він має низку гострих інфраструктурних проблем, які потребують вирішення. Резерви переробної спроможності, особливо у припортових транспортно-технологічних системах, практично вичерпані, що при нарощуванні обсягів експорту є серйозним стримуючим фактором його освоєння.

Необхідність науково обґрунтованого вибору варіантів ефективної технології транспортного виробництва припортових станцій в умовах обмеженості інвестиційних ресурсів та переробної спроможності залізничної інфраструктури, можливої нерівномірності вантажоперевезень визначає актуальність обраної теми публікації.

Сучасні вітчизняні та зарубіжні вчені й дослідники зробили великий внесок у розробку теорії та практики експлуатації залізничних та транспортних вузлів, розвитку та оптимізації параметрів станційних транспортно-технологічних процесів. Але незважаючи на широке висвітлення актуальних тем, досі потребують значної уваги проблеми невідповідності потужностей станційної інфраструктури припортових транспортно-технологічних систем сучасним обсягам перевезень, а також вимогам, що висувуються до них у зв'язку із необхідністю адаптації під непередбачувані умови роботи станцій, прокладання

альтернативних маршрутів перевезення через руйнування залізничної інфраструктури та зниження безпеки руху.

У межах транспортно-технологічної системи «припортова станція – порт» інтегральним критерієм оцінювання ефективності інфраструктурно-технологічної взаємодії доцільно вважати часову параметризацію, орієнтовану на дослідження раціональних маршрутів технологічних операцій під час оброблення вагонопотоків на припортових станціях та прилеглих об'єктах. Застосування такого підходу забезпечує можливість формалізації логічної структури транспортних процесів і визначення рівня залучення до них окремих елементів інфраструктури. Реалізація такого підходу може здійснюватись через використання моделей схем станцій, призначених для аналізу ефективності управлінських рішень, оцінювання наслідків їх реалізації та дослідження ситуацій, що виникають у процесі функціонування транспортно-технологічної системи.

Так, дослідження на таких моделях проведення технологічних операцій та задіяння для цього інфраструктурних елементів дасть можливість оцінити ступінь заняття будь-якого об'єкту або елементу системи, розробити заходи щодо зменшення їх завантаженості та вивільнення технічних потужностей.

Подібні транспортні процеси зазвичай є детермінованими, але при детальному розгляді багато технологічних процесів можуть мати стохастичний характер. Тому доцільним є комплексний підхід, що дозволить врахувати ключові тенденції у використанні інфраструктури припортових станцій як найбільш завантажених об'єктів припортової транспортно-технологічної системи.

При відомих умовах виконання транспортних процесів та ймовірностях завантаження кожного об'єкту або елементу станційної інфраструктури для оцінки їх завантаження може бути застосована ентропія системи як міра ступеня невизначеності щодо їх застосування у різних технологічних процесах.

Подальше дослідження формалізованої моделі функціонування припортової станції дає змогу ідентифікувати критичні ділянки колійного розвитку та технологічного процесу, які можуть зумовлювати затримки у взаємодії транспортно-технологічної системи «станція – порт». Аналіз ефективності використання інфраструктурних компонентів під час виконання технологічних операцій забезпечить можливість визначення рівня їхнього завантаження, а також виявлення потенційних шляхів його оптимізації через розподілу потоків транспортних одиниць між коліями станційних парків і маневровими витяжками. На підставі отриманих результатів можна зробити висновки щодо інтенсивності використання колійного розвитку в межах паралельних і послідовних операцій та їх взаємозв'язків.

ЕРГОНОМІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ВОДІЇВ І ОПЕРАТОРІВ ДОРОЖНЬОЇ ТЕХНІКИ

ERGONOMIC SOLUTIONS TO IMPROVE THE SAFETY OF DRIVERS AND ROAD EQUIPMENT OPERATORS

Бережна Є.С., Крайнюк О.В. канд. техн. наук

Харківський національний автомобільно-дорожній університет(м. Харків)

*Berezhna E.S., Krainiuk O.V., Candidate of Technical Sciences
Kharkiv National Automobile and Highway University(Kharkiv)*

У сучасному транспортному середовищі роль операторів дорожньої техніки є ключовою, оскільки вони виконують складні операції, тривалий час перебувають за кермом, піддаються впливу вібрацій, статичних поз, монотонності та інших фізичних і психологічних навантажень. У цьому контексті питання ергономіки робочого місця, а саме кабін, органів управління, систем візуального і звукового сповіщення стає критичним для забезпечення безпеки праці, зниження кількості травм, профілактики професійних захворювань і підвищення ефективності роботи.

Метою дослідження є аналіз сучасних ергономічних рішень, направлених на підвищення безпеки праці водіїв та операторів дорожньої техніки, а також висвітлення ключових проблем та розробка практичних рекомендацій для транспортних підприємств.

Водії великовантажних автомобілів піддаються значним механічним і статичним навантаженням (тривале сидіння, посилена вібрація, невідповідне розташування елементів управління). Антропометричні фактори (зріст, довжина кінцівок) впливають на ефективність управління та ризик м'язово-скелетних розладів [1]. Вібрація (95% водіїв), шум (73%), нічні зміни (52%) та тиск часу (59%) є основними факторами ризику [2]. Це підкреслює, що ергономіка охоплює цілий спектр фізичних і психофізіологічних умов, а не лише сидіння. Інтегрований підхід до ергономіки у транспортних системах здатен значно підвищити безпеку та ефективність взаємодії «людина-транспортний засіб» [3]. Серед проблемних чинників слід назвати наступні:

- Статична поза та тривалі сидіння: Багатогодинне сидіння без зміни положення спричиняє напругу в спині, шийі, плечовому поясі.
- Вібрація та шум: Вібрація є частим фактором ризику; наприклад, у дослідженні [2] її вказали 95 % водіїв.
- Невідповідність робочого місця анатомії: Неправильне розташування органів управління (педалей, керма) та їхня невідповідність антропометричним характеристикам водія (наприклад, коротким кінцівкам) підвищують м'язове навантаження [1].

- Психофізіологічні навантаження: Монотонність, нічні зміни та обмежений час вимагають високої концентрації, що підвищує ризик втоми, помилок і аварій.
- Недосконалий дизайн кабіни: Відсутність регулювання сидіння/підлокітників, недостатня видимість або відсутність підпори для спини.
- Організаційні фактори: Некоректні графіки роботи, зміни та умови відпочинку посилюють фізичні та психологічні навантаження.

На підставі аналізу наукової літератури можна запропонувати такі практичні ергономічні рішення:

- Регульоване сидіння з підтримкою попереку, можливістю нахилу/висоти та підпору для ніг. Водії мають змінювати положення кожні 2–3 години.
- Адаптація кабіни під антропометричні показники водія (регулювання керма, педалей) для уникнення вимушених поз.
- Зниження вібрації та шуму (амортизаційні сидіння, шумопоглинальні матеріали), оскільки вібрація є фактором ризику [2].
- Організація перерв і змін вимушеної пози (мікро-перерви, вправи розтяжки, ротація задач/способу управління).
- Моніторинг стану водія/оператора (системи фіксації пози, тривалості роботи, усталення стану) з інтеграцією в інформаційні системи кабіни.
- Навчання водіїв та операторів з питань ергономіки (налаштування робочого місця, розпізнавання втоми, правила перерв).
- Організаційні заходи (коректні графіки, обмеження нічних змін, достатній відпочинок, ротація задач) для зниження монотонності та психофізіологічного навантаження.
- Культура безпеки (визнання важливості ергономіки, виділення ресурсів, врахування думки водіїв).

Впровадження ергономічних рішень у транспортній компанії призведе до зменшення травм опорно-рухового апарату, зниження втоми, покращення концентрації та скорочення помилок. Це також підвищить задоволення працівників умовами праці та покращить загальну безпеку транспортного процесу. Ергономіка є невід'ємною складовою системи безпеки праці водіїв та операторів дорожньої техніки, а не "додатковою" опцією. Систематичний підхід — що включає врахування антропометричних, фізичних, психологічних та організаційних факторів — дозволяє створити людино-орієнтоване робоче середовище. Перехід до культури, де ергономіка і безпека праці взаємопов'язані, є ключовим для сучасного транспортного підприємства.

- [1] Ortiz E., et al. Evaluation of Technical and Anthropometric Factors in Postures and Muscle Activation of Heavy-Truck Vehicle Drivers: Implications for the Design of Ergonomic Cabins. — *Applied Sciences*, 2023. DOI: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/14/7775>
- [2] Badiu M., et al. The Importance of the Human Factor in Safety for the Transport of Dangerous Goods. — *Safety Science Journal*, 2022. URL: <https://www.sciencedirect.com>
- [3] Blaga P., Cășeriu B.-M., Bucur B., Veres C. A Comprehensive Review of Ergonomics and Human Factors Engineering for Enhancing Comfort and Efficiency in Transport Systems. — *Systems*, 2025, Vol. 13, No. 35. DOI: <https://www.mdpi.com/2079-8954/13/1/35>

**ВИКОРИСТАННЯ СЕНСОРНИХ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ
КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС НАВАНТАЖУВАЛЬНО-
РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ: ДОСВІД КРАЇН ЄС ТА
ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ**

**USE OF SENSOR AND AUTOMATED SAFETY CONTROL SYSTEMS
DURING LOADING AND UNLOADING OPERATIONS: EXPERIENCE OF
EU COUNTRIES AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION IN
UKRAINE**

*Сидорчук В.В., Крайнюк О.В., канд. техн. наук
Харківський національний автомобільно-дорожній університет(м. Харків)*

*Sidorchuk V.V., Krainiuk O.V., Candidate of Technical Sciences
Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv)*

Навантажувально-розвантажувальні роботи є однією з найбільш травмонебезпечних категорій у логістиці, поєднуючи ручну працю та використання важкої техніки (навантажувачі, крани).

В Україні такі інноваційні рішення лише починають з'являтися переважно на великих логістичних хабах, як-от Нова Пошта, Meest, Укрпошта та Deus Robotics, де впроваджуються роботизовані сортувальні системи та автоматизовані платформи для підвищення безпеки. [1, 2]

У Європейському Союзі автоматизація цих процесів стала ключовим інструментом для зниження травматизму. Там активно впроваджують сенсорні системи, IoT, "розумні" каски та автоматизовані платформи контролю для виявлення та попередження небезпечних ситуацій у реальному часі [3, 4].

У Німеччині логістичний підрозділ DHL Group активно впроваджує робото-маніпуляторів для розвантаження трейлерів та контейнерів у своїх підрозділах по Європі. У 2025 році компанія підписала меморандум про розширення співпраці з Boston Dynamics - американським виробником високотехнологічних роботів, відомим своїми моделями Spot, Atlas та Stretch. Саме робот Stretch, створений для автоматичного розвантаження контейнерів і вантажівок, використовується DHL. Це дозволяє зменшити фізичне навантаження та ризик травм під час ручного розвантаження, підвищується безпечність роботи.

Компанія Amazon впроваджує сучасні технології автоматизації на європейських складах - зокрема у Німеччині, Франції, Польщі та Італії. Вони використовують AMR (Autonomous Mobile Robots) – автономні мобільні роботи, що перевозять піддони та коробки; AGV (Automated Guided Vehicles) – автоматизовані візки, які рухаються за заданими маршрутами; WMS (Warehouse Management System) – системи управління складом, які координують процеси. У листопаді 2022 року Amazon дебютувала зі складським роботом Sparrow, який може збирати та сортувати замовлення, відокремлюючи продукти між собою.

Британська компанія Ocado застосовує роботизовані системи ASRS (Automated Storage and Retrieval System) – автоматизоване зберігання й отримання товарів, а також технологію G2P (Goods-to-Person), що здійснюють доставку товарів безпосередньо до працівника. Роботи дістають потрібний контейнер із товаром і доставляють його до оператора. Такі системи використовуються по всій Європі – у Німеччині, Нідерландах, Франції, Італії. Це дозволяє економити місця на складах, швидше обробляти замовлення, знизити потреби у фізичній праці під час завантаження й розвантаження [5].

В Україні автоматизація навантажувально-розвантажувальних процесів активно розвивається переважно у великих логістичних компаніях. Прикладом є «Нова пошта», яка впроваджує комплекс інноваційних рішень: поштові дрони та квадрокоптери для експрес-доставки, роботів-traine для сортування дрібних відправлень, підсвітку комірок для зменшення часу обслуговування клієнтів, поштомати з інтерактивним інтерфейсом, а також роботизовані відділення «Робокс», що виконують як приймання, так і видачу посилок [6]. Значну увагу компанія приділяє підвищенню безпеки праці шляхом скорочення кількості ручних операцій. У партнерстві з українським стартапом Deus Robotics розроблено постелажні роботи, які транспортують стелажі з вантажами, мінімізуючи фізичне навантаження на працівників і ризик травматизму.

Серед інших вітчизняних підприємств прикладом ефективної автоматизації є логістичний центр “Калинівка” компанії “Епіцентр”, де впроваджено технології Pick-by-Line, Cross-docking та Storage, що дозволило централізовано забезпечувати понад 70 % постачання до торговельних центрів мережі [7].

Також компанії Meest та Укрпошта поступово переходять до цифровізації логістичних процесів, зокрема тестують автоматизовані сортувальні лінії, роботизовані стрічкові конвеєри та системи контролю пересування вантажів.

Таким чином, українські підприємства поступово інтегрують технології автоматизації, орієнтуючись на досвід країн ЄС, а саме використання роботів для транспортування вантажів (AMR/AGV), сенсорних систем контролю безпеки та управління складом (WMS). Це сприяє не лише зростанню ефективності, а й зниженню виробничого травматизму, покращуючи умови праці персоналу у логістичних центрах.

[1] Автоматизація найбільшого логістичного центру. Епіцентр, Калинівка : веб-сайт. *Quantum International*. URL: <https://quantum-int.com/projects/avtomatizatsiya-najbilshogo-logistichnogo-tsentru-epitsentr-kalinivka/>.

[2] Білік В. В., Гавриков Д. В. Тенденції інноваційного розвитку вітчизняних автотранспортних підприємств в умовах кризових викликів і нестабільності. *Економічний вісник Дніпровської політехніки*. 2025. № 1.

[3] Глебова А. О., Васильченко М. І., Іванов Ю. В. Інформаційно-комунікаційні технології в процесах логістичного обслуговування: сутність, особливості та розвиток в умовах розвитку цифрових технологій. *Економіка і регіон*. 2023. № 3 (90).

[4] Гуржій А. М., Нельга А. Т., Співак В. М., Ітякін О. С. Основи автоматики та робототехніки : навч. посіб. для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. Дніпро : Гарант СВ, 2021. 243 с.

[5] Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Барбашин В. В., Діденко Н. В. Перспективи диджиталізації у сфері охорони праці. *Комунальне господарство міст*. 2020. Т. 6, вип. 159.

[6] Нова пошта залучає роботів до сортування посилок : відео : веб-сайт. *LIGA.net*. URL: <https://biz.liga.net/ua/all/all/video/novaya-pochta-vnedryaet-robotov-dlya-sortirovki-posylok-video>.

[7] Юрасов С. Десять інновацій від «Нової пошти», які зроблять із неї український Amazon. Репортаж із серця R&D-компанії : веб-сайт. *Dev.ua*. URL: <https://dev.ua/news/nova-poshta-1691069152>.

Секція
**ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ
ВИГОТОВЛЕННІ І ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

УДК 621.9.02.002.3.54

**ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ВИРОБУ ЗА ПОКАЗНИКАМИ
СКЛЕРОМЕТРІЇ ЙОГО ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ**

**DETERMINATION OF THE RESOURCE OF A PRODUCT BASED ON THE
INDICATORS OF THE SCLEROMETRY OF ITS SURFACE LAYER**

Чл.-кор. НАН України С.А. Клименко

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ)

Corr. Member of NAS of Ukraine S.A. Klymenko

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the NASciences of Ukraine (Kyiv)

Стан та властивості матеріалу поверхневого шару виробу є найважливішим показником, який обумовлює його експлуатаційні можливості, тому що у багатьох випадках вихід виробу з ладу починається саме з поверхні.

Перспективним методом визначення кількісних показників механічних властивостей поверхневого шару виробів є склерометрія – сканування нормально навантаженим індентором з фіксацією сили, яка потрібна на деформування.

Розроблено декілька варіантів таких досліджень – «класична» склерометрія, деформаційно-спектральний аналіз, трибо-спектральний аналіз, багатопрхідний метод випробування подряпинням та ін.

Сканограма зусилля на інденторі складається з ділянок, знак похідної на яких характеризує дві стадії деформування поверхневого шару виробу: на ділянках з позитивною похідною має місце стадія пружної деформації і пружного деформування системи кріплення індентора, на якій вона запасає енергію, а на ділянках з негативною похідною – стадія розвантаження індентора та переважного пластичного деформування.

Представивши модель поверхневого шару як систему випадково розподілених структурно-енергетичних бар'єрів різної потужності, що перешкоджають поширенню пружно-пластичних деформацій, властивості поверхневого шару досліджуваного матеріалу оцінюються комплексом чисельних характеристик.

В різних варіантах досліджень для визначення сукупності властивостей міцності та деформаційних властивостей матеріалу поверхневого шару використовуються різні характеристики, у тому числі, такі як мають

термодинамічну інтерпретацію: m – математичне очікування тангенціальної складової сили контактної взаємодії індентора з поверхневим шаром як характеристики мікротвердості матеріалу; D – дисперсія сили контактної взаємодії, що характеризує розкид середньої потужності, що витрачається на деформування поверхневого шару; S – енергетична спектральна густина розподілу сили контактної взаємодії, що характеризує особливості деформування поверхневого шару уздовж траси сканування; $f_{\text{ср}}$ – середня частотна гармоніка, яка відповідає 50%-му рівню енергії контактної взаємодії, виходячи з рівності низько- та високочастотних складових спектру; – величина активаційного бар'єру запуску процесу деформування; – показник, який характеризує виробництво ентропії під час пластичного деформування поверхневого шару виробу при склерометруванні ін.

З сканограми випливає, що точки пікових навантажень на індентор характеризують твердість структурних складових досліджуемого поверхневого шару матеріалу – це активаційний бар'єр, перевищення якого запускає процесу пластичного деформування досліджуваного поверхневого шару виробу і виробництво в ньому ентропії.

Виробництво ентропії під час пластичного деформування поверхневого шару виробу при склерометрії пов'язано із дисперсією відхилення індентора

$$H = \frac{k}{T} ND',$$

де N – кількість точок сканограми; D' – дисперсія величини відхилення індентора; k – постійна.

З урахуванням величини активаційного бар'єру, перевищення якого запускає механізм виробництва ентропії, рівняння ресурсу досліджуваного поверхневого шару виробу

$$N = \left[\frac{([H] - H_0)}{H_{\text{ср}}} \right] / \int_{P_2}^{P_1} g(P) dP,$$

де N – кількість точок сканограми; $g(P)$ – імовірність розподілу величини навантаження; P_i – найбільше значення навантаження; $H_{\text{ср}}$ – середня величина виробленої ентропії; $[H]$ – критичне значення ентропії; H_0 – величина ентропії у поверхневому шарі, що обумовлена історією виробу.

Скориставшись зв'язком між термодинамічною ентропією та інформаційною ентропією за Шенноном, отримуємо

$$H_0 = \sum_{i=1}^6 K_i H_i,$$

де H_i – інформаційна ентропія, зумовлена ймовірнісним характером теплових коливань атомів, хімічного складу, деформацій поверхневого шару, шорсткості поверхні деталі; K_i – термодинамічна вага одного біта інформації,

З врахуванням того, співвідношення між окремими складовими ентропії в процесі функціонування виробу підпорядковується принципу мінімуму вільної енергії, з використанням даних склерометрії маємо

$$[H] = \sum_{i=1}^6 K_i H_i + \frac{K}{TD't},$$

де t – час; K – постійна, яка враховує зв'язок між навантаженням індентора та його переміщенням.

З отриманого слідує, що тривалість проміжку часу до досягнення поверхневим шаром стану точки біфуркації визначається співвідношенням її початкової дефектності та швидкістю збільшення дефектності структури в процесі експлуатації. Ранжування матеріалів виробів за їх довговічністю може бути проведено на основі порівняння дисперсій сили контактної взаємодії їхнього поверхневого шару з індентором при склерометрії.

УДК 620.1:004.738.5

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ: ВБУДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНОВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

DIGITAL TRANSFORMATION OF METROLOGY LABORATORIES: EMBEDDED INFORMATION MEASURING SYSTEMS FOR FUNCTIONAL MATERIALS CHARACTERIZATION

*д.т.н., професор Л.А. Тимофєєва¹, Dr. hab. inż., prof. uczelni Z. Krzysiak²,
к.т.н., доцент М.Г. Равлюк¹, О.В. Сергєєв¹*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²University of Life Sciences in Lublin (Poland)

*D.Sc. (Tech.), Professor L.A. Tymofieieva¹, Dr. hab. inż., prof. uczelni Z. Krzysiak²,
Cand. of Eng. Sci. M.G. Ravliuk¹, O.V. Serhieiev¹*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²University of Life Sciences in Lublin (Poland)

Традиційні метрологічні лабораторії, побудовані на архітектурі централізованого комплексу вимірювальних приладів, поступово вступають у епоху розподіленої цифрової інфраструктури [3] [4]. Для характеристики сучасних функціональних матеріалів необхідна нова парадигма: інтегровані смарт-сенсори з вбудованою передоброблю даних, хмарною обробкою результатів та автоматичною оцінкою невизначеності [1]. Це найбільше актуально для лабораторій, які працюють з гідрофобними, терморегульованими та електро-активними покриттями, де традиційні методи не забезпечують достатньої швидкості та надійності контролю [4].

Модель інформаційно-вимірювальної системи лабораторії

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) сучасної лабораторії — це розподілена архітектура, в якій окремі фізичні датчики (temperature sensors, humidity sensors, conductivity probes, spectrophotometers) підключаються до периферійних обчислювальних вузлів (edge nodes) [3][4], а ті, у свою чергу,

передають оброблені дані на облікові сервери (cloud platforms). Ключовою особливістю є те, що первинна калібровка та компенсація систематичних похибок здійснюються не в централізованій лабораторії, а безпосередньо у вузлі датчика [3][4]. Така архітектура дозволяє досягти гранично низької затримки (latency) при обробці критичних вимірювань, наприклад, у режимі реального часу (real-time) під час спорту нанесення функціональних покриттів [5]. Типові вимірювальні системи містять мінімум три рівні: датчик → edge gateway → cloud storage, де кожен рівень контролює якість даних та зберігає метадані про невизначеність.

Смарт-сенсори в характеристизації функціональних матеріалів

На відміну від звичайних датчиків, смарт-сенсори містять вбудовані мікропроцесори, що виконують локальну компенсацію, фільтрацію та навіть попередній аналіз даних. Наприклад, при вимірюванні контактного кута функціональних покриттів смарт-сенсор може самостійно виявити дрейф, зберегти калібрувальні коефіцієнти у внутрішній пам'яті та автоматично скоригувати результати. Ключовим прогресом є концепція self-diagnostics: датчик може виявити власний відмову, невідповідність характеристик або неправильне вирівнювання та передати це як окремий сигнал. Модель інформаційно-вимірювальної системи лабораторії Смарт-сенсори в характеристизації функціональних матеріалів невизначеності. У системах з подвійними зондами (dual probes) датчик автоматично перемикається на резервний елемент при збою, забезпечуючи безперервність вимірювань. Для вимірювання властивостей полімерних функціональних матеріалів (модуль пружності, коефіцієнт дисипації) вже розроблені смарт-сенсори на основі MEMS та CMOS елементів на одному кристалі, що дозволяє досягти малих розмірів ($5\text{ мм} \times 5\text{ мм}$) та низької вартості виготовлення при масовому виробництві[7].

Цифрові калібрувальні сертифікати та метрологічна простежуваність

Суттєвою інновацією є запровадження цифрових калібрувальних сертифікатів (Digital Calibration Certificate), які замість паперових документів передаються у форматі XML або закодованих цифрових ідентифікаторів. Такий сертифікат містить не лише значення калібрування та дату, але й всю історію змін, криптографічний підпис та посилання на еталонні матеріали, використані під час калібрування. Метрологічна простежуваність забезпечується через безперервний ланцюг: робочий датчик → еталонний матеріал лабораторії → національний еталон → одиниця СІ. Для функціональних матеріалів це означає, що вимірювання контактного кута через смарт-сенсор може бути з метрологічною впевненістю пов'язане з дефініцією градуса ($^{\circ}$) через систему еталонних зразків[2].

Автоматизація оцінки невизначеності у хмарних сервісах

Однією з найбільших переваг хмарної архітектури є централізована оцінка невизначеності за принципами GUM. Вся необхідна інформація — калібрувальні дані, технічні специфікації приладів, умови навколишнього середовища, результати повторних вимірювань — зберігаються у структурованому форматі на сервері. Хмарний сервіс може автоматично обчислити: (1) Type A

невизначеність через статистичну обробку повторних вимірювань [1]; (2) Type B неvizначеність через дані про еталони та апаратуру; (3) комбіновану стандартну неvizначеність; (4) розширену неvizначеність з коефіцієнтом охоплення $k=2$. Результат вже готовий у виді звіту, що значно прискорює документацію та усуває людські помилки.

Практична реалізація у лабораторіях з функціональних матеріалів

Лабораторіям, які вивчають терморегульовані полімери, гідрофобні наносистеми та електроактивні покриття, системи IoT дозволяють реалізувати сценарії, неможливі з традиційною апаратурою [7]. Наприклад, можна налаштувати безперервний моніторинг змін контактного кута під час релаксації покриття при кімнатній температурі з реєстрацією даних кожні 10 секунд протягом 72 годин, без присутності оператора. При цьому хмарна система автоматично: виявляє і фільтрує шум; інтегрує дані з датчика температури для коригування результатів; обчислює тренд зміни кута; оцінює неvizначеність як функцію часу; тригерує сигнал тривоги, якщо параметр виходить за допустимі межі.

Виклики та перспективи

Основні виклики впровадження цифрових систем у метрологічні лабораторії пов'язані з безпекою даних (encryption, authentication) [8], стандартизацією форматів (semantic interoperability) та необхідністю навчання персоналу. Однак переваги явно перевищують ці перепони: скорочення часу підготовки результатів у 3–5 разів, підвищення достовірності на 15–20% за рахунок автоматизації, та створення нових можливостей для високошвидкісного моніторингу властивостей функціональних матеріалів. Європейська ініціатива "Metrology Cloud [6]" та національні проекти цифрової трансформації якісної інфраструктури будуть каталізаторами переходу від традиційних лабораторій до розумних, автономних систем, що можуть самостійно контролювати якість функціональних матеріалів на протязі їх виробництва та експлуатації.

- [1]. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).
- [2]. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- [3]. Eichstädt S. et al. Toward Smart Traceability for Digital Sensors and the Internet of Things. *Sensors*, 2021, vol. 21(3), art. 1040.
- [4]. Smart Manufacturing and Digitalization of Metrology: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 2022, vol. 14(15), art. 9345.
- [5]. Lab::Measurement framework for laboratory equipment control and measurement automatization. arXiv:1810.07088, 2018.
- [6]. Eichstädt S. Digital Quality Infrastructure for Europe: The European Metrology Cloud. *PTB Mitteilungen*, 2017, vol. 127(4), pp. 87-92.
- [7]. TechBriefs. Smart Sensor Technology for the IoT. *IEEE Spectrum*, 2018, vol. 55(10), pp. 32-38.
- [8]. Bezsmertna O. et al. SmartCom: Security and Interoperability in Digital Metrology. EURAMET Research Project, 2020-2023.

**КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ
ПОКРИТТІВ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ДЕТАЛЕЙ**

**COMPREHENSIVE STUDY OF COATING FORMATION PROCESSES
FROM AQUEOUS SALT SOLUTIONS TO ENHANCE THE OPERATIONAL
RELIABILITY OF TRANSPORT COMPONENTS**

Канд. техн. наук, ст. викладач Л.В. Волошина

Канд. техн. наук, доцент Д.І. Волошин

Студент П.В. Пліщенко

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

PhD (Tech.), senior teacher L.V. Voloshyna

PhD (Tech.), associate professor D.I. Voloshyn

Student P.V. Plishchenko

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Надійна робота транспортних машин і механізмів значною мірою залежить від стабільності геометричних параметрів деталей, стану поверхонь тертя та міцності поверхневих шарів у вузлах спряження. У процесі тривалої експлуатації саме контактні поверхні зазнають інтенсивного зношування, що призводить до поступової втрати їх початкових характеристик і може викликати відмову всього механізму. Тому створення технологій, здатних підвищити експлуатаційні властивості деталей на етапі їх виготовлення або відновлення, є ключовим завданням сучасного транспортного машинобудування.

У більшості випадків руйнування охоплює лише поверхневий шар, що відкриває можливість відновлення працездатності деталі шляхом формування спеціальних покриттів із покращеними трибологічними властивостями. Проте традиційні методи зміцнення, такі як азотування чи сульфідкування, а також інші види хіміко-термічної обробки, характеризуються високою трудомісткістю, тривалістю, потребою у токсичних реагентах та складному обладнанні. Крім того, вони часто створюють однофункціональні шари, що вирішують лише окремі завдання, не забезпечуючи оптимального поєднання зносостійкості, стабільності тертя та швидкої припрацьовуваності.

Особливо актуальною проблема підвищення експлуатаційної надійності є для залізобетонних сплавів — матеріалів, що широко застосовуються у транспортному машинобудуванні. Зношування відповідальних елементів, наприклад, деталей масляних шестеренчастих насосів, часто спричиняє нестабільну роботу силових агрегатів, а в окремих випадках — критичні порушення у мастильній системі. Відновлення габаритів чавунних деталей традиційними методами також може супроводжуватися утворенням небажаних

структур у поверхневому шарі, що негативно впливає на їх робочі характеристики.

Розроблена технологія окислегування у середовищі перегрітої пари водних розчинів солей є інноваційним підходом до формування багатофункціональних поверхневих шарів. Вона поєднує термічну та хіміко-термічну обробку в одному технологічному циклі, використовує доступні водорозчинні солі й не потребує складного устаткування. Завдяки низькому вмісту насичувальних компонентів і екологічно безпечним реагентам технологія належить до ресурсозберігаючих та екологічно чистих.

Одним із ефективних легувальних агентів є водний розчин алюмохромфосфатної солі (АХФС). На основі моделювання та регресійного аналізу визначено оптимальні параметри обробки деталей у парогазовому середовищі АХФС: температура 550–650 °С, час витримки 30–40 хв, концентрація солі 8–14 %. Комплекс досліджень показав, що в результаті обробки формується багатошарове покриття, що складається з твердих фаз, здатних сприймати високі контактні тиски, та м'яких аморфних складових, які забезпечують зниження коефіцієнта тертя. Встановлено утворення оксидів Fe_2O_3 , шпінелей Fe_3O_4 та проникнення легуючих елементів (Al, P, Cr), що формують вторинні структури з антифрикційними властивостями [1, 2].

Лабораторні та експлуатаційні випробування деталей масляного насоса засвідчили підвищення їх зносостійкості у 3,8 рази порівняно з необробленими зразками. Період припрацювання скорочується у 2–3 рази, а коефіцієнт тертя залишається стабільним у межах робочих навантажень. Завдяки можливості контролювати склад і структуру оксидного шару забезпечується гнучкість в управлінні триботехнічними властивостями поверхонь — від антифрикційності до фрикційності — без зміни основного матеріалу деталей [3, 4].

Запропонована технологія демонструє низку суттєвих переваг: скорочення тривалості обробки порівняно з традиційною ХТО, забезпечення дифузійного насичення у важкодоступних зонах, низьку собівартість, використання екологічно безпечних реагентів та формування багатофункціональних поверхневих шарів зі стабільними експлуатаційними характеристиками.

Таким чином, комплексне дослідження процесів формування покриттів із водних розчинів солей доводить перспективність технології окислегування для покращення властивостей поверхневих шарів деталей транспортного призначення. Формування багатофазних структур із заданими триботехнічними властивостями дозволяє суттєво підвищити надійність вузлів тертя, зменшити частоту відмов та забезпечити довговічну роботу транспортних систем.

[1] Волошина, Л.В. Визначення та оптимізація параметрів нової технології залежно від заданих властивостей покриття / Л.В. Волошина // 36. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 134. – С. 224–229.

[2] Волошина, Л.В. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття / Л.А. Тимофеева, Л.В. Волошина, П.М. Гордієнко // 36. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 170. – С. 13–19.

[3] Волошина Л.В. Методи підвищення зносостійкості деталей транспортного призначення. *Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 22-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 15–16 червня 2022 р.* – Київ: АТМ України, 2022. С.27– 28

УДК 620.1:621.7

**НАНОСТРУКТУРОВАНІ КЕРАМІЧНІ КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ SIC,
ZRO₂ ТА WC ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА МЕТРОЛОГІЧНОЇ
СТАБІЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

**NANOSTRUCTURED CERAMIC COMPOSITES BASED ON SIC, ZRO₂
AND WC FOR ENHANCING THE RELIABILITY AND METROLOGICAL
STABILITY OF TRANSPORT SYSTEMS**

*д-р техн. наук Е.С. Геворкян, канд. техн. наук В.П. Нерубацький,
канд. техн. наук Г.Л. Комарова, канд. техн. наук Л.В. Волошина
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Dr. Sc. E. S. Hevorkian, Cand. of Eng. Sci. V. P. Nerubatskyi,
Cand. of Eng. Sci. H. L. Komarova, Cand. of Eng. Sci. L. V. Voloshyna
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Сучасний розвиток транспортної галузі вимагає створення матеріалів із прогнозованими функціональними властивостями, високою зносостійкістю та стабільністю у складних експлуатаційних умовах. Одним із найперспективніших напрямів підвищення надійності елементів транспортних систем є використання наноструктурованих керамічних композитів, отриманих методами механохімічного синтезу та електроконсолідації [1, 2]. Такі матеріали поєднують високу міцність, тріщиностійкість, термостійкість і стабільність метрологічних параметрів, що робить їх придатними для використання у вимірювальних вузлах, сенсорних елементах, еталонних зразках та вузлах тертя транспортних засобів.

В основі сучасних підходів до створення нанокompозитів лежить поєднання методів органічної та неорганічної хімії, зокрема золь-гель технологій і механосинтезу, що сприяє спостереженню за утворенням фаз на молекулярному рівні [3]. Такі технології дозволяють отримувати високоефективні матеріали із заданими властивостями, що особливо важливо для транспортної метрології, де будь-які структурні неоднорідності можуть викликати похибки вимірювання або нестабільність чутливих елементів.

Серед досліджених систем найбільш перспективними є композити на основі карбіду кремнію (SiC), діоксиду цирконію (ZrO₂) і карбіду вольфраму (WC). Їх синтез здійснюється із застосуванням орґано-неорґанічного комплексу (–CH₃)–(SiO₂)_n, що утворюється в процесі механохімічної активації. Цей комплекс слугує нанореактором для низькотемпературного синтезу β-SiC, який формується вже на стадії подрібнення порошків із додаванням алкоксиду кремнію (Si(OC₂H₅)₄). Такі умови дозволяють здійснити синтез при знижених температурах і

забезпечують однорідність фазового складу, що суттєво впливає на метрологічну стабільність кінцевого матеріалу [4, 5].

Подальша консолідація порошкових композицій здійснюється методом гарячого пресування або електроконсолідації за температур 1200–1400 °С і тиску близько 30 МПа. Контроль температурного градієнта (до 400 К/хв) дозволяє уникнути перегріву та нерівномірного росту зерен, завдяки чому формується дрібнозерниста структура з нанопідсиленням β -SiC, що забезпечує високу міцність і тріщиностійкість. Зокрема, для композицій на основі SiC отримано міцність на згин понад 650 МПа і коефіцієнт тріщиностійкості 6,5–7,9 МПа·м^{0.5}, що у півтора рази перевищує показники звичайних карбідокремнієвих матеріалів. Особливу увагу приділено впливу нанодобавок WC та частково стабілізованого діоксиду цирконію ($\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$). Додавання 10–20 % WC забезпечує утворення зв'язаної наноструктури, у якій зерна цирконію рівномірно розподіляються у «хмарі» нанокарбиду вольфраму. Така мікроструктура підвищує щільність і міцність зразків (до 3200 МПа при мікротвердості 22–24 ГПа), а також сприяє поліпшенню теплопровідності до 35 Вт/м·К, що важливо для елементів транспортних систем, що працюють при циклічних теплових навантаженнях. Механохімічний синтез β -SiC у нанореакторах сприяє формуванню внутрішніх і міжзеренних наноструктур, які забезпечують самопідсилення матриць без необхідності введення додаткових армуючих фаз [6]. Це дозволяє мінімізувати пористість та отримати матеріали теоретичної густини навіть при нижчих температурах спікання. Крім того, відсутність силікатних прошарків між зернами наповнювача знижує коефіцієнт тертя (до 0,16–0,25) та підвищує стабільність при тривалому навантаженні, що є критично важливим для точних транспортних вимірювальних систем.

Вимірювання структури й властивостей зразків реалізовувалося за рахунок застосування методів РФА, атомно-силової та електронної мікроскопії, що забезпечило метрологічно достовірне визначення параметрів мікротвердості, густини та фазового складу. Використання вимірювальної машини Instron 300LX дозволило точно зафіксувати залежність міцності від концентрації нанодобавок і режимів гарячого пресування. Для нанокомпозитів $\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3\text{--}10\%\text{WC}$ зафіксовано збільшення міцності на 25 % порівняно з базовими цирконієвими кераміками, що свідчить про ефективність механічного зв'язування нанофаз [7].

Отримані результати демонструють, що введення органо-неорганічних прекурсорів на основі силіцій-алкоксидів не лише знижує температуру синтезу β -SiC, а й забезпечує високу однорідність розподілу наноутворень, що критично важливо для метрологічних застосувань. Структурна стабільність таких композитів гарантує сталість їхніх фізико-механічних характеристик у широкому діапазоні температур і навантажень, що дає змогу використовувати їх як еталонні матеріали для калібрування сенсорів тиску, температури, навантаження та вібрації у транспортних системах.

Можливості практичного застосування створених нанокомпозитів включають використання їх для виготовлення функціональних компонентів вузлів тертя, підшипників, гальмівних систем, сопел та елементів двигунів, а

також компонентів вимірювальних систем високоточного транспорту. У системах інтелектуального контролю транспортних засобів такі матеріали можуть забезпечувати стабільність параметрів сенсорів при тривалому впливі механічних і теплових факторів, що безпосередньо впливає на точність вимірювань і безпеку експлуатації.

З метрологічної точки зору, наноструктуровані композити на основі SiC, WC і ZrO₂ характеризуються високою стабільністю фізико-механічних параметрів у процесі багаторазових термоциклів [8], що гарантує відтворюваність отриманих результатів у динамічних умовах експлуатації транспортних систем. Такі матеріали демонструють мінімальні відхилення розмірних, теплових і пружних характеристик, що знижує вплив зовнішніх термодинамічних факторів на метрологічну надійність вимірювальних каналів. Формування цих властивостей обумовлене стабільністю міжфазних меж і наноструктурованої матриці, які забезпечують рівномірний розподіл напружень, пригнічення мікротріщиноутворення та мінімізацію релаксаційних процесів, що є ключовими умовами забезпечення довготривалої метрологічної стабільності матеріалу.

Наукова новизна роботи полягає у використанні орґано-неорґанічних комплексів як середовища для низькотемпературного синтезу нанокристалічних фаз та визначенні кореляції між параметрами механохімічної активації та показниками міцності й тріщиностійкості готових матеріалів. Практична цінність полягає у можливості масштабного застосування таких композитів для виготовлення високоточних деталей транспортного призначення із заданими метрологічними властивостями.

Таким чином, розроблені наноструктуровані матеріали на основі SiC, ZrO₂ і WC відповідають сучасним вимогам до функціональних матеріалів транспортного машинобудування. Вони характеризуються поєднанням високої механічної міцності, стабільності розмірів, низької зношуваності та стабільних метрологічних параметрів. Їх впровадження у виробництво деталей транспортних систем сприятиме підвищенню енергоефективності, ресурсу роботи та надійності засобів інтелектуального контролю транспортних технологій.

[1] Krzysiak Z., Gevorkyan E., Nerubatskyi V., Rucki M., Chyshkala V., Caban J., Mazur T. Peculiarities of the phase formation during electroconsolidation of Al₂O₃-SiO₂-ZrO₂ powders mixtures. *Materials*. 2022. Vol. 15, Issue 17. 6073. DOI: 10.3390/ma15176073.

[2] Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Gzik-Szumiat M., Gevorkyan E. S. Investigation of the effect of silicon carbide nanoadditives on the structure and properties of microfine corundum during electroconsolidation. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 4. P. 540–546. DOI: 10.1063/10.0017596.

[3] Zhang L., Huang X., Liu L., Nasar N. K. A., Gu X., Davis T. P., Zheng X., Wang L., Qiao R. Fabrication of organic/inorganic nanocomposites: from traditional synthesis to additive manufacturing. *Advanced Materials*. 2025. Vol. 37, Iss. 37. 2505504. <https://doi.org/10.1002/adma.202505504>.

[4] Gevorkyan E., Nerubatskyi V., Chyshkala V., Morozova O. Revealing specific features of structure formation in composites based on nanopowders of synthesized zirconium dioxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 5, No. 12 (113). P. 6–19. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242503.

[5] Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Gevorkyan E. S., Hordiienko D. A., Nazyrov Z. F., Komarova H. L. Investigation of phase and structural states in nanocrystalline powders based on zirconium dioxide. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 11. P. 1277–1282. DOI: 10.1063/10.0021374.

- [6] Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I., Kozlovskiy A. L., Zdorovets M. V., Popov A. I. Improvement of β -SiC synthesis technology on silicon substrate. *Technologies*. 2023. Vol. 11, Iss. 6. 152. <https://doi.org/10.3390/technologies11060152>.
- [7] Nerubatskyi V. P., Hevorkian E. S., Vovk R. V., Krzysiak Z., Komarova H. L. The influence of zirconium dioxide nanoadditives on the properties of mullite-corundum. *Low Temperature Physics*. 2024. Vol. 50, No. 7. P. 558–568. DOI: 10.1063/10.0026282.
- [8] Khan A., Abdelrazeq M. W., Mattli M. R., Yusuf M. M., Alashraf A., Matli P. R., Shakoor R. A. Structural and mechanical properties of Al-SiC-ZrO₂ nanocomposites fabricated by microwave sintering technique. *Crystals*. 2020. Vol. 10, Iss. 10. 904. <https://doi.org/10.3390/cryst10100904>.

УДК 621.791.75

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ
МОДИФІКУЮЧИХ ПРИСАДОК ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ
НАПЛАВЛЕННІ**

**INCREASING THE OPERATIONAL STABILITY OF RENEWABLE
COATINGS BY USING MODIFYING ADDITIVES IN ELECTRICAL SLAG
SURFACE TREATMENT**

доктор філософії А.В. Захаров

*Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж
ім. В.І. Вернадського (м. Харків)*

PhD A.V. Zakharov

*V. I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College
(Kharkiv)*

Інтенсивна експлуатація ґрунтообробних машин у абразивно-активному середовищі призводить до прискореного зношування робочих органів, зростання витрат на ремонт та простої техніки. Тому актуальним є підвищення ресурсу деталей за рахунок удосконалення технологій відновлення і зміцнення, зокрема електрошлакового наплавлення (ЕШН), яке забезпечує формування щільних, малодефектних покриттів із керованою мікроструктурою [1].

Метою роботи є підвищення експлуатаційної стійкості відновлювальних покриттів, отриманих методом ЕШН, за рахунок введення до складу порошкових дротів спеціально підібраних модифікуючих присадок та оптимізації режимів наплавлення. Для досягнення мети досліджено вплив складу й дисперсності модифікаторів, а також параметрів процесу (струм, напруга, швидкість подачі електрода, тепловкладення) на формування мікроструктури, фазового складу та експлуатаційних властивостей наплавленого шару [2].

У якості модифікуючих компонентів використано композиції на основі карбідів та оксидів, які сприяють утворенню в покритті дрібнодисперсних зміцнювальних фаз і гальмують ріст зерен матриці. Показано, що оптимальний гранулометричний склад присадок забезпечує їх рівномірний розподіл в об'ємі

покриття, зниження концентрації локальних напружень та зменшення схильності до утворення пор і мікротріщин.

Результати металографічних, механічних та трибологічних досліджень підтвердили, що введення модифікуючих присадок дозволяє підвищити твердість наплавлених покриттів у середньому на 15–20 % та збільшити їх зносостійкість на 30–40 % порівняно з немодифікованими складами. Встановлено стійкий зв'язок між морфологічними характеристиками мікроструктури (розмір і форма зерен, характер та розподіл зміцнювальних фаз) і показниками зношування. На цій основі запропоновано оптико-математичний підхід до прогнозування зносостійкості за результатами мікроструктурного аналізу, що дозволяє ще на етапі лабораторних досліджень оцінювати потенційну ефективність покриттів [3].

Побудована експериментальна програма охоплює повний цикл створення та оцінювання відновлювальних покриттів: виготовлення порошкових дротів із модифікуючими присадками, електрошлакове наплавлення в наближених до виробничих умовах, металографічні дослідження, випробування на твердість, зносостійкість, термостійкість і динамічну міцність, а також польові випробування деталей у реальному аграрному середовищі. Така комплексність дає змогу безпосередньо пов'язати хімічний склад присадок, режими наплавлення, структуру покриттів та їх реальний ресурс у роботі, що підвищує наукову й практичну переконливість отриманих результатів [4].

Додатково сформовано практичні рекомендації щодо складу порошкових дротів, раціональних режимів ЕШН та сфер доцільного застосування модифікованих покриттів для деталей ґрунтообробної техніки. Ці рекомендації представлені у вигляді узагальнених таблиць, діаграм і елементів технологічних карт, що спрощує впровадження технології у ремонтні підрозділи аграрних підприємств і дає можливість інженерам-практикам оперативно обирати оптимальні поєднання матеріалів та режимів залежно від конкретних умов експлуатації [5].

Польові випробування відновлених робочих органів ґрунтообробної техніки в реальних умовах експлуатації підтвердили зниження інтенсивності зношування та подовження ресурсу деталей до 30–40 %. Проведене техніко-економічне оцінювання показало, що додаткові витрати на модифіковані порошкові дроти компенсуються зменшенням кількості ремонтів, скороченням простоїв та зниженням загальних витрат на відновлення.

Отримані результати свідчать, що застосування модифікуючих присадок при електрошлаковому наплавленні є ефективним інструментом цілеспрямованого керування структурою й властивостями відновлювальних покриттів. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням номенклатури модифікаторів (у тому числі на основі вторинної сировини та природних матеріалів), а також із адаптацією розроблених рішень для деталей машин інших галузей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного й комбінованого зношування.

- [1] Захаров А. В. Застосування модифікуючих присадок та їх введення у відновлювальні покриття для підвищення експлуатаційної стійкості: дисертація д-ра філософії: 132 – Матеріалознавство. Харків, 2025. 276 с.
- [2] Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Захаров А. В. та ін. Вплив модифікуючих домішок на мікроструктуру та властивості наплавлених шарів для відновлення плужних лемешів та культиваторних лап. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч. II. С. 82–94.
- [3] Захаров А. В., Рибалко І. М., Тіхонов О. В. Зносостійкість та ресурс відновлених і зміцнених електрошлаковим наплавленням лемешів і культиваторних лап. Збірник наукових праць НУК ім. адмірала Макарова. 2024. № 4(497). С. 20–27.
- [4] Захаров А. В. Прогнозування зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки під час їх відновлення методом електрошлакового наплавлення. Вісник ХНТУ. 2024. № 4(91). С. 24–32.
- [5] Rybalko I., Saichuk O., Zakharov A., Borovyuk O. The process of electroslag surfacing using electrode powder wires. International Science Journal of Engineering & Agriculture. 2023. Vol. 2, No. 1. P. 1–9.

УДК 678.743.41

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ПОРИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ ФІЛЬТРІВ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ПТФЕ

TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF FORMING POROUS POLYMER FILTERS WITH COMPLEX STRUCTURES BASED ON PTFE

*к.т.н. О.Б. Калюжний, магістр І.М. Стасенко
Державний біотехнологічний університет (м. Харків)*

*PhD, O.B. Kalyuzhny, master's student, I.M. Stasenko
State Biotechnological University (Kharkiv)*

Функціональні пористі матеріали на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) знаходять широке застосування у транспортному машинобудуванні, зокрема в системах очищення робочих рідин, мастил та палив, у вузлах гідравліки та пневматики, а також у фільтраційних елементах двигунів і трансмісій. Висока хімічна стійкість, термостійкість та здатність працювати в агресивних середовищах роблять ПТФЕ одним із ключових функціональних матеріалів при створенні та відновленні деталей транспортного призначення, де неприпустиме використання клейових або слабких з'єднань [1].

Традиційні методи виготовлення пористих фільтроелементів із ПТФЕ (пресування порошкової композиції з пороутворювачем, подальше спікання та вилуговування пороутворювача) мають технологічні обмеження [2,3]. Одним із них є неможливість отримання елементів висотою понад 200 мм без дефектів структури. При формуванні довгих заготовок виникає нерівномірний розподіл щільності, що призводить до неоднорідності пористості й зниження фільтраційних та механічних властивостей.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано технологію контрольованого спікання зістиківаних заготовок. Метод базується на осьовому стикуванні кількох пресованих елементів у єдину вертикальну батарею з подальшим обмеженим термічним розширенням у процесі спікання (на 6–10%). Такий підхід забезпечує рівномірність структури, мінімальне викривлення та формування

монолітного дифузійного з'єднання між сегментами. Це особливо важливо для деталей транспортного призначення, які повинні витримувати тривалі експлуатаційні навантаження, вібрації та вплив агресивних робочих середовищ. Основні етапи технологічного процесу виготовлення пористих ПТФЕ-фільтроелементів для транспортних систем наведено в табл.1.

Ключовою перевагою методу є можливість виготовлення функціональних фільтрувальних елементів складної геометрії з підвищеною міцністю і рівномірною пористістю, без використання клеїв. Це підвищує їхню надійність у системах змащення, охолодження та очищення робочих середовищ транспортних засобів — особливо в умовах високих температур, тисків і корозійної дії.

Таблиця 1

Основні етапи технологічного процесу виготовлення пористих
ПТФЕ-фільтроелементів для транспортних систем

Етап	Опис дії
1. Підготовка матеріалів	Подрібнення і просіювання ПТФЕ та пороутворювачів (NaCl , NaHCO_3) для забезпечення рівномірної дисперсності.
2. Формування композиції	Змішування компонентів у співвідношенні, що забезпечує необхідну пористість 75–82%.
3. Отримання заготовок	Осесиметричне пресування при тиску 100–150 МПа для формування елементів висотою до 140 мм.
4. Формування батареї	Співвісне стикування та фіксація пресованих заготовок у пристрої для обмеження термічного розширення.
5. Контрольоване спікання	Нагрів до 380 ± 5 °C із витримкою 2 години. Утворення монолітної структури з високою міжзеренною адгезією.
6. Видалення пороутворювача	Вимивання пороутворювача (екстракція) у воді. Забезпечення відкритої пористої структури.
7. Сушіння виробу	Теплова обробка при 110–150 °C для формування стабільних фізико-механічних властивостей.

Дослідження підтверджують, що контрольований режим обмеження термічного розширення (6–10%) є оптимальним і забезпечує найкращі показники однорідності, геометричної стабільності та міцності зрощених елементів

ПТФЕ-фільтроелементи, виготовлені за цією технологією, можуть ефективно застосовуватися при:

- регенерації мастил транспортних систем,
- очищенні трансмісійних та гідравлічних рідин,
- фільтрації систем паливоподачі,
- експлуатації у вузлах, де недопустимо використання клейових з'єднань.

Таким чином, функціональні пористі матеріали на основі ПТФЕ та інноваційні методи їх виготовлення сприяють підвищенню ресурсу та надійності сучасної транспортної техніки, а також покращують можливості відновлення та модернізації її деталей.

- [1] Rae PJ, Brown EN (2005) The properties of poly(tetrafluoroethylene) (PTFE) in tension. *Polymer A* 46(19):8128. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.06.120>
- [2] Kaliuzhnyi O.B., Platkov V.Ya. The structure and properties of porous poly(tetrafluoroethylene). *J. Polym. Res.*, 2022. 29, pp. 32-37 <https://doi.org/10.1007/s10965-022-02887-w>
- [3] Kaliuzhnyi O. B., Platkov V. Ya. Formation of Porous Poly(tetrafluoroethylene) Using a Partially Gasified Porogen. *Iran J. Mater. Sci. Eng.*, 2020. 2, 17, pp. 13-19 <https://doi.org/10.22068/ijmse.17.2.13>

УДК 004.8:620.1

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У МАТЕРІАЛОЗНАВСТВІ: НОВА ЛОГІКА ДОСЛІДЖЕНЬ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MATERIALS SCIENCE: A NEW LOGIC OF RESEARCH

*канд. техн. наук Ю.Г. Ковальов, д-р техн. наук В.В. Аулін, канд. пед. наук
С.Г. Ковальов, канд. техн. наук О.В. Кузык, канд. техн. наук А.В. Гриньків
Центральноукраїнський національний технічний університет
(м. Кропивницький)*

*Yu.G. Kovalov (PhD tech.), V.V. Aulin (Dr. tech. sci.), S.G. Kovalov,
(PhD ped.), O.V. Kuzyk, (PhD tech.), A.V. Hrynkiv, (PhD tech.)
Central Ukrainian National Technical University (Kropyvnytskyi)*

Матеріалознавство сьогодні перебуває на етапі глибокої трансформації, що зумовлена впливом цифрових технологій та викликами сталого розвитку [1, 2]. У центрі цих змін – інтеграція штучного інтелекту з новим розумінням ролі матеріалів у сучасному виробництві. В умовах Індустрії 4.0 змінюється не лише інструментарій дослідника, а й самі принципи наукового пошуку: від окремих експериментів до комплексних систем, які поєднують великі масиви даних, цифрове моделювання, хмарні обчислення та алгоритми машинного навчання [3, 4].

Поступово матеріалознавство набуває рис кіберфізичних систем, де фізичні процеси взаємодіють із цифровими моделями та аналітичними платформами [5, 6]. Аналіз сучасної літератури свідчить про зміну фундаментальної логіки досліджень: класична схема «гіпотеза → експеримент → аналіз» дедалі частіше поступається інтерактивним моделям, у яких цифрове моделювання, обробка даних і віртуальний скринінг стають початковими етапами роботи [7].

Поєднання відкритих наукових платформ із комерційними рішеннями формує багаторівневу цифрову екосистему, здатну підтримувати як

фундаментальні дослідження, так і прикладні розробки. Така інтеграція прискорює інноваційний цикл, забезпечуючи доступ до даних, інструментів моделювання та алгоритмів штучного інтелекту.

Формування єдиного цифрового простору в матеріалознавстві виходить за межі технічної модернізації й означає глибоку зміну наукової культури. Вона передбачає нові моделі співпраці, колективного управління знаннями та спільного прийняття рішень. У цьому контексті матеріальна інформатика постає як міждисциплінарна галузь, що поєднує фізику конденсованих середовищ, хімію, обчислювальні науки, машинне навчання та наукову комунікацію.

Цифрові платформи, такі як Materials Project, NOMAD Repository, Citrine Informatics, AFLOW, OQMD та інші [2], задають нові стандарти дослідницької практики – від автоматизованого скринінгу до пояснюваного прогнозування властивостей. Їхнє використання сприяє переходу від інтуїтивного пошуку до системного, керованого даними проєктування матеріалів, що особливо важливо в умовах глобальних енергетичних, екологічних та технологічних викликів.

Таким чином, цифрові екосистеми матеріалознавства перетворюються з інструментів на інституційні середовища, які формують нову етику досліджень, нову логіку відкриттів і нову модель наукової кооперації. Їхні ключові риси – циркулярність знань, інтелектуальна взаємодія, міждисциплінарна інтеграція, інституційна відкритість, глобальна інклюзивність, відтворюваність та прозорість.

У цьому контексті розвиток матеріальної інформатики в Україні набуває стратегічного значення. Участь у міжнародних платформах, таких як Materials Project, NOMAD чи Citrine Informatics, відкриває доступ до передових методів моделювання та прогнозування. Водночас важливо не лише користуватися цими ресурсами, а й інтегрувати українські дані та моделі у глобальні репозиторії, забезпечуючи двосторонній обмін знаннями.

Для цього необхідно створити локальні дата-центри, що відповідатимуть стандартам FAIR і синхронізуватимуться з міжнародними системами. Така інфраструктура може стати основою національної програми з матеріальної інформатики, яка об'єднає наукові установи, галузеві інститути та промислових партнерів.

Не менш важливим є освітній компонент. Технічні університети вже впроваджують курси з аналізу даних, машинного навчання та обчислювальної фізики. Наступним кроком має стати створення міждисциплінарних програм, що поєднують матеріалознавство з цифровими компетенціями.

[1] Agrawal A., Choudhary A. Perspective: Materials informatics and big data: Realization of the “fourth paradigm” of science in materials science. *APL Materials*. 2016. Vol. 4, № 5. Article 053208. DOI: 10.1063/1.4946894.

[2] Kalidindi S. R. Materials data science: Current status and future outlook. *Annual Review of Materials Research*. 2015. Vol. 45. P. 171–193. DOI: 10.1146/annurev-matsci-070214-020844

[3] Citrine Informatics. AI-powered materials development platform: веб-сайт. URL: <https://citrine.io/> (дата звернення: 12.11.2025)

[4] Nematov D., Hojamberdiev M. Machine learning-driven materials discovery: Unlocking next-generation functional materials – A review. *Comput. Condens. Matter*. 2025. Vol. 45. Article e01139. DOI: 10.1016/j.cocom.2025.e01139.

[5] Aulin V. V., Kovalov S. H., Hrynkiv A. V., Kovalov Yu. G., Holovaty A. O., Kuzik O. V., Slon V. V. Enhancing Tribological System Performance through Intelligent Data Analysis and Predictive Modeling: A Review. *Problems of*

УДК 629.793

ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

USING LASER PROCESSING FOR CLEANING STEEL STRUCTURES

**к.т.н., доц. Н.О. Лалазарова¹, к.т.н., доц. О.В. Афанасьєва²,
к.т.н., доц. Г.Л. Комарова³, студент О.М. Івахненко¹**

¹*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)*

²*Харківський національний університет радіоелектроніки (м. Харків)*

³*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

PhD (Tech.) N.O. Lalazarova¹, PhD (Tech.) O.V. Afanasieva², PhD (Tech.) H.L. Komarova³, student O.M. Ivahnenko¹

¹*Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv)*

²*Kharkiv National University of Radio Electronics (Kharkiv)*

³*Ukrainian State University of Railway Transport*

Сучасні вироби залізничної техніки, мостові конструкції використовують сталі різних марок. Ці конструкції експлуатуються в різних кліматичних умовах: на них впливають опади у вигляді дощу та снігу, коливання температури, сонячної радіації, різних газів, що завжди є у повітрі промислових районів, морський туман. Все це викликає корозію виробів і конструкцій, погіршення їх властивостей, зниження надійності при експлуатації. Існують методи підвищення корозійної стійкості нанесенням різноманітних покриттів – металевих, неметалевих неорганічних та лакофарбових. Перед нанесенням покриттів поверхні, на які будуть наносити покриття, піддають очищенню.

Сутність очищення – видалення поверхневих шарів, які утворені будь-якими забрудненнями або покриттями, зокрема іноді основного шару матеріалу. Існує багато традиційних методів очищення поверхні: хімічних, механічних, ультразвукових, електрохімічних та ін., що мають свої переваги і недоліки та використовуються в окремих галузях промисловості [1, 2].

Наприклад, шліфування може викликати утворення в поверхневому шарі дефектів – припалювання, подряпини, мікротріщини. Недоліком гідроабразивної обробки є те, що велика кількість абразивного матеріалу незворотно втрачається, що разом із витратами на утилізацію і очищення абразивної

речовини робить цей вид очищення недешевим. Робоча рідина, що потрапляє в мікротріщини поверхні, погіршує експлуатаційні властивості, гідроабразивна рідина потребує утилізації.

Альтернативним методом є лазерне очищення, яке характеризується високою продуктивністю, екологічністю, дозволяє видаляти одночасно як органічні, так і неорганічні забруднення. Основними механізмами лазерного очищення поверхні є випаровування й ударно-механічний вплив.

Для очищення від іржі сталевих зразків (сталь Ст5) використовували установку на базі CO₂-лазера Reci потужністю 130 Вт. Обробка поверхні проводилась в імпульсно-періодичному режимі, частота проходження імпульсів 30000 Гц і швидкість сканування 200 мм/с. На зразках був шар іржі завтовшки 0,6–0,8 мм. Досліджували залежність шорсткості поверхні від потужності випромінювання та кількості проходів (рис. 1).

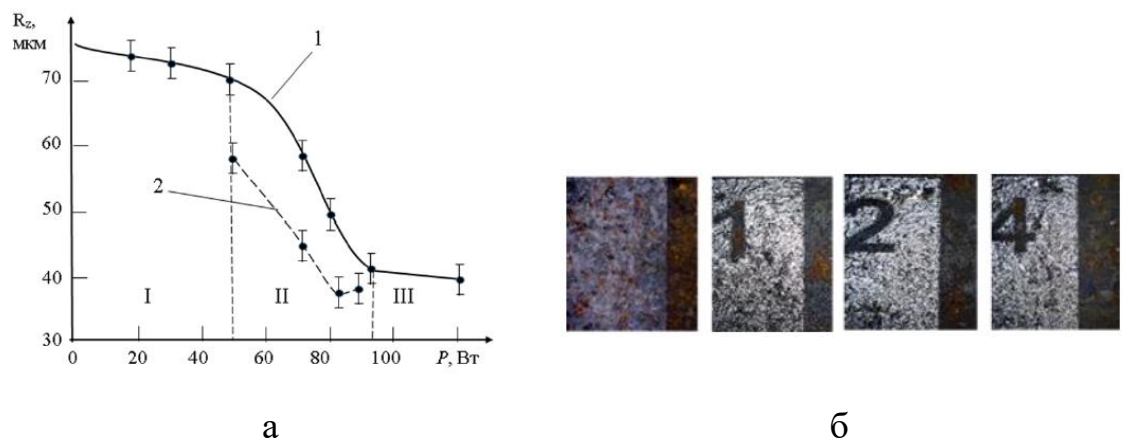


Рис. 1. Залежність шорсткості (а) та структури поверхні (б) від потужності випромінювання, де 1 – один проход, 2 – два прохода

Дослідження проводилися з різною кількістю проходів – один і два та різною потужністю. Розглядалися такі технологічні варіанти обробки: перший прохід менш потужний, ніж другий; перший прохід більш потужний, ніж другий; проходи мають однакову потужність. Перший варіант був відкинутий через те, що за такою схемою на поверхні утворювалась окалина FeO, яка має дуже високу (до 70 %) відбивну здатність, тому подальша обробка збільшувала енерговитрати. Обробка в два проходи з однаковою потужністю сприяє оплавленню поверхні вже при 75–80 Вт. Варіант обробки, коли потужність другого проходу менша, ніж першого, показав найкращий результат.

Крива 2 на рис. 1 характеризує залежність шорсткості поверхні від потужності випромінювання для двох проходів у разі, коли на другому проході використовують потужність 50 Вт. Найкращий результат був отриманий за умови потужності першого проходу 80 Вт. Запропонована технологія лазерного очищення сталевих конструкцій як в стаціонарних, так і в польових умовах за два проходи дозволяє отримати необхідну якість поверхневого шару навіть у випадку нерівномірного корозійного впливу.

- [1] Д'яченко Ю. В., Воронько І. О., Горлов О. К. Аналіз технологічних особливостей початкового і ремонтного фарбування виробів авіаційної техніки. Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2022, № 5(183). С. 21-39.
- [2] Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О., Федоренко Є. П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів : монографія. Харків : ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.

УДК 620.1:621.7

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАНОДОБАВОК НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ ЧАСТКОВО СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ
ЦИРКОНІЮ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ У ФУНКЦІОНАЛЬНИХ
МАТЕРІАЛАХ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**STUDY OF THE EFFECT OF NANOADDITIVES ON THE
PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PARTIALLY STABILIZED
ZIRCONIUM DIOXIDE USED IN FUNCTIONAL MATERIALS FOR
TRANSPORT APPLICATIONS**

*канд. техн. наук В.П. Нерубацький, д-р техн. наук Е.С. Геворкян,
канд. техн. наук Г.Л. Комарова, канд. техн. наук Л.В. Волошина
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Cand. of Eng. Sci. V.P. Nerubatskyi, Dr. Sc. E.S. Hevorkian,
Cand. of Eng. Sci. H.L. Komarova, Cand. of Eng. Sci. L.V. Voloshyna
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Підвищені вимоги до надійності та довговічності деталей транспортного призначення стимулюють пошук нових матеріалів із комплексом оптимальних властивостей, серед яких висока механічна міцність, підвищена зносостійкість і стабільність при високих температурах. Одним із перспективних напрямів удосконалення таких матеріалів є застосування керамічних композитів на основі частково стабілізованого діоксиду цирконію з включенням нанодобавок. Така модифікація дозволяє не лише контролювати мікроструктуру матеріалу, а й підвищувати його експлуатаційні характеристики. Частково стабілізований діоксид цирконію демонструє високу твердість, здатність до трансформаційного зміцнення та стабільність фаз при високих температурах [1, 2], що робить його перспективним для використання у вузлах тертя, високонавантажених підшипниках та компонентах двигунів внутрішнього згорання, де критично важлива стійкість до механічних та термічних навантажень.

Дослідження [3, 4] показують, що додавання наночастинок оксидів металів, карбідів та інших твердих фаз дозволяє модифікувати мікроструктуру матриці та підвищити її експлуатаційні властивості. Одним із основних ефектів є обмеження росту зерен діоксиду цирконію під час спікання, що зменшує внутрішню мікропористість та підвищує однорідність структури. Нанодобавки оксидів алюмінію, карбиду кремнію та вольфраму здатні зміцнювати зерна та

межі зерен, що приводить до підвищення механічної міцності та твердості матеріалу, а також зменшення ризику утворення тріщин під дією циклічних навантажень [5, 6].

Особливу увагу слід приділяти взаємодії нанодобавок з матрицею цирконію, оскільки хімічна сумісність та стабільність фаз визначають ефективність зміцнення та довговічність матеріалу. Наприклад, оксиди алюмінію утворюють дисперсні фази в зернах та на межах зерен, що обмежує зернове зростання та підвищує твердість [7]. Карбід кремнію сприяє підвищенню термічної стабільності, зменшенню термічного розширення та підвищенню зносостійкості [8], що є критично важливим для деталей, що працюють в умовах високих температур і тертя. Вольфрамові наночастинки утворюють тверді фази, які підвищують міцність матеріалу та його стійкість до ударних навантажень [9].

Методи синтезу керамічних композитів з нанодобавками, такі як електроспікання під високим тиском і температурою, забезпечують рівномірний розподіл наночастинок у матриці та високу щільність матеріалу [10, 11]. Контроль процесу спікання дозволяє регулювати розмір зерен, структуру пористості та розподіл фаз, що безпосередньо впливає на механічні та термічні властивості отриманих керамік. Результати досліджень [12] показують, що оптимальні пропорції нанодобавок дозволяють підвищити твердість до 20–30 % порівняно з базовою керамікою без добавок та забезпечують зростання стійкості до тріщиноутворення під дією циклічних механічних навантажень.

Застосування таких модифікованих матеріалів у транспортній галузі відкриває нові перспективи для створення функціональних градієнтних матеріалів, які можуть витримувати складні умови експлуатації. Наприклад, компоненти двигунів, елементи гальмівних систем, підшипники тертя та високонавантажені опорні вузли можуть виготовлятися з кераміки, що поєднує високу твердість, міцність та термостійкість. Крім того, використання нанодобавок сприяє підвищенню стійкості до корозії та окислення, що є важливим при експлуатації у важких кліматичних умовах та у контакті з агресивними середовищами.

Важливим аспектом є також підвищення ресурсів експлуатації деталей. Зменшення зносу та поліпшення термічної стабільності дозволяє значно продовжити міжремонтний період вузлів і агрегатів, що зменшує експлуатаційні витрати та підвищує безпеку транспорту. Завдяки наномодифікації можна також корегувати коефіцієнт тертя та амортизаційні властивості матеріалу, що сприяє зниженню шуму та вібрації під час роботи механізмів.

Науково-практичне значення використання нанодобавок у частково стабілізованому діоксиді цирконію полягає у можливості цілеспрямованого формування властивостей матеріалу під конкретні умови експлуатації. Це дозволяє створювати функціональні матеріали з заданими характеристиками для високонавантажених та високотемпературних застосувань. Використання композитних керамік з наномодифікацією відкриває нові перспективи для розвитку транспортної промисловості, зокрема для підвищення довговічності деталей, зменшення маси вузлів та підвищення ефективності їх роботи.

Систематичне дослідження впливу різних типів нанодобавок та їх концентрацій на мікроструктуру і властивості матеріалу дозволяє вибирати оптимальні рецептури для конкретних функціональних потреб. Оптимізація складу та технології спікання забезпечує баланс між механічними властивостями, термостійкістю та зносостійкістю, що критично важливо для деталей транспортного призначення, які піддаються значним навантаженням у процесі експлуатації.

Таким чином, впровадження нанодобавок у керамічні композити на основі частково стабілізованого діоксиду цирконію є перспективним напрямом для створення високоефективних функціональних матеріалів транспортного призначення. Це дозволяє одночасно покращити механічні характеристики, зносостійкість та термостійкість матеріалу, підвищити ресурс експлуатації деталей, зменшити витрати на обслуговування та підвищити безпеку транспортних засобів. Високий потенціал таких матеріалів обумовлює необхідність подальших досліджень щодо оптимізації складу, процесів спікання та експлуатаційної поведінки композитів у реальних умовах.

- [1] Hevorkian E. S., Morozova O. M., Nerubatskyi V. P., Chyshkala V. O., Sofronov D. S., Moya S., Abarrategi A., Arnaiz B., Bondarenko M. A., Vovk R. V. Composite material based on zirconium dioxide partially stabilised with cerium oxide and aluminium oxide for bioengineering applications. *Functional Materials*. 2024. Vol. 31, No. 3. P. 351–358. DOI: 10.15407/fm31.03.351.
- [2] Nerubatskyi V. P., Hevorkian E. S., Vovk R. V., Krzysiak Z., Komarova H. L. The influence of zirconium dioxide nanoadditives on the properties of mullite-corundum. *Low Temperature Physics*. 2024. Vol. 50, No. 7. P. 558–568. DOI: 10.1063/10.0026282.
- [3] Mamalis A. G., Hevorkian E. S., Nerybatskyi V. P., Rucki M., Krzysiak Z., Morozova O. M. Effect of nanoadditives on the properties of partially stabilized zirconia. *Nanotechnology Perceptions*. 2023. Vol. 19, No. 3. P. 26–46. DOI: 10.56801/nano-ntp.v19i3.325.
- [4] Hevorkian E., Michalczewski R., Rucki M., Sofronov D., Osuch-Słomka E., Nerubatskyi V., Krzysiak Z., Latosińska J. N. Effect of the sintering parameters on the structure and mechanical properties of zirconia-based ceramics. *Ceramics International*. 2024. Vol. 50, Issue 19, Part A. P. 35226–35235. DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.06.331.
- [5] Krzysiak Z., Gevorkyan E., Nerubatskyi V., Rucki M., Chyshkala V., Caban J., Mazur T. Peculiarities of the phase formation during electroconsolidation of Al_2O_3 – SiO_2 – ZrO_2 powders mixtures. *Materials*. 2022. Vol. 15, Issue 17. 6073. DOI: 10.3390/ma15176073.
- [6] Gevorkyan E. S., Sofronov D. S., Nerubatskyi V. P., Chyshkala V. O., Morozova O. M., Lebedynskyi O. M., Mateychenko P. V. A study on the formation and sintering of powders synthesized from ZrO_2 micro- and nanoparticles from fluoride solutions. *Journal of Superhard Materials*. 2023. Vol. 45, Issue 1. P. 31–45. DOI: 10.3103/S1063457623010057.
- [7] Balog M., Krizik P., Bajana O., Hu T., Yang H., Schoenung J. M., Lavernia E. J. Influence of grain boundaries with dispersed nanoscale Al_2O_3 particles on the strength of Al for a wide range of homologous temperatures. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 772. P. 472–481. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.164>.
- [8] Lai L., Niu B., Bi Y., Li Y., Yang Z. Advancements in SiC-reinforced metal matrix composites for high-performance electronic packaging: A review of thermo-mechanical properties and future trends. *Micromachines*. 2023. Vol. 14, Iss. 8. 1491. <https://doi.org/10.3390/mi14081491>.
- [9] Huang B., Tang J., Chen L., Yang X., Lian Y., Chen L., Liu X., Cui X., Gu L., Liu C.-T. Design of highly thermal-shock resistant tungsten alloys with nanoscaled intra- and inter-type K bubbles. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 782. P. 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.12.168>.
- [10] Trembecka-Wójciga K., Jankowska M., Lepcio P., Seviugina V., Korčušková M., Czeppe T., Zubrzycka P., Ortyl J. Optimization of zirconium oxide nanoparticle-enhanced photocurable resins for high-resolution 3D printing ceramic parts. *Advanced Materials*. 2025. Vol. 12, Iss. 11. 2400951. <https://doi.org/10.1002/admi.202400951>.
- [11] Duntu S. H., Tetteh F., Ahmad I., Islam M., Boakye-Yiadom S. Characterization of the structure and properties of processed alumina-graphene and alumina-zirconia composites. *Ceramics International*. 2021. Vol. 47, Iss. 1. P. 367–380. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.08.142>.
- [12] Nerubatskyi V. P., Vovk R. V., Gzik-Szumiaty M., Gevorkyan E. S. Investigation of the effect of silicon carbide nanoadditives on the structure and properties of microfine corundum during electroconsolidation. *Low Temperature Physics*. 2023. Vol. 49, No. 4. P. 540–546. DOI: 10.1063/10.0017596.

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ
ШТАНГЕНЦИРКУЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА
НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ**

**IMPROVEMENT OF CALIBRATOR CALIBRATION METHODS TO
INCREASE THE ACCURACY AND RELIABILITY OF MEASUREMENT**

*д.т.н., професор Л.А. Тимофєєва, к.т.н., доцент П.В. Рукавішников,
Г.Р. Шепілов, О.В Роценко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*D.Sc. (Tech.), Professor L.A. Tymofieieva, Cand. of Eng. Sci. P.V. Rukavishnykov,
G.R. Shepilov, O.V Rotsenko*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Забезпечення високої точності калібрування ручних вимірювальних інструментів, зокрема штангенциркулів, є важливою умовою контролю якості деталей транспортного призначення та машинобудування, де ці засоби застосовуються найчастіше. Незважаючи на простоту конструкції, точність вимірювання суттєво залежить від методики калібрування, кваліфікації оператора та умов проведення вимірювань.

Розробка та впровадження удосконалених підходів до оцінки невизначеності та похибок калібрування дозволяє підвищити достовірність результатів та забезпечити відповідність сучасним метрологічним вимогам.

Аналіз сучасної нормативної бази

Дослідження показали, що відповідність сучасним міжнародним вимогам забезпечується застосуванням стандартів ISO 13385-1:2019, ASME B89.1.14-2018 і ISO/TR 14253-6:2012, які визначають вимоги до методики калібрування, кількості контрольних точок та врахування джерел невизначеності [1–4].

Відповідно до ISO 13385-1:2019, мінімальна кількість контрольних точок для діапазону 0–150 мм становить п'ять, а за ASME B89.1.14 — три [2;3]. ISO/TR 14253-6:2012 рекомендує підхід task-specific uncertainty (це підхід, коли невизначеність оцінюється не “взагалі для приладу”, а саме для конкретного завдання, умов і сценарію вимірювання), який дозволяє оцінювати невизначеність з урахуванням конкретного сценарію вимірювань, умов і впливів середовища [4].

Проблематика точності та джерела невизначеності

За результатами досліджень [1], основними чинниками, що впливають на точність індикації штангенциркулів, є температурні коливання, механічні деформації, похибки Аббе, стан вимірювальних поверхонь і сила натискання

оператора. Встановлено, що оператор є складовою вимірювальної системи, проте за умови належної підготовки його внесок можна мінімізувати. Використання кінцевих мір високого класу точності дозволяє зменшити складову невизначеності, пов'язану з еталонами [1;5]. Додатково було підтверджено, що стабілізація температури навколишнього середовища в межах $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ істотно підвищує повторюваність результатів калібрування [5].

Методичні рекомендації

Для підвищення достовірності результатів калібрування та відповідності принципам GUM [5] рекомендовано:

- застосовувати мінімум п'ять контрольних точок для діапазону 150 мм за ISO або три за ASME [2;3];
- виконувати не менше 5–10 повторних вимірювань у кожній точці з оцінкою статистичної складової (тип A);
- враховувати вплив температурних відхилень, стану вимірювальних поверхонь і сили натискання оператора [1;5];
- використовувати калібровані кінцеві міри високої точності для зменшення внеску еталонних похибок.

Висновки

Урахування результатів експериментальних досліджень та міжнародних стандартів дозволяє сформувати більш точну модель оцінки невизначеності при калібруванні штангенциркулів. Застосування підходу task-specific uncertainty, стабілізація умов вимірювання та дотримання принципів GUM [5] сприяють підвищенню метрологічної надійності результатів і зниженню ризику хибних рішень щодо придатності інструменту.

[1] Адаменко Ю.І. та ін. Перевірка точності індикації штангенциркулів. Технічні науки та технології, 2025. — №2(40), С. 20–31.

[2] ISO 13385-1:2019. Geometrical product specifications — Calipers — Design and metrological characteristics.

[3] ASME B89.1.14-2018. Calipers.

[4] ISO/TR 14253-6:2012. Decision rules for verification in measurement.

[5] JCGM 100:2008. GUM — Evaluation of measurement uncertainty.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

- Наша освіта визнана світом.
- Широкий вибір програм підготовки.
- Попит на ринку праці.
- Отримання двох дипломів одночасно:
українського та французького або українського
та польського університету-партнера.



ФАКУЛЬТЕТИ

- | | |
|--|--|
| ✓ БУДІВЕЛЬНИЙ | ✓ ЕКОНОМІЧНИЙ |
| ✓ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕ
РУЮЧІ
СИСТЕМИ ТА
ТЕХНОЛОГІЇ | ✓ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ЦЕНТР
ГУМАНІТАРНОЇ ОСВІТИ |
| ✓ МЕХАНІКО-
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ | ✓ УПРАВЛІННЯ
ПРОЦЕСАМИ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ |

ОБИРАЙ НАС
за першим пріоритетом



АДРЕСА: ПЛОЩА ФЕЙЄРБАХА 7, 61050, ХАРКІВ
ПРИЙМАЛЬНА КОМІСІЯ: +38 (057) 732-28-25
E-MAIL: INFO@KART.EDU.UA



<http://kart.edu.ua/>



@ukrdutzt.University



@ukrdutzt_university



ЗАПРОШУЄМО НА НАВЧАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РОБОЧИХ ПРОФЕСІЙ:



- ✓ Провідник пасажирського вагона;
- ✓ Касир квитковий;
- ✓ Касир товарний (вантажний);
- ✓ Приймоздавальник вантажу та багажу;
- ✓ Приймальник поїздів.
- ✓ Помічник машиніста тепловоза;
- ✓ Помічник машиніста електровоза;
- ✓ Електромонтер контактної мережі;
- ✓ Електромонтер з ремонту та обслуговування електроустаткування;
- ✓ Електромонтер з ремонту та обслуговування апаратури і пристроїв зв'язку;
- ✓ Слюсар з ремонту рухомого складу;
- ✓ Оглядач вагонів;
- ✓ Оглядач-ремонтник вагонів;
- ✓ Сигналіст;
- ✓ Монтер колії.

Прийм документів на навчання робочим професіям здійснюється в ЦНПП (аудиторія 3.315, тел. (057)-730-21-89, e-mail: cnpp@kart.edu.ua).

Вартість навчання залежить від обраної професії та становить від 1500 до 3500 грн, тривалість навчання також залежить від професії і складає від 4-х до 10-ти місяців.

**РОБОЧА ПРОФЕСІЯ СЬОГОДНІ – ЗАПОРУКА
УСПІШНОГО КАР'ЄРНОГО РОСТУ ЗАВТРА!**



#УКРДУЗТ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ



@ukrduzt.University



@ukrduzt_university



Online #УкрДУЗТ

ПРИЙМАЛЬНА КОМІСІЯ В TELEGRAM



t.me/infovstup_ukrduzt

САЙТ УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ



<http://kart.edu.ua/>

УВАЖНО
ОЗНАЙОМТЕСЯ З
НИМИ!

Контакти приймальної комісії:

- 🌐 <https://kart.edu.ua/vstupniku>
- 📧 https://t.me/infovstup_ukrduzt
- ☎️ +38 (057) 730-19-91
- ✉️ pk@kart.edu.ua



майдан Фейєрбаха 7, 61050, Харків
корпус 1, поверх 1, кабінет 121

Контакти університету:

- 🌐 <https://kart.edu.ua>
- 📧 https://t.me/UkrDuzt_of
- 📷 [@ukrduzt_university](https://www.instagram.com/ukrduzt_university)
- 📘 [@ukrduzt.University](https://www.facebook.com/ukrduzt.University)
- ☎️ +38 (057) 730-19-21
- ✉️ info@kart.edu.ua



майдан Фейєрбаха 7, 61050, Харків